

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Кафедра «Прикладная математика и информатика»
(наименование)

01.03.02 Прикладная математика и информатика
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Компьютерные технологии и математическое моделирование
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Моделирование работы блока из двух форсунок в ДВС на базе SimInTech»

Обучающийся

С.Ю. Кулаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

доктор ф.-м. наук, профессор А.И. Сафронов

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

Консультант

к.пед.н., доцент, А.В. Егорова

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

Тольятти 2024

Аннотация

Тема бакалаврской работы «Моделирование работы блока из двух форсунок в ДВС на базе SimInTech»

Бакалаврская работа посвящена созданию математической модели на базе Sim in Tech, которая имитирует работу блока из двух форсунок.

Ключевые слова: модель, двигатель, моделирование, форсунка, топливо, впрыск, математическая модель.

Цель бакалаврской работы – создание программной модели блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания.

Объект исследования – это процесс работы блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания.

Предмет исследования – реализация математической модели блока из двух форсунок ДВС.

Настоящая работа исследует главные принципы процесса впрыска топлива блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания, а также вычисления течения жидкости в процессах форсунок.

Для программного моделирования функционирования форсунок используется математическая модель, которая учитывает работу блоков системы впрыска топлива.

В ходе данного программного исследования производились численные расчеты и анализ полученных результатов имитирования, с упором на процесс работы двух топливных форсунок. Полученные итоги сравнивались с экспериментальными показателями и анализировались для выявления воздействия разных факторов на эффективность и динамику впрыска топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Бакалаврская работа включает в себя пояснительную записку на 42 страницы, в которой присутствуют 16 рисунков, список из 33 источника, среди которых 6 на иностранном языке и одно приложение.

Abstract

The title of the graduation work is Simulation of the operation of a two injectors block in an internal combustion engine on the basis of SimInTech.

The senior paper consists of an explanatory note on 42 pages, introduction, including 16 figures, the list of 33 references, including 6 foreign sources and an appendix.

The key issue of the thesis is devoted to creating a mathematical model on the basis of SimInTech, which simulates the work of the two injectors block.

The aim of the work is to create a software model of the two injectors block in the internal combustion engine.

The object of the graduation work is the process of the operation of the two injectors block in the internal combustion engine.

The subject of the graduation work is the implementation of the mathematical model of the two injectors block in the internal combustion engine.

The graduation project describes in detail the main principles of the fuel injection process of the two injectors block in the internal combustion engine, as well as the calculation of fluid flow in certain sections of the injectors.

The special part of the project gives details about a mathematical model used for the software modelling of injector operation, which takes into account the operation of the blocks of the fuel injection system.

In conclusion, we'd like to stress that this software study performed numerical calculations and analyzed the simulation results obtained, focusing on the operation process of two fuel injectors. The obtained results were compared with experimental values and analyzed to identify the effects of different factors on the efficiency and dynamics of fuel injection in internal combustion engines.

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1 Теоретический анализ процессов происходящих в двигателе внутреннего сгорания	8
1.1 Постановка задачи.....	8
1.2 Основные принципы работы двигателя	9
1.3 Процессы, происходящие в системе впрыска топлива.....	14
Глава 2 Методологические основы описания работы форсунок	20
2.1 Принципы моделирования процессов в двигателе.....	20
2.2 Моделирование процесса впрыска с электрогидравлической форсункой	24
Глава 3 Моделирование работы блока из двух форсунок	31
3.1 Методы исследования.....	31
3.2 Моделирование распределительного вала	32
3.3 Моделирование впрыскивающего насоса	36
3.4 Моделирование форсунки	39
Заключение	41
Список используемой литературы	42
Приложения	45

Введение

Актуальность исследования. Главным источником энергии в современном мире является двигатель внутреннего сгорания, для разных транспортных средств, таких как автомобили, мотоциклы и корабли. Помимо этого, двигатели внутреннего сгорания используются в энергетических и промышленных системах. Важно усовершенствовать принципы работы двигателей, чтобы повысить экономическую эффективность и обезопасить окружающую среду.

Одним из важнейших аспектов работы форсунок в двигателе внутреннего сгорания служит процесс впрыска топлива. Он оказывает влияние на производительность двигателя, эффективность расхода топлива. Сложностью в описании процесса впрыска топлива, является различие количества впрыскиваемой жидкости и длительность впрыска на микроскопическом уровне. Традиционные математические модели, которые используют усредненные уравнения, часто не в состоянии охватить эту сложность. В следствии чего программное моделирование блока из двух форсунок, которое позволяет проводить точные расчёты, имеет научную и практическую ценность.

Цель бакалаврской работы – создание программной модели блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания. Объектом исследования является процесс работы блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания. Данное исследование сосредоточено на построении математической модели и описании работы его её блоков. Описание должно содержать процесса работы блока из двух форсунок, которое учитывает корректировку количество топлива, давления жидкости, а также взаимодействия элементов всех системы впрыска в ДВС.

Предметом исследования является реализация математической модели блока из двух форсунок ДВС, которая учитывает особенности форсунок и процесс распыления топлива. Также данное исследование направлено на

изучение взаимодействий между различными компонентами системы впрыска. Готовая программная модель поможет лучше понять, как работа форсунок влияет на двигатель внутреннего сгорания.

Гипотеза: Применение математической модели, состоящей из блока двух форсунок, для изучения впрыска топлива в ДВС поможет увеличить точность описания взаимодействия форсунок, принимая в расчёт работу компонентов и разные свойства форсунок.

Задачи исследования:

- разработать программную модель работы блока из двух форсунок;
- протестировать созданную модель, используя экспериментальный данные;
- проанализировать влияние разных параметров на процесс впрыска топлива на основе разработанной модели;
- исследовать особенности процесса впрыска топлива в ДВС.

Результаты, полученные после исследования, могут быть применены для модернизации процесса впрыска топлива, и повышение производительности работы форсунок в ДВС.

Основные методы исследования:

Математическое моделирование: создания и использования математических моделей, которые имитируют процесс впрыска топлива с помощью блока двух форсунок. С помощью математического моделирования возможно выполнять теоретические расчеты, выявлять зависимость между разными параметрами и прогнозировать поведение жидкости в различных условиях.

Аналитические методы: используют для анализа теоретических и экспериментальных данных, также этот метод содержит статистический анализ результатов исследования и сравнительную оценку различных аспектов работы форсунок в ДВС. С помощью этого метода возможно извлечь необходимую информацию, также возможно определить закономерности и сделать умозаключение на основе итогов исследования.

Компьютерное моделирование необходимо для разработки и использования программного обеспечения для имитационных моделей, которые делают возможным численное моделирование процесса работы форсунок в двигателях внутреннего сгорания с учетом неоднородности жидкости и микроскопических взаимодействий между ее компонентами. Такой подход позволяет выполнять сложные расчеты и моделировать реальные условия эксплуатации двигателя.

Научная новизна:

Разработка модели блока из двух форсунок в ДВС для анализа процесса впрыска топлива позволяет улучшить точность моделирования взаимодействия между двух форсунок и их влияние на работу ДВС. Использование данной модели позволяет более досконально учесть влияние давления, температуры и скорость потока рабочей смеси.

Практическая значимость:

Модель блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания может быть использована с целью повышения эффективности и оптимизации работы двигателя внутреннего сгорания.

Анализ процесса впрыска топлива с использованием модели блока из двух форсунок может способствовать выявлению оптимальных характеристик двигателя, таких как угол распыления топлива, давление впрыска, температуру топлива, чтобы улучшить эффективность сгорания и снизить расход топлива.

Изучение процесса впрыска топлива с помощью форсунок может привести к разработке новых подходов управления работой двигателя. Цель этих новых подходов - снизить выбросы вредных веществ и повысить экологичность системы.

Структура работы. Бакалаврская работа включает в себя пояснительную записку на 46 страницы, в которой присутствуют 16 рисунков, список из 33 источника, среди которых 6 на иностранном языке и одно приложение.

Глава 1 Теоретический анализ процессов происходящих в двигателе внутреннего сгорания

1.1 Постановка задачи

Задача: моделирование работы блока из двух форсунок в ДВС на базе SimInTech.

Цель задачи: создать программную модель на базе SimInTech для описания происходящих процессов в блоке из двух форсунок в ДВС.

Описание задачи: разработать точную программную модель работы блока из двух форсунок в ДВС, в целях увеличения производительности работы ДВС.

Математическая модель, должна описывающие следующие процессы:

- динамику движения поршня во время впрыска;
- взаимодействия компонентов системы впрыска топлива (подсистема впрыскивающего насоса, инжекторную подсистема);
- влияние характеристик двигателя, таких как скорость вращения коленчатого вала, параметры поршня.

Необходимо создать программную модель для визуализации и анализа процесса работы блока из двух форсунок.

Применяемые модели:

- модель распределительного вала;
- модель профиля кулачка;
- модель впрыскивающего насоса;
- модель инжектора.

Результат:

Программная модель, описывающая работу блока из двух форсунок в ДВС.

1.2 Основные принципы работы двигателя

Для начала исследования принципов работы двигателя следует изучить определения и основные термины, общепринятые в работе ДВС. «Положения кривошипно-шатунного механизма (см. рисунок 1), при которых ось шатуна лежит в плоскости кривошипа, называются мертвыми точками»[1].

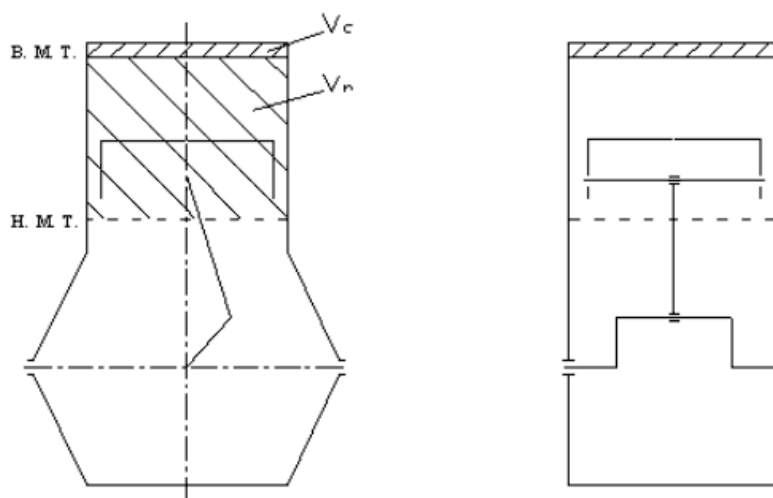


Рисунок 1 - Схема поперечного (а) и продольного (б) разрезов двигателя

«Двигатель внутреннего сгорания функционирует за счёт слаженному взаимодействию компонентов, а именно коленчатый вал, система впрыска, цилиндры, свечи зажигания, поршни, система охлаждения и система смазки. Каждый из этих компонентов выполняет свою роль в процессе горения топлива и движения поршня»[6].

«Крайние положения поршня, при котором расстояние до оси коленчатого вала достигает максимума и минимума, называются верхней и нижней мертвыми точками соответственно. Ход поршня определяется различием расстояний между мертвыми точками и соответствует половине оборота коленчатого вала»[12].

«Объем внутренней полости цилиндра является параметром, который изменяется в процессе работы двигателя. Объем над поршнем при его

положении в верхней мертвой точке называется объемом сжатия, а объем, освобождаемый поршнем при перемещении от точки минимального объема до точки максимального объема, называется рабочим объемом цилиндра. Рабочий объем цилиндра равен произведению хода поршня на его площадь»[5]

«Геометрическая степень сжатия – отношение полного объема цилиндра к объему сжатия»[7].

«Рабочий цикл двигателя – это последовательность процессов, которые периодически повторяются в каждом рабочем цилиндре и обуславливают работу двигателя»[14]. «Эти процессы содержат сжатие и воспламенение топлива, расширение газов и выхлопные процессы»[12].

«Такт – это часть рабочего цикла, которая происходит во время движения поршня между двумя мертвыми точками. Один полный рабочий цикл состоит из двух тактов, впускного и выпускного»[25].

Тепловая энергия в двигателе внутреннего сгорания используется для изменения её в механическую энергию, с помощью которой создаётся движение рабочего вещества. Часто используемые виды рабочего вещества: воздух, газ, топливо, а также смесь топлива и воздуха. Например, паровые автомобили в качестве рабочего вещества используется вода. Рабочее вещество проходит несколько физических изменений в цилиндре двигателя: в ходе этого процесса оно сжимается, нагревается, увеличивается и охлаждается. Каждый из этих этапов важен, так как для нормальной работы двигателя каждый из них должен проходить эффективно.

«Процесс работы ДВС начинается с подачи топлива и воздуха в цилиндр двигателя. Воздух проходит через воздухозаборник и фильтр, где очищается от пыли и других загрязнений. Затем он попадает в цилиндр двигателя, где смешивается с топливом и затем сжимается поршнем. При достижении определенной степени сжатия, в цилиндре создается высокое давление, что приводит к воспламенению топлива»[9]. Этот процесс создаёт взрыв, он движет поршень и расширяет газ, что приводит к вращению коленчатого вала.

Крутящий момент создаётся с помощью коленчатого вала, который переходит на приводные механизмы: дифференциалы, трансмиссия, и коробка передач. После чего приводятся в движения колёса автомобиля.

«В процессе работы ДВС происходит множество процессов, таких как:

Впрыск топлива: топливо впрыскивается в цилиндр с помощью инжектора, где оно смешивается с воздухом. Современные ДВС используют электронную систему впрыска, которая контролирует количество топлива и момент его впрыска»[15].

«Система охлаждения: ДВС производят много тепла, поэтому им необходима система Охлаждения, которая помогает снизить температуру двигателя. Обычно система охлаждения состоит из радиатора, вентилятора, насоса, термостата и других компонентов»[26]. В системе охлаждения через двигатель циркулирует жидкость (вода, антифриз), а далее она попадает в радиатор, там перед тем, как вернуться в двигатель она охлаждается и продолжает циркуляцию.

«Регулирование клапанов: в ДВС есть клапаны, которые открываются и закрываются, чтобы контролировать воздушный поток в и из цилиндра. Регулирование клапанов обеспечивает оптимальную производительность двигателя»[17].

Смазка: В двигателе используется система смазки, направленная на снижение трения и износа. Она поддерживает охлаждение и смазку трущихся деталей, а также фильтрует масло от любых загрязнений, циркулируя по всему двигателю.

Компрессия: когда поршень движется вверх в цилиндре, он сжимает воздух, и давление увеличивается вместе с ним.

Зажигание: когда воздух сжимается до определенного порога, топливо в цилиндре воспламеняется, что приводит к взрыву, который перемещает поршень вниз.

Выхлоп: после сгорания выхлопные газы выводятся через выхлопную систему, где из них удаляются все вредные вещества, прежде чем они попадут

в окружающую среду.

Идеальный цикл внутреннего сгорания (ДВС) соответствует упрощенной теоретической модели, которую используют для описания работы тепловых процессов внутри двигателя. Эта модель необходима для проведения анализа работы двигателя, определения его оценки эффективности и производительности.

«Идеальный цикл предполагает, что все процессы внутри двигателя проходят без потерь и идеально согласуются с термодинамическими законами. В идеальном цикле не учитываются такие реальные факторы, как теплотери, трение, несовершенства смесового процесса, термические и механические потери и другие не идеальности, которые присутствуют в реальных двигателях»[24]. «Существует несколько различных идеальных циклов, которые используются в технической литературе для описания работы различных типов двигателей, таких как цикл Отто, цикл Дизеля, цикл Брэе, цикл Рэнкина и другие»[20].

Четырехтактный двигатель был выбран для данного исследования.

«Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) работает через последовательность тепловых и механических процессов в цилиндре двигателя. Работа двигателя включает в себя четыре основных такта: такт впуска, такт сжатия, такт сгорания (или расширения) и такт выхлопа (см. рисунок 2).

Цикл работы двигателя начинается с такта впуска, который показан на (С). Теперь поршень вращается во ВМТ. При его опускании до положения НМТ создается разрежение. Этот вакуум заставляет впускной клапан открываться, так что цилиндр заполняется очищенным воздухом через воздушный фильтр вместе с небольшой порцией выхлопных газов. За это время в результате сгорания поршень вдавливается в цилиндр, в результате чего давление достигает 8-9 кПа, а температура колеблется в пределах 50-80°C.

Затем следует такт сжатия (когда поршень перемещается от НМТ к

ВМТ), и впускной и выпускной клапаны закрываются. Это приводит к уменьшению объема, за которым следуют повышение давления и температуры. К концу сжатия температура составляет около $600-700^{\circ}\text{C}$, а давление в пробке достигает $400-500$ кПа. «Для надежной работы двигателя температура воздуха после сжатия должна быть намного выше температуры самовоспламенения топлива»[18].

Второй важный такт – это такт расширения или рабочий ход. На этом этапе оба клапана остаются закрытыми. Когда поршень достигает ВМТ, с другой стороны, сверхтонкая струя топлива ($1,3 - 1,85$ МПа) вырывается из сопла и смешивается с горячим сжатым воздухом. Топливо нагревается, испаряется и воспламеняется; оно продолжает частично сгорать, когда поршень достигает ВМТ, и полностью сгорает, когда поршень начинает опускаться, создавая рабочий ход. Это сгорание значительно повышает давление в цилиндре с $600-800$ кПа до температуры $1800-2000^{\circ}\text{C}$, что приводит к перемещению поршня из положения ВМТ в положение НМТ.

Последний этап - такт выпуска. Поршень снова перемещается из положения НМТ в положение ТДС, выталкивая горячие газы через открытое выпускное отверстие. В этот момент температура находится на отметке от 600 до 700°C , а давление падает примерно до $11-12$ кПа.

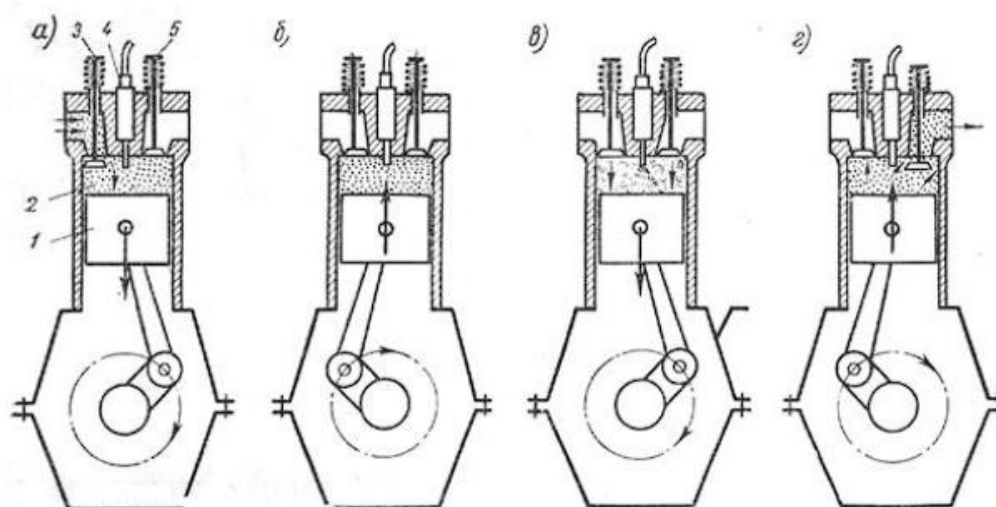


Рисунок 2 – Рабочий процесс четырехтактного двигателя

При финале такта выхлопа цикл двигателя возобновляется с такта впуска, инициируя очередной цикл работы четырехтактного двигателя. В ходе этого процесса происходит сгорания топливно-воздушной смеси, в результате чего тепловая энергия переходит в механическую. Далее эта преобразованная механическая энергия передается через карданный вал для выполнения различных функций, включая движение автомобиля или выработку электроэнергии.

1.3 Процессы, происходящие в системе впрыска топлива

Перед анализом процессов, происходящих в системе впрыска топлива следует изучить устройство топливной системы, термины и определения.

Основная задача системы подачи топлива - распределять топливо, необходимое двигателю, во всех режимах его работы, а именно: при нормальной, медленной, устойчивой, быстрой, легкой нагрузке, холодном двигателе и холодном запуске. Источники топлива могут находиться на безопасном расстоянии от впускного трубопровода и, следовательно, либо впрыскиваться из него, либо подаваться к соответствующему топливopодкачивающему насосу.

На рисунке 3 представлена система подачи топлива.

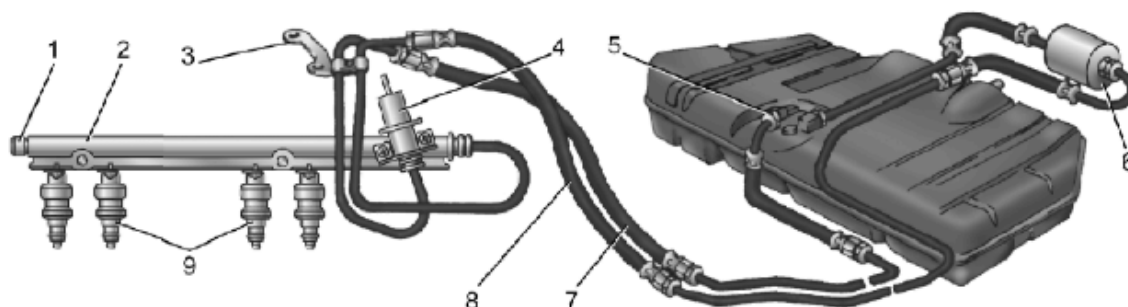


Рисунок 3 – Система подачи топлива

«Модуль электрического бензонасоса, разработанный для автомобилей ВАЗ, объединен с топливным баком. Модуль включает в себя топливный насос, датчик уровня топлива, фильтр и завихритель, служащий для отделения пузырьков пара. Модуль погружного типа омывается окружающим его бензином, поэтому он достаточно охлаждается, чтобы безопасно функционировать без риска образования взрывоопасной смеси в корпусе насоса из-за отсутствия кислорода. Электронасос непрерывно нагнетает топливо из бака в топливопровод»[13], поддерживая соответствующее давление около 6 атмосфер, что намного выше, чем давление, необходимое для работы двигателя. Насос имеет специальное реле, которое помогает управлять его работой с помощью контроллера системы. Благодаря этой системе подача топлива прекращается при включенном зажигании, и выключенном двигателе, что повышает безопасность и эффективность системы.

Топливный фильтр: важно подавать в двигатель автомобиля точное количество топлива, топливная система автомобиля рассчитана на то, чтобы топливо было чистым. Твердые частицы, такие как частицы почвы, частицы из атмосферы и другие, могут не пройти без вреда, попав в форсунки и регулятор давления, что впоследствии увеличивает износ. Для решения этой проблемы в систему включается топливный фильтр. «Данный фильтр состоит из элемента с пористостью около 10 мкм и металлическим волокном в отдельном металлическом корпусе. Этот элемент фиксируется с помощью фланца, который его поддерживает. Частота замены фильтра зависит от объема и уровня загрязнения топлива»[13].

«Топливопроводы: выделяют прямой и обратный топливопроводы. Для топлива, поступающего из модуля электробензонасоса в топливную рампу, используют прямой топливопровод. Для доставки избытка топлива после регулятора давления обратно в бак используют обратный топливопровод» [13].

«Топливная рампа: топливо поступает в топливную рампу и равномерно

распределяется на каждую форсунку. Регулятор давления топлива и штуцер контроля давления» [13] расположены внутри трубки топливной рампы, как показано на (Рисунке 4). Размеры и форма топливной рампы созданы для устранения частных пульсаций давления, которые могут возникнуть во время резонанса при работе инжектора.



Рисунок 4 – Топливная рампа

«Регулятор давления топлива: Количество подаваемого топлива регулируется без учета давления топлива или продолжительности впрыска, поскольку оно полностью зависит от времени открытого состояния форсунок. Чтобы гарантировать точное исполнение, давление топлива в топливной рампе и впускном коллекторе, которое является перепадом давления во всех трубках впрыска, должно оставаться постоянным. В этом и заключается роль регулятора давления топлива»[13].

«Ниже показана конструкция регулятора (рисунок 5). Внутри резиноканевая мембрана разделяет регулятор на две камеры: одну для топлива и одну для пружины. Таким образом, когда давление выше, чем сила пружины, клапан открывается, тем самым пропуская в цилиндр достаточное количество топлива, чтобы давление через мембрану было сбалансировано. Эта камера соединена воздушной пружиной с впускной камерой за дроссельной заслонкой, что делает ее также восприимчивой к вакууму впускной камеры. В результате баланс давления в мембране повторяет баланс давления в инжекторах, равный усилию пружины, умноженному на площадь диафрагмы для сохранения толщины переходной зоны»[1].

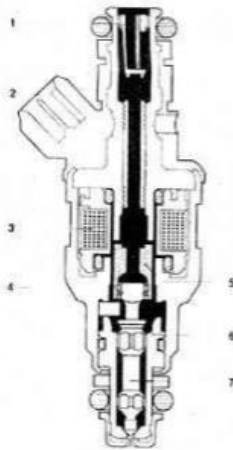


Рисунок 5 – Регулятор давления топлива

«Электромагнитная форсунка: Основное устройство дозирования топлива. Электромагнитная форсунка (рисунок 6) имеет клапанную иглу с закрепленным на ней магнитным сердечником. Она очень точно отрегулирована в корпусе распылителя. В спокойном состоянии спиральная пружина прижимает иглу клапана к уплотнительному седлу корпуса распылителя и закрывает отверстие для выхода топлива. При подаче электрического тока сердечник с иглой клапана поднимается (на 60-100 мкм), и топливо впрыскивается через калиброванное отверстие. В зависимости от способа впрыска, частоты вращения и нагрузки двигателя время срабатывания составляет 1,5-18 мс при частоте срабатывания 3-125 Гц. Зависимость количества топлива, проходящего через инжектор, от времени открытия при постоянной разнице давлений является важнейшим показателем работы инжектора». Из вышеупомянутого мы понимаем то, что инжектор - довольно важный элемент в системе впрыска. Из-за этого он требует повышенного внимания к себе. Как происходит впрыск топлива

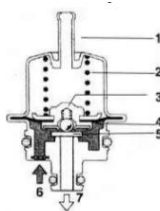


Рисунок 6 – Электромагнитная форсунка

Для эффективной работы камеры сгорания рабочее вещество должно обладать правильным составом воздуха и топлива при сгорании. Этот состав образуется в впускной трубе, которая втягивает воздух в двигатель и смешивает его с каплями топлива, производимыми инжектором. Затем инжектор получает команду «от контроллера и открывает свой закрытый клапан, чтобы распылить топливо, которое поступает во впускной трубопровод перед клапаном. Поскольку перепад давления топлива стабилен, объем подаваемого топлива пропорционален количеству секунд, в течение которых клапан форсунки остается открытым»[13].

«Контроллер осуществляет регулировку соотношения топливно-воздушной смеси путем изменения длительности импульса инжектора. Удлинение времени впрыска топлива приводит к увеличению объема топлива и, соответственно, к обогащению топливовоздушной смеси, а сокращение - к уменьшению объема топлива и обеднению топливовоздушной смеси»[13]. Точное количество впрыскиваемого топлива, а также момент впрыска – все это важные факторы работы двигателя внутреннего сгорания. Для обеспечения наилучшей мощности двигателя количество форсунок должно быть равным количеству цилиндров в двигателе внутреннего сгорания. Контроллер обеспечивает подачу и следит за длительностью впрыска, чтобы контролировать образование топливной пленки на стенках впускного тракта. Этот дефект чаще всего возникает при неполном сгорании топлива, которое обеспечивает более богатую топливно-воздушную смесь.

При запуске двигателя продолжительность впрыска топлива автоматически рассчитывается системой, что происходит без ожидания сигнала датчика массового расхода воздуха. При этом учитываются специальные инструменты, которые используются для уточнения переменных, определенных для специальных целей, например, для коррекции различных условий. В автомобиле при снижении напряжения бортовой сети происходит увеличение длительности времени открытия иглы клапана

инжектора, что, соответственно, уменьшает как время открытия инжектора, так и плотность подаваемого топлива.

Чтобы противостоять изменениям напряжения, коэффициент изменяет только время управляющих сигналов, посылаемых на инжектор, чтобы фактическое содержание топлива было правильным. Однако эти коэффициенты регулировки остаются неотъемлемой частью процедуры, используемой для расчета фактической длительности необходимого сигнала управления форсункой.

Вывод по главе

В первой главе сформулирована постановка задачи выпускной квалификационной работы, рассмотрены основные принципы работы двигателя внутреннего сгорания, также описаны процессы, происходящие в системе впрыска топлива.

Глава 2 Методологические основы описания работы форсунок

2.1 Принципы моделирования процессов в двигателе

Математическое моделирование – это мощная методология, с помощью которой можно количественно прогнозировать и проанализировать характеристики объектов и систем реального мира. Эта методология широко используется для изучения науки, экологии, технологий, экономики и других областей.

Основной целью математического моделирования является создание математических моделей, описывающих свойства и особенности объекта, который является предметом исследования. Для выражения этих моделей часто используются уравнения, функции, алгоритмы или графические схемы.

Математическое моделирование состоит из нескольких этапов:

- определение математической задачи;
- формулировка цели исследования;
- разработка математической модели;
- исследование модели;
- решение математических задач;
- анализ результатов;
- интерпретация результатов.

Достоинство математического моделирования кроется в том, что оно обеспечивает предсказание поведения систем в различных условиях или исследуемых объектов, также позволяет проводить виртуальные эксперименты, оптимизировать параметры и принимать обоснованные решения. Созданные модели помогают экономить время и ресурсы, а кроме того, минимизировать риски, связанные с физическими экспериментами.

Совершенствование компьютерных технологий повлекло к увеличению важности математического моделирования в нашем мире. Современные вычислительные технологии позволяют эффективно решать сложные математические задачи и обрабатывать большие массивы данных. Таким

образом специализированное программное обеспечение стало важнейшими инструментом для ученых и сегодня являются основным средством исследования и проектирования в научных и инженерных областях.

Во время разработки математической модели «выполняются четыре этапа:

1. принятие гипотезы и на их основе формулирование «законов» для описания явлений в объектах, которые записываются в математических терминах как замкнутая система уравнений модели;

2. постановка и исследование математических задач для решения их по уравнениям математической модели;

3. нахождение решений по условиям задач или ряда задач, с использованием аналитических или численных методов, которые могут быть реализованы на ЭВМ;

4. выяснение того, удовлетворяет ли принятая модель критерию практики, то есть согласуются ли решения задач, следствия гипотез в основе модели, с данными наблюдений. Если модель не удовлетворяет критерию практики, требуется вернуться к этапу 1 и пересмотреть гипотезы, заложенные в основу модели»[21].

«Математическое моделирование соответствует научному методу, который включает формулирование исходных гипотез, вывод из них всех следствий, сопоставление следствий с данными наблюдений и принятие теории или ее отклонение в зависимости от того, соответствуют ли ее результаты наблюдаемым фактам. Целью исследования, выполненного научным методом, является теория, которая представляет собой систему основных идей в той или иной области знаний, дающую целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности. Критерием истинности и основой развития теории является практика»[17].

«При создании математической модели сначала принимаются гипотезы, которые определяют упрощения, следствием которых является конкретная замкнутая математическая модель процессов в классе объектов. При

постановке и решении конкретной задачи внесение изменений в модель не допускается. Экспериментальная проверка модели предполагает определенную точность и полноту данных измерений на физической модели объекта, адекватной постановке задачи. При выполнении этих условий экспериментальную проверку проходят заложенные в основу модели гипотезы»[16].

Вовремя моделирования процессов в двигателях внутреннего сгорания используются следующие принципы:

- выбор математической модели: выбор правильной модели осуществляется в результате тщательного изучения совокупности условий, в соответствии с физическими законами, описывающие перечисленные процессы;

- задание граничных условий: необходимо задать граничные условия, которые учтут системы, т.е. двигатель, система подачи топлива, выхлоп и другие элементы;

- выбор численных методов: выбор подходящих численных методов должен учитывать особенности процессов, и учитывать заданные граничные условия. Часто при моделировании в ДВС применяются такие методы: конечно-элементная сетка, объемная сетка и методы конечных разностей;

- оценка точности моделирования: проверка точности модели осуществляется путем сравнения полученных результатов с ранее полученными экспериментальными данными. Этот принцип в моделировании позволяет выявить адекватность и точность модели, определив правильность и пригодность полученных результатов;

- валидация модели: этот процесс включает проверку модели на точность прогнозирования результатов в реальных условиях эксплуатации. Успешная валидация свидетельствует о надежности модели для моделирования реальных процессов;

- использование модели для оптимизации: после валидации модель может оптимизировать работу двигателя. С помощью результатов

имитирования можно экспериментировать с изменением характеристик двигателя внутреннего сгорания, что позволяет повысить КПД и оптимизировать работу.

Для соответствия принципам моделирования процессов в ДВС, программное обеспечение должно иметь следующие функции:

- функция построения математической модели, которая отражает физические процессы, происходящие в двигателях внутреннего сгорания;
- поддержка моделей течения жидкости. Программное обеспечение должно поддерживать различные модели течения жидкости, включая модель впрыска топлива;
- поддержка работы с другими программами. Например, интеграция пакетов моделирования системы охлаждения, системы управления и другие;
- сравнительный анализ разных конструкции двигателей внутреннего сгорания для выявления эффективной конфигурации;
- поддержка пользовательских подпрограмм, в которых предусмотрена возможность использования пользовательских пакетов на базе SimInTech. Например, пакет для моделирования системы выхлопов;
- высокая точность и скорость расчетов для обеспечения достаточно близкого численного решения к точному;
- пользовательский интерфейс должен обладать хорошо проработанным пользовательским интерфейсом, обеспечивающим удобство работы и эффективную визуализацию результатов.

Для усовершенствования параметров двигателей внутреннего сгорания, нам необходимо использовать производительные методы оптимизации, которые подразумевает использование точных математических моделей для решения сложных задач систем впрыска топлива. Оптимизация процесса впрыска топлива включает в себя: оптимизация количества распыляемого топлива; регулирование продолжительности впрыска топлива; регулирование давления впрыска; управление температурой топлива и топливной системы;

«Математические модели, используемые в программном обеспечении,

должны быть универсальными и достаточно точными, что позволит использовать разработанный инструмент для разных объектов. Они также должны обладать высоким быстродействием, так как решение прикладных задач должно укладываться в разумные временные рамки»[10].

Разработка пакета на базе SimInTech для моделирования работы блока из двух форсунок, включает в себя следующие вопросы: технологию впрыска топлива форсунок и влияние различных элементов топливной системы друг на друга. Для использовать всех преимуществ данного пакета, следует настроить пользовательский интерфейс с выводом всех необходимых графиков

При создании методов и новых моделей, оптимизирующих работы двигателя, следует учитывать предписания к эффективности и экологической безопасности. Одна из главных задач это разработка компьютерной модели с быстродействующими универсальными математическими алгоритмами, которые показывают работу топливной системы.

Точность пакета будет проверяется путем сравнения данных моделирования с реальными экспериментальными данными, что является важным этапом исследования. Цель состоит в том, чтобы провести разработку целого набора программных пакетов с простыми в использовании интерфейсами и вспомогательными системами управления для моделирования и оптимизации двигателя. Также данная программа обеспечивают анализ многомерной оптимизации, которая повышает эффективность и производительность двигателей.

2.2 Моделирование процесса впрыска с электрогидравлической форсункой

В данном разделе рассматривается разработка программной модели топливной системы с электрогидравлической форсункой. С помощью уравнения движения маловязких сортов топлива основывается методика

Главные аккумуляторные топливные системы, которое существуют около 25-27 лет, «постоянно подвергаются конструктивным усовершенствованиям, особенно элементы форсунок. Эти усовершенствования направлены на экологичности топливных систем и улучшения экономичности»[13].

«Для осуществления оптимизации процессов в топливной аппаратуре (ТА) дизеля с целью улучшения его экономических и экологический характеристик форсунки должны удовлетворять следующим параметрам:

- устойчивость системы при работе с высоким давлением;
- высокая скорость работы;
- осуществимость фиксирования величины цикловой подачи;
- низкие затраты энергии и топлива»[25].

В современном мире существует тенденция к уменьшения транспортного следа, что ведёт к ужесточению экологических норм, в связи с этим производители обязаны совершенствовать не только топливный насосы высокого давления, повысив тем самым давления впрыска, но и характеристики форсунок.

«Предлагаемая математической модель представляет собой комбинацию клапана Busch и электрогидравлической форсунки, которая помогает уменьшить продолжительность и цену производства элементов».

На рисунке 7 представлена расчетная схема форсунки с электромагнитным управлением.

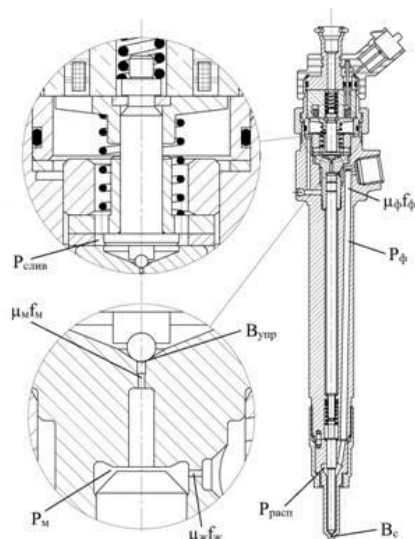


Рисунок 7 – Расчетная схема форсунки с электромагнитным управлением

«Математическая модель системы подачи топлива с использованием электрогидравлической форсунки включает несколько допущений для описания физических процессов:

- плотность потока и скорость звуковых волн определены как постоянные;
- при проектировании топливопровода используется одномерный характер движения топлива;
- начальное давление в аккумуляторе на каждом расчётом режиме проектирования считается неизменным и принимается за остаточное давление в системе;
- используется идеализированная имитационная модель, в которой игнорируются утечки в прецизионных соединениях, а также сила трение в зазорах прецизионных кинематических пар;
- соударения подвижных деталей с упорами являются абсолютно неупругими и деформации деталей вследствие соударений отсутствуют;
- давление в акустически коротких объемах в текущий момент времени одинаково во всех точках.

В основу расчета топливной аппаратуры положен принцип гидравлического удара Н.Е. Жуковского и уравнения граничных условий на

топливной форсунке, разработанные профессором И.В. Астаховым»[23]. Достижения таких российских ученых, как И.В. Астахов, Л.В. Грехов, Л.Н. Голубков и Ю.Я. Фомин, способствуют совершенствованию подходов к гидродинамическому расчету топливных форсунок.

В данной методике, «движение топлива в системе трубопроводов с учетом гидравлического сопротивления подробно описывается уравнением, получившим название «телеграфный», которое представлено в виде конечных уравнений и формул:

$$\frac{d^2 v}{dx^2} - \frac{1}{a^2} \cdot \frac{d^2 v}{dt^2} - \frac{2k}{a^2} \cdot \frac{dv}{dt} = 0, \quad (1)$$

где x и t – длина топливопровода;

v – скорость топлива;

k – фактор гидравлического сопротивления;

a – скорость звука в топливе.

При добавлении функции $v(x, t) = p(x, t)$, допускается решение в следующем виде:

$$\begin{cases} p = p_0 + e^{-kt} \left[F \left(t - \frac{L}{a} \right) - W \left(t + \frac{L}{a} \right) \right] \\ u = \frac{1}{ap} e^{-kt} \left[F \left(t - \frac{L}{a} \right) + W \left(t + \frac{L}{a} \right) \right] \end{cases}, \quad (2)$$

где p и v – давление топлива у форсунки и скорость топлива в магистрали;

p_0 и v_0 – начальные значения давления и скорость топлива в магистрали;

$F \left(t - \frac{L}{a} \right)$ и $W \left(t + \frac{L}{a} \right)$ – прямая и обратная волны давления; затухание колебаний.

В роли граничных условий для первого выражения используются

уравнения баланса топлива в полостях, которое записывается для определения граничных условий в задаче о трубопроводе, в нашем случае применяется уравнение объемных балансов. Для каждой камеры уравнения объемного баланса в течения топлива:

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{1}{V_i \beta_i^{\text{эфф}}} \left[\sum Q_{i-k} + \sum U_{i-j} f_i + \sum \frac{dV_{i-n}}{dt} \right], \quad (3)$$

где $Q_{i-k} = u_i f_i \sqrt{2(P_i - P_k)/\rho}$ – перетечки в (из) k – ю полость, где P_i и P_k – давление до и после сечения, ρ – плотность топлива в характерном сечении;

V_i – объем i – ой камеры;

$\beta_i^{\text{эфф}}$ – коэффициент, характеризующий сжатия топлива и деформации полости;

U_{i-j} – скорость втекания топлива из (в) j -го канала;

dV_{j-n} – изменение объема под действием перемещения n -го элемента.

Граничные условия для электрогидравлической форсунки основаны на ранее упомянутых уравнениях объемных балансов, а также учитывают силы, обусловленные сжимаемостью жидкости и упругостью движущихся элементов:

граничные условия для входной полости форсунки со штуцером и фильтром:

$$\frac{dP_\phi}{dt} = \frac{1}{V_\phi \beta_\phi^{\text{эфф}}} [U_{\text{тр}} f_{\text{тр}} - U_{\text{кан}} f_{\text{кан}}], \quad (4)$$

граничный условия в полости мультипликатора форсунки:

$$\frac{dP_M}{dt} = \frac{1}{V_\phi \beta_\phi^{\text{эфф}}} \left[u_{ж} f_{ж} \sqrt{\frac{2}{p} |P_\phi - P_M|} - u_M f_M \sqrt{\frac{2}{p} |P_M - P_{слив}|} - Q_{ут}^M \right], \quad (5)$$

граничные условия в распылителе перед сопловым отверстиями:

$$\frac{dP_{расп}}{dt} = \frac{1}{V_\phi \beta_\phi^{\text{эфф}}} \left[u_{кан} f_{кан} - Q_{ут}^{расп} - u_{расп} f_{расп} \sqrt{\frac{2}{p} (P_{расп} - P_{цил})} - F \right], \quad (6)$$

расход топлива на управление:

$$\frac{dB_{упр}}{dt} = u_M f_M \sqrt{\frac{2}{p} (P_\phi - P_M)}, \quad (7)$$

расход топлива через распыливающие отверстия:

$$\frac{dB_c}{dt} = u_{расп} f_{расп} \sqrt{\frac{2}{p} (P_{расп} - P_c)}, \quad (8)$$

где a – коэффициент сжимаемости топлива;

P_ϕ – давление в полости форсунки;

$P_{расп}$ – давление в области распылителя;

P_M – давление в полости мультипликатора;

P_c – давление в цилиндре двигателя;

$P_{слив}$ – давление за мультипликатором в сливной полости;

$U_{кан}$ – скорость течения топлива в канале форсунки;

$U_{тр}$ – скорость течения топлива в трубопроводе;

$f_{кан}$ – площадь поперечного сечения канала;

$f_{тр}$ – площадь поперечного сечения трубопровода;

$f_{игл}$ – площадь поперечного сечения иглы форсунки;

$Q_{ут}^{расп}$ – утечки топлива через распылитель;

$Q_{ут}^м$ – утечки топлива через мультипликатор;

$u_{ф}f_{ф}$ – эффективная площадь проходного сечения форсунки;

$u_{расп}f_{расп}$ – эффективная площадь проходного сечения распылителя;

$u_{ж}f_{ж}$ – эффективная площадь проходного сечения жиклера перед мультипликатором;

$u_{м}f_{м}$ – эффективная площадь проходного сечения мультипликатора;

ρ – плотность топлива;

$dh_{игл}/dt$ – скорость подъема иглы;

$V_{упр}$ – расход топлива на управление;

V_c – расход топлива через распыливающие отверстия»[23].

Таким образом в данной математической модели топливной системы можно смоделировать электрогидравлическую форсунку, которая принимает в расчёт влияние конструктивных факторов на процесс впрыска топлива, а с помощью данной модели можно провести расчетную адаптацию, позволяющую настроить систему в соответствии с требованиями двигателя.

Вывод по главе

Во второй главе описаны принципы моделирование процессов, происходящих в двигателе внутреннего сгорания. Рассмотрена литература, которая понадобится для разработки программной модели топливной системы с электрогидравлической форсунки. Также описана математическая модель движения топлива в системе трубопроводов с учётом гидравлического сопротивления.

Глава 3 Моделирование работы блока из двух форсунок

3.1 Методы исследования

Выбранная Среда разработки:

«SimInTech (Simulation In Technic) – среда разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев.

SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления»[27].

Вычисления были выполнены на 64 битной системе процессора AMD Ryzen 5 3500U with Radeon Vega Gfx 2.10 Гигагерц, 8 ГБ ОЗУ, в операционной системе Windows 10, в среде разработки математических моделей SimInTech версии 2.14.1.26. Для создания математической модели необходимы перечисленные библиотеки среды разработки SimInTech:

Механика: блоки данной библиотеки предназначены для моделирования плоского (плоскопараллельного) механического движения связанных друг с другом тел. Виды моделируемых движений разделены на две категории: поступательные и вращательные движение. При этом каждое движение каждой массы (вращающегося тела, ротора) характеризуется своей координатой (линейной или угловой), скоростью движения (скорость прямолинейного движения или угловая скорость) и ускорением (линейным или угловым).

Автоматика: блоки данной библиотеки, «содержат набор взаимосвязанных алгоритмов управления отдельных подсистем объекта управления. Может также содержать математические модели объектов управления, реализованные в виде схем типа «вход-выход» или набранные на встроенном языке программирования»[27].

Теплогидравлика: в библиотеке «теплогидравлики HS (от англ. Hydro Solver) решаются уравнения сохранения массы, импульса и энергии для

жидкости (в одномерном односкоростном приближении), а также нестационарные уравнения теплопроводности для тепловых структур (стенок каналов), в том числе с учетом теплового излучения между цилиндрическими стенками. Основой является одномерная нестационарная гомогенная модель течения несжимаемой или сжимаемой жидкости»[27].

Гидравлические и пневматические системы: «библиотека находит широкое применение в ракетно-космической, авиационной, станкостроительной, судостроительной и других отраслях машиностроения. К подобным системам можно отнести гидро- и пневмоприводы станков, мобильных машин и судов, системы газоснабжения ракетно-космических комплексов, гидро- и пневмосистемы ракет-носителей и самолетов. В большинстве случаев проектирование и отработка гидро- и пневмосистем сопровождаются численным экспериментом на основе математической цифровой модели с сосредоточенными параметрами»[27].

Отсюда следует, что мы описали условия исследования, а также список используемых библиотек SimInTech, необходимых для разработки математических моделей.

3.2 Моделирование распределительного вала

Распределительный вала состоит из 2 отдельных моделей кулачков, которые включают в себя два параболических профиля. Каждая камера содержит подсистему, создающую правильный профиль движения и описывающую профиль камеры.

Профиль движения задаётся функцией угла поворота вала. Для этого используется блоки датчиков угла из библиотеки Гидравлические и пневматические системы, которые измеряют углы поворота. Далее с помощью блока языка программирования измеренный угол преобразуется значение в диапазоне от 0 до 2π . Затем определенный угла переходит подсистеме для расчёта профиля. Кулачок, который задаёт движение плунжер насоса, обязан

обладать параболическим профилем, в время которого толкатель делает перемещение вперед-назад, учитывая постоянное ускорение, в таком виде:

$$X = 2s \cdot \left(\frac{O \cdot O_e}{a} \right)^2, \text{ Если } O_e \leq O \leq \frac{a}{2} + O_e \quad (9)$$

$$X = s(1 - 2 \cdot \left(1 - \frac{O \cdot O_e}{a} \right)^2), \text{ Если } \frac{a}{2} + O_e \leq O \leq a + O_e \quad (10)$$

$$X = s(1 - 2 \cdot \left(\frac{O \cdot O_R}{B} \right)^2), \text{ Если } O_R \leq O \leq \frac{B}{2} + O_R \quad (11)$$

$$X = 2s \cdot \left(1 - \frac{O \cdot O_R}{B} \right)^2, \text{ Если } O_e \leq O \leq \frac{a}{2} + O_e \quad (12)$$

где x – положение последователя;

s – ход последователя;

O – угловое положение кулачка (с учетом фазового угла);

O_e – егол начального выдвигения;

a – угол выдвигения;

O_R – угол начала втягивания;

B – угол втягивания.

В итоге при наличии стартового угла выдвигения толкатель начинает производить движение в вверх для достижения верхнего положения затем вал прокручивается на дополнительный угол выдвигения. После чего толкатель принимает обратный ход с помощью начального угла втягивания, для того чтобы завершилось движение требуется рассчитать угол втягивания. Разность между начальным угол выдвигения и, суммой угла выдвигения и начальным углом втягивания требуется для установления угла окончания в полностью выдвинутом положении.

Предполагается, что последовательность срабатывания для

моделируемого двигателя равна 1-2. Углы выдвижения и угол возврата равны $\pi/4$. Угол остановки равным $3 \cdot \pi/2$ рад при до конца выдвинутом толкателе.

На рисунке 8 представлена программная модель блока профиля кулачка на базе SimInTech.

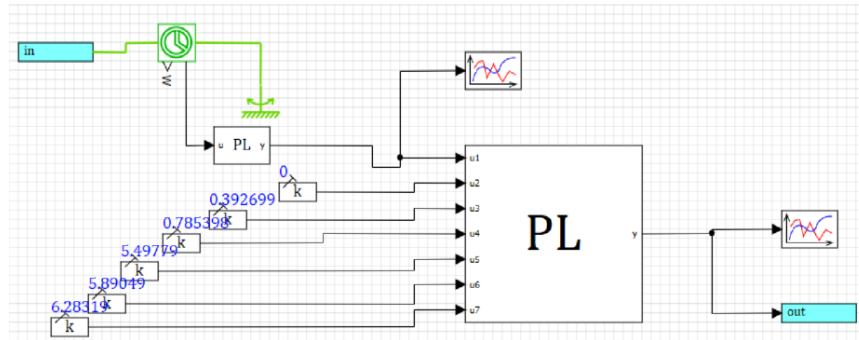


Рисунок 8 – Программная модель блока профиля кулачка на базе SimInTech.

На рисунке 9 представлен график рассчитанного угла с идеального датчика вращательного движения.

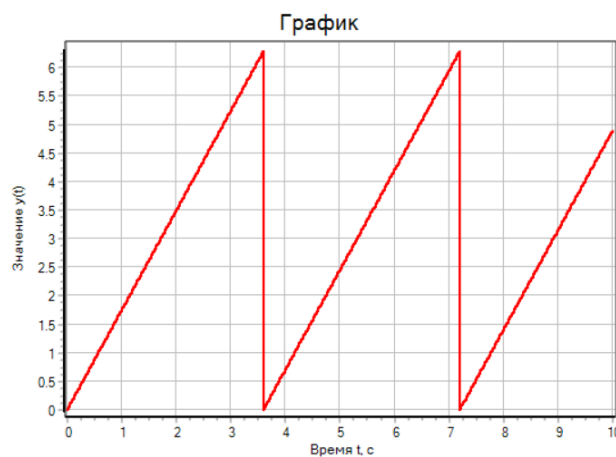


Рисунок 9 – График рассчитанного угла с идеального датчика вращательного движения

На рисунке 10 представлен график рассчитанной работы параболической камеры.

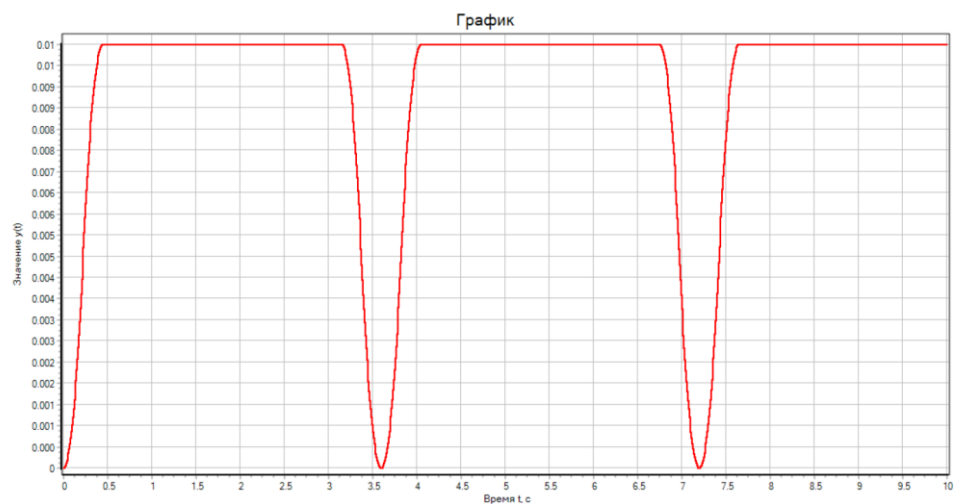


Рисунок 10 – График рассчитанной работы параболической камеры

На рисунке 11 представлен программная модель блока источника позиционирования на базе SimInTech.

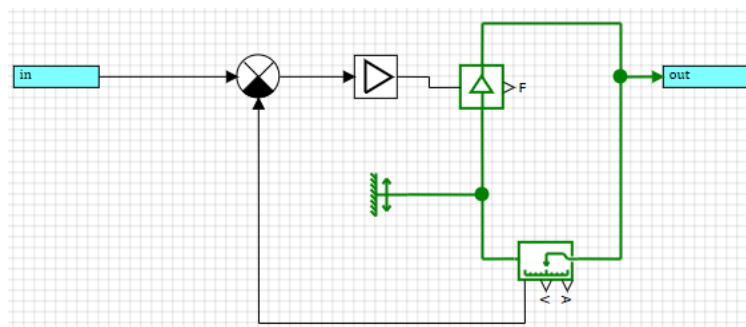


Рисунок 11 – Программная модель блока источника позиционирования на базе SimInTech

На рисунке 12 представлен график рассчитанной поступательной скорости.

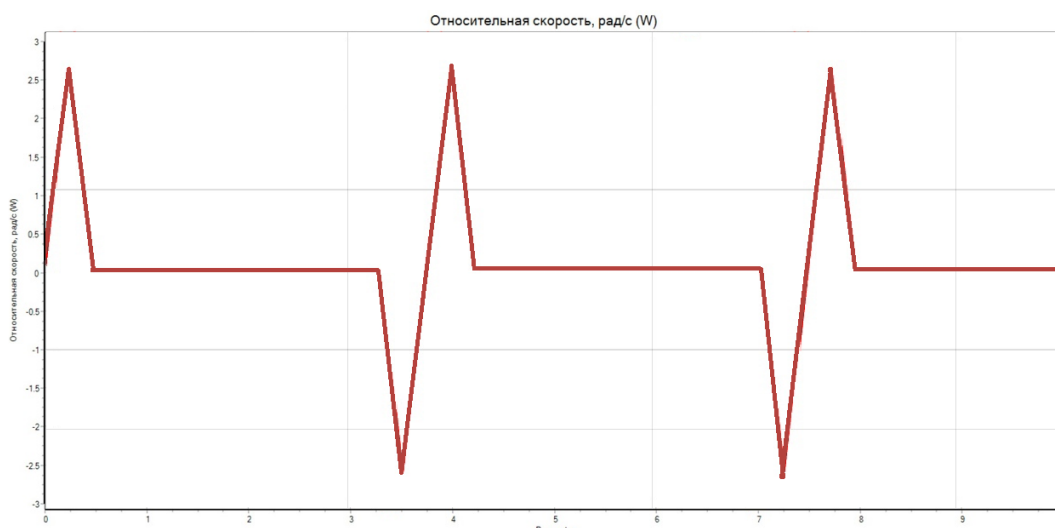


Рисунок 12 – График рассчитанной поступательной скорости

Таким образом была реализован программная модель распределительного вала, который включает в себя 2 отдельных модели кулачков и модели двух параболических профилей, которые генерирует профиль движения для блока источник положения

3.3 Моделирование впрыскивающего насоса

В данном разделе описано моделирование впрыскивающего насоса. Рядный топливный насос высокого давления – это двухкомпонентный насосное устройство. Каждый элемент которого подает жидкость (топливо) в свой цилиндр. Два компонента одинаковы по конструкции и характеристикам, и имитируется с помощью одинаковых моделей. Каждая подсистема элемента топливного насоса высокого давления содержит две подсистемы, которыми являются насос и форсунка. Насос состоит из механизма управления насосом и плунжер насоса, в то же время, модель форсунки расположена непосредственно на цилиндре двигателя внутреннего сгорания как показано на рисунке 13.

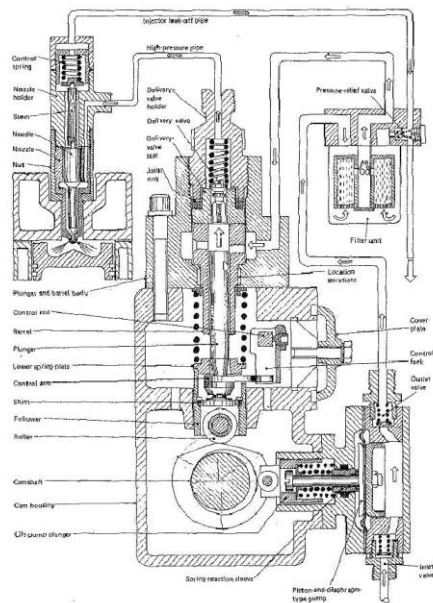


Рисунок 13 – Схема системы впрыска

Плунжер насоса создаёт колебания внутри насоса, которые начинают движение с помощью кулачка. Плунжер состоит из блоков гидравлических цилиндров одностороннего действия. «Блоки поступательного жесткого упора и массы представляют собой контакт между роликом плунжера и массой плунжера соответственно. Контакт поддерживается пружинными зажимами.»

Во время того как плунжер производит движение в нижнюю сторону, жидкость (топливо) под давлением наполняется. Топливо наполняет камеру с помощью двух отверстий, называемые впускным отверстием и сливным отверстием, которые показаны на рисунке 14.

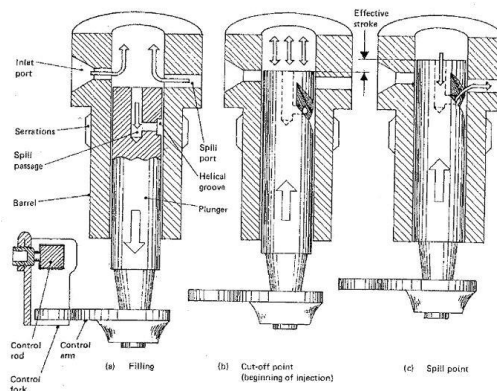


Рисунок 14 – Взаимодействие поршня с управляющими отверстиями в цилиндре

Когда поршень закончит движение в верхнее положение так высоко, для того чтобы закрыть два отверстия впускной камеры, начнёт расти давление на выходе. вовремя определенного возвышения давления форсунка в цилиндре двигателя начинает работу, и цилиндр наполняется топливом.

Впрыск топлива заканчивается, после того спиральная канавка, созданная на боковой поверхности плунжера, доходит до сливного отверстия, которое соединяет верхнюю камеру с камерой низкого давления через отверстие, которое находится внутри плунжера. Мы можете контролировать положением винтовой канавки относительно сливного отверстия, вращая поршень с помощью вилки управления, контролируя объем впрыскиваемого топлива в цилиндр.

Программная модель механизма контроля плунжером создана при условии следующих допущениях:

1. В цепи управления имеется три регулируемых отверстия: сливное отверстие, впускное отверстие и отверстие, образованное сливным отверстием и винтовой канавкой. Отверстия сливного и впускного меняются из-за движения плунжера, когда открывается сливная канавка, которая зависит о зависит от движения плунжера и вращения плунжера. Для облегчения смещение, приведенное вращением плунжера, показано как источник линейного движения, комбинируемый при помощи смещения плунжера.

2. При назначении начальных отверстий и ориентации диафрагм за исходное положение принимается верхнее положение плунжера, а движение в направлении вверх показывается движение вверх по направлению Ось x. Согласно этим допущениям, направления сливного отверстия и впускного отверстия установлены на открытие в отрицательном направлении, также как отверстие сливного отверстия с канавкой следует установить на открытие в положительном направлении, так как оно открывается при движении поршня вверх. В таблице ниже приведены значения, присвоенные начальным отверстиям и диаметрам отверстий.

3. Эффективный ход поршня равен

Впускное отверстие обычно расположено выше выпускного отверстия. В приведенном примере это расстояние установлено равным 1 мм. Вращая поршень, вы изменяете начальное отверстие канавки-сливного отверстия. Поскольку начальное отверстие является элементом и не может изменяться динамично, смещение начального отверстия имитируется добавлением равного линейного смещения компонентов управления отверстием. При большом равноценном сигнале, быстрее происходит открытие сливного отверстия, после этого уменьшается объем топлива, который подаётся в цилиндр. Максимальное значение равноценного сигнала равно идеальному такту. При этом сливное отверстие всегда остается открытым на продолжительности всего времени.

Таким образом была реализован модель впрыскивающего насоса, который, который подает топливо в свой цилиндр.

3.4 Моделирование форсунки

В основе модели инжектора лежит блок игольчатых клапанов и блок гидроцилиндров одностороннего действия. Игольчатый клапан прекращает выпускать жидкость в исходном положении усилием, которое создаётся изначально натянутой пружиной. Форсунка позволяет впрыскивать топливо в цилиндр и открывается. После преодоления усилия, созданным цилиндром, В данном примере форсунка параметр открытия настроен на 1000 бар.

На рисунке 15 представлена программная модель форсунки на базе SimInTech.

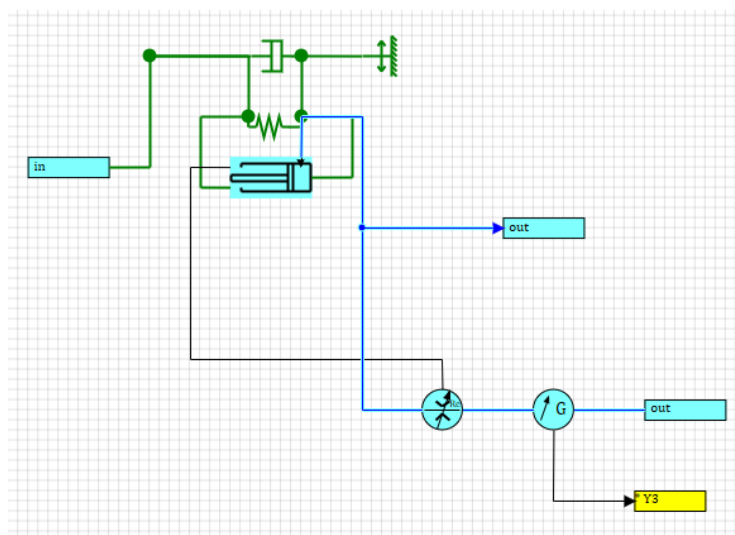


Рисунок 15 – Программная модель форсунки на базе SimInTech

На рисунке 16 График рассчитанной скорости потока блока из двух форсунок.

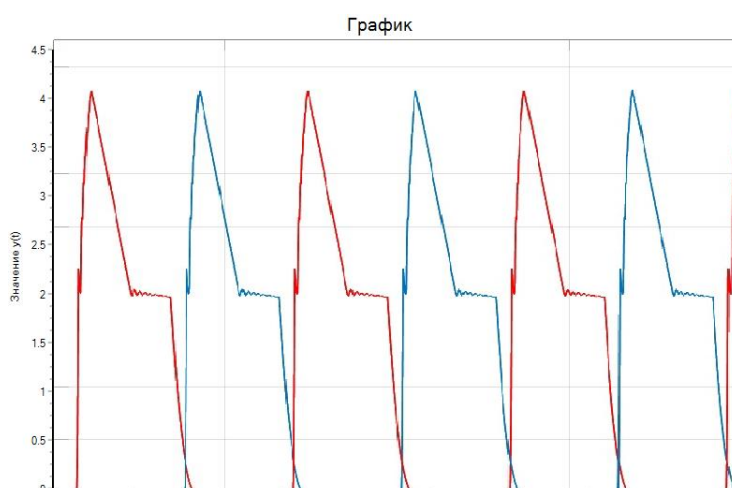


Рисунок 16 – График рассчитанной скорости потока блока из двух форсунок

Таким образом была реализован программная модель форсунки.

Вывод по главе

Третья глава посвящена разработке программной модели системы впрыска топлива на базе SimInTech, а именно моделирование распределительного вала, впрыскивающего насоса, форсунки, также рассмотрены методы исследования.

Заключение

В данной бакалаврской работе на тему «Моделирование работы блока из двух форсунок в ДВС на базе SimInTech» была разработана программная модель блока из двух форсунок в ДВС.

Выполнен физический анализ процессов, осуществляющихся в системе впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания, рассмотрена работа и устройство системы впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания.

Разработана программная модель блока из двух форсунок на базе программы SimInTech на основе, которой можно проводить точные математические вычисления для модернизации процесса впрыска топлива, и повышение производительности работы форсунок в двигателе внутреннего сгорания.

В данной работе исследование было проведено на базе российской среды разработки математических моделей SimInTech, что в свою очередь значительно повышает научный интерес среди российских разработчиков, так как программная модель показывает новый подход к разработке программ в наших реалиях.

В результате выполненной бакалаврской работы мы получили ценные данные, которые играют важную роль в определении точных характеристик, влияющих на процесс впрыска топлива. Конкретно в модели блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания

Бакалаврская работа исследовала процессы, происходящие при функционировании двигателя внутреннего сгорания. Подробно были рассмотрены процессы, происходящие в системе впрыска топлива. Также была разработана и исследована математическая модель блока из двух форсунок в двигателе внутреннего сгорания. Исследована система впрыска топлива и создана программная модель на базе SimInTech, включающая в себя все основные элементы системы впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания.

Список используемой литературы

1. Астахов А.В. Топливные системы и экономичность дизелей / А.В. Астахов, Л.Н. Голубков, В.И. Трусов, А.С. Хачиян, Л.М. Рябикин. - М.: Машиностроение, 1990.-288 с.
2. Астахов И.В. Расчет конца процесса впрыска топлива в быстроходных дизелях с учетом гидравлического сопротивления и следа волн давления / И.В. Астахов, Л.А. Илиев // Известия вузов. Машиностроение. – 1970. - №10. - С. 103-110.
3. Астахов И.В. Характер износа запирающих конусов распылителя / И.В. Астахов, Г.С. Корнилов, В.М. Гундоров // Двигателестроение. - 1987. - №9. – С. 26-28.
4. Бедарев Ю.Ф. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. 1991.
5. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. – М.: Наука, 1982. – 392 с.
6. Блинников, В.И. Методика построения структурных матриц / В.И. Блинников [и др.]. – М.: ВНИИПИ, 1983. – 38 с.
7. Бочков М.В., Захаров А.Ю., Хвисевич С.Н. Образование NOx при горении метановоздушных смесей в условиях совместного протекания процессов химической кинетики и молекулярной диффузии // Математическое моделирование. – 1997. – Т.9, №3. – С. 13-28.
8. Верещак В.П., Абелевич Л.А. Руководство по ремонту подвижного состава автомобильного транспорта. М.: Транспорт 1990.
9. Вольнов, А.С. О системном подходе к оценке влияния автотранспортных средств в процессе эксплуатации на экологию городов / А.С. Вольнов, Л.Н. Третьяк // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – №1. – С. 161166.
10. Гладышев М.И. Математическое моделирование технологических процессов.

11. Голубков Л.Н. Алгоритмы и программы расчета топливных систем на Фортране: Учебное пособие. / Л.Н. Голубков - М.: МАДИ, 1980. - 40 с.
12. Голубков Л.Н. Гидродинамические процессы в топливных системах дизелей при двухфазном состоянии топлива /Л.Н. Голубков // Двигателестроение. – 1987.-№1.-С.32-35.
13. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для ВУЗов. / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с. 3.
14. Грехов Л.В. Уточненная математическая модель процесса подачи топлива в дизеле / Л.В. Грехов // Известия вузов. Машиностроение. - 1997. – № 10-12. – С. 47-51
15. Гришин Ю.А. Новые схемы метода крупных частиц и их использование для оптимизации газоздушных трактов двигателей.
16. Двигатели внутреннего сгорания. Методические указания к выполнению расчетно-графического упражнения./Сост. Ю.Н. Сырямин, А.П. Ткачук. Новосибирск, 1998. 13 с.
17. Дмитриев, М.Г. О газохроматографическом определении СО в атмосферном воздухе / М.Г. Дмитриев, Г.М. Колесников //Гигиена и санитария. – 1980. – №3. – С. 53–54.
18. Кедик, Л.М. Использование метода газовой хроматографии для определения СО в воздухе /Л.М. Кедик, И.С. Новиков //Гигиена и санитария. – 1984. – №4. – С. 45–46.
19. Клейнер Б.С., Тарасов В.В. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Организация и управление. –М.: Транспорт, 1992.
20. Павличенко А.М., Жуков В.П. Теплообмен в среднеоборотных дизелях типа 6ЧН 25/34, ЧН 26/34, 6ЧН 36/45, ЧН 62/64 // Труды НКИ (Николаев). –1976. – Вып. 118. – С. 95-101.
21. Полак Э. Численные методы оптимизации. – М.: Мир, 1974. – 65с.
22. СТО СГУПС 1.01СДМ.01-2007. Система управления качеством.

Курсовой и дипломный проекты. Требования к оформлению.

23. Субботенко, Д. И. Математическая модель процесса топливоподачи системой Common Rail с электро-гидравлической форсункой / Д. И. Субботенко. – Текст : непосредственный // Тех. науки: проблемы и перспективы : мат. II Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, апрель 2014 г.). – Т. 0. – Санкт-Петербург : Заневская площадь, 2014. – С. 58-60.

24. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания: Учебник для вузов.

25. Фомин Ю.Я. Топливная аппаратура судовых дизелей. / Ю.Я. Фомин - М.: Транспорт, 1966. - 240 с.

26. Фомин Ю.Я., Никонов Г.В., Ивановский В.Г. Топливная аппаратура дизелей: Справочник./ Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский - М.: Машиностроение, 1982. - 168 с.

27. Хабаров, С. П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech : учебное пособие / С. П. Хабаров, М. Л. Шилкина. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 120 с.

28. Automotive Technology: Principles, Diagnosis, and Service" by James D. Halderman (6th Edition, Pearson, 2019), глава 3 "Engine Operation and Service.

29. Dauaud A.M. Eyzat P. Four-Oktane-Number Method for Predicting the Anti-Knock Behavior of Fuels and Engines // SAE Transactions. – 1978. – Vol. 87, Sec. 1, Pap. 780080. – P. 294-308.30.

30. Fyhr C., Dahlberg O. Complete Engine Modeling Using CFD // SAE Tech. Pap. Ser. – 2004. – N 2004-01-0109. – P. 1-7.

31. Internal Combustion Engine Fundamentals" by John Heywood (2nd Edition, McGraw-Hill, 1998), chapter 2 "Engine Cycles and Cylinder Operations.

32. Internal Combustion Engine Fundamentals" by John Heywood (2nd Edition, McGraw-Hill, 1998), chapter 3 "Idealized Engine Cycles

33. Robert Bosch GmbH, Dieselmotor-Management, 3. vollständige überarbeitete und erweiterte Auflage, 2002. – S. 443.

Приложения

Приложение А

Программная модель системы впрыска топлива на базе SimInTech

