*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования*

***«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»***

***(МГТУ им. Н.Э. Баумана)***

## ФАКУЛЬТЕТ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ КАФЕДРА ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

**Р А С Ч Ё Т Н О - П О Я С Н И Т Е Л Ь Н А Я З А П И С К А**

**к курсовому проекту на тему:**

\_

\_

\_

\_

Студент группы Э2-71Б

Т. Рахимгалиев

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

## Руководитель курсового проекта

В.А Зенкин

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Москва, 2020

# Содержание

# Описание двигателя

Исходя из темы курсового проекта, объектом исследования является двигатель автомобиля Mitsubishi L200 – 4D56.

Данный силовой агрегат – четырехцилиндровый, четырехтактный двигатель с наддувом. Цилиндры имеют рядную схему расположения. Головка цилиндра имеет двухклапанную конструкцию.

Двигатель выпускался крупной серией с [1986](https://ru.wikipedia.org/wiki/1941) по [нынешнее](https://ru.wikipedia.org/wiki/1960_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) время на заводах Mitsubishi (Япония), Hyundai (Корея). Назначения – исключительно гражданское.

# Техническое задание

# Исходные параметры двигателя

Исходя из данных паспорта двигателя, максимальная мощность   
Ne = 99 л. с. = 72,8 кВт при частоте вращения коленчатого вала n = 4000 мин-1.

Степень сжатия ε = 21.  
Диаметр цилиндра D = 91,1 мм  
Ход поршня S = 99 мм  
Максимальный крутящий момент: Me = 237 Н\*м при n = 2000 мин-1.

Для анализа используется положение автомобиля с данным двигателем на уровне море, то есть при следующих параметрах окружающей среды:

* + - * + Атмосферное давление – 1 бар (105 Па);
        + Температура окружающей среды – 288 K.

**Идентификация математической модели двигателя в программном комплексе «Diesel-RK»**

Анализ работы двигателя будет производится посредством пакета программ

«Diesel-RK», методом численного эксперимента. Данный программный комплекс был разработан при участии сотрудников кафедры «Поршневые двигатели» факультета «Энергомашиностроен- ие» МГТУ им. Н. Э. Баумана. Программа ДИЗЕЛЬ-РК предназначена для расчета и оптимизации двухтактных и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания. Программа позволяет проводить тепловой расчет, анализ и исследования следующих типов ДВС:

* + - * + дизельных;
        + бензиновых искровых: - карбюраторных, - с впрыском бензина;
        + газовых искровых: - обычных, - форкамерных.

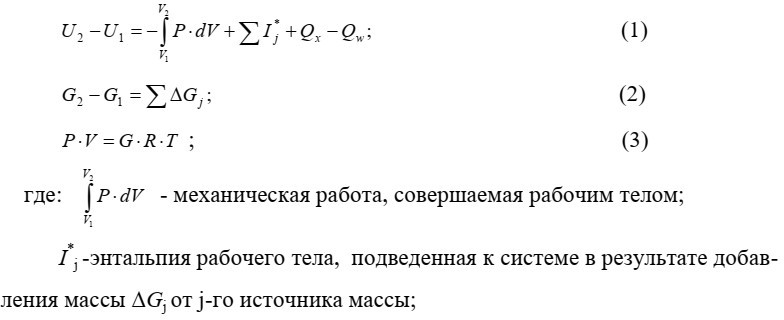
ДИЗЕЛЬ-РК принадлежит к классу термодинамических программ, т.е. цилиндры двигателя рассматриваются в ней как открытые термодинамические системы. В свою очередь параметры газа в этой системе определяются из системы уравнений сохранения массы, энергии, уравнений состояния и концентрации. За основу выбирается так называемый «среднестатистический» цилиндр, все остальные рабочие цилиндры предполагаются одинаковыми, то есть для них характерны те параметры, что были рассчитаны для «среднестатистического» цилиндра. Такие показатели, как общая мощность, расход топлива и так далее зависят от количества цилиндров двигателя. В цилиндре учитываются зависимость свойств рабочего тела от состава и температуры, теплообмен рассчитывается раздельно по разным поверхностям, коэффициент теплоотдачи рассчитывается по формуле Вошни. Основными методами расчета рабочего процесса ДВС являются методы, основанные на представлении цилиндра и коллекторов двигателя в качестве незамкнутых термодинамических систем, обменивающихся энергией и массой, параметры газа в них описываются дифференциальными уравнениями сохранения энергии, массы, а также уравнением состояния. Решение их возможно методом Эйлера или методом Рунге-Кутта (4 порядка). Оба метода требуют

значительных затрат по времени. В программном комплексе **«Diesel-RK»,** для

сокращения расчетного времени, реализован метод повышенного быстродействия, который основан на пошаговом определении параметров газа для открытой термодинамической системы путем решения систем нелинейных алгебраических уравнений, полученных преобразованием интегральных уравнений баланса массы и энергии, а также уравнения состояния, записанных для произвольного процесса. при записи данных уравнений, необходимы допущения, без которых решение системы представленных задач будет сложным, среди этих допущений следует озвучить следующие:

* + - * + допущение об однородности термодинамической системы;
        + допущение о справедливости уравнения состояния Менделеева- Клапейрона;
        + допущение о зависимости свойств рабочего тела от температуры и состава;

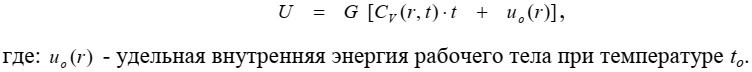
Таким образом исходная система уравнений будет иметь следующий вид:

v

Индексы 1 и 2 относятся соответственно к началу и концу рассматриваемого термодинамического процесса.

Способ расчета величины внутренней энергии, входящей в уравнение энергетического баланса, зависит от располагаемых данных о физических свойствах рабочего тела. В настоящее время получили широкое распространение таблицы средних массовых изохорных теплоемкостей газов в функции от температуры Сv =f(t) в интервале температур от 0 °С до необходимой

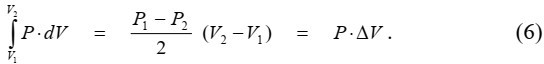
температуры. Рабочее тело удобно рассматривать как смесь двух газов.

Концентрация продуктов сгорания в этой смеси обозначается r. Для дизельного двигателя два газа представляют собой: чистый воздух при r = 0, а также продукты полного сгорания при r = 1 и α =1. Для двигателя с ВЭИ эти газы представляют собой: свежий заряд, состоящий из воздуха и паров бензина, в пропорции, определяемой коэффициентом избытка воздуха α при r = 0, а также продукты сгорания при r = 1. Тогда, выражение для внутренней энергии рабочего тела, имеющего массу G, температуру t и концентрацию продуктов сгорания r, будет иметь вид:

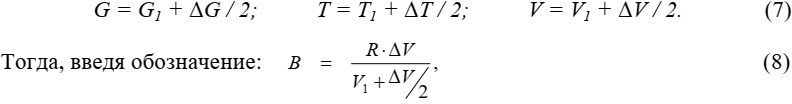
Средняя теплоемкость газов *CV* (*t*) задается в табличном виде, а теплоемкость смеси определяется из соотношения аддитивности:

В этом случае *Cv(r,t),* являющаяся функцией двух переменных *r* и *t*, удовле- творяет теореме Лагранжа, и для малого изменения переменных *r* и *t*:

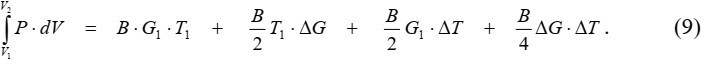
Величину механической работы в рассматриваемом процессе можно определить, введя допущение, справедливое для малого изменения параметров термодинамического процесса:



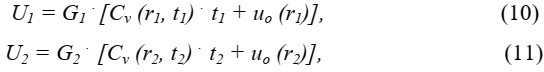
Среднее давление Р может быть определено из уравнения состояния (3) куда подставляются параметры, соответствующие середине рассматриваемого интервала:



можно получить уравнение для механической работы, подставив выражения (3) и (7) в (6):



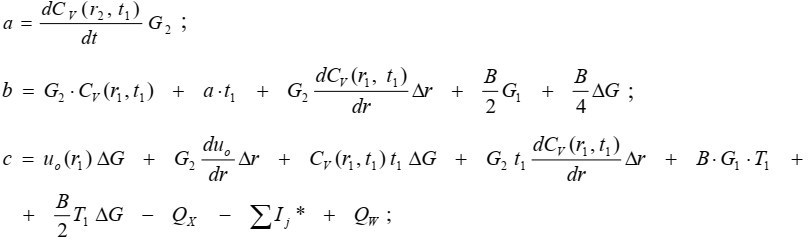
Записав выражения для внутренней энергии в начале и конце рассматриваемого термодинамического процесса:



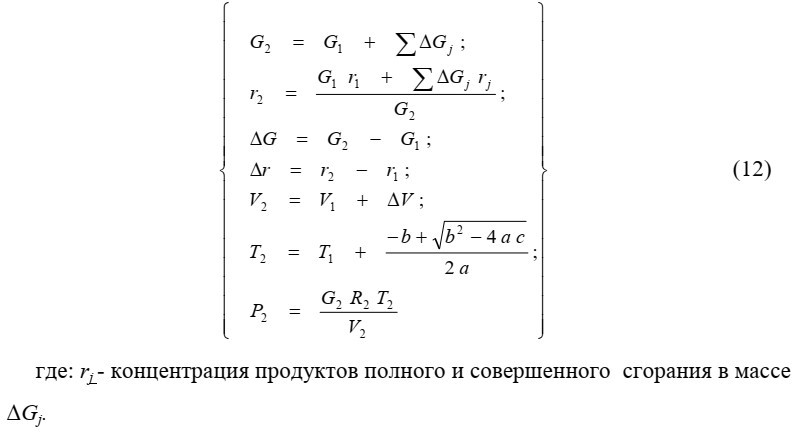
а также выражения для приращения параметров термодинамической системы:



и, подставив их и соотношения (4), (5), (9) - (11) в (1), после преобразований с учетом обозначений:



Таким образом получается разрешающая система нелинейных алгебраических уравнений:



Необходимо отметить, что использование разностной формы записи законов сохранения вместо дифференциальной позволяет при большом расчетном шаге получать значительно более высокую точность результатов, ибо точность решения системы дифференциальных уравнений, в отличие от интегральных, существенно снижается при увеличении шага. Сравнение быстродействия различных расчетных методов показало, что метод разностных уравнений превосходит наибыстрейший из традиционных методов более чем в 5 раз при одинаковой точности.

**Показатели рабочего процесса двигателя 4D56 по ВСХ**

В первую очередь необходимо получить адекватную модель двигателя, соответствующую техническому заданию, а также параметрам двигателя автомобиля 4D56. Ниже представлен ВСХ двигателя 4D56



Рисунок 1 – ВСХ двигателя 4D56

Чтобы получить схожую внешнюю скоростную характеристику, я выбрал следующие параметры коэффициента избытка воздуха α и степени повышения давления

4000 об/мин: ,

3000 об/мин: ,

2000 об/мин: ,

1000 об/мин: ,

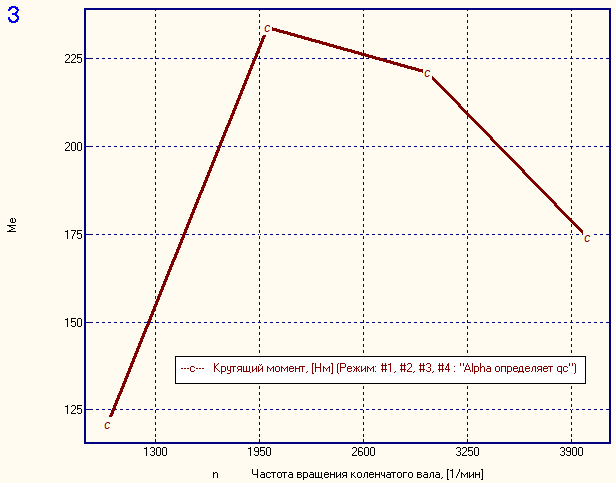


Рисунок 2 – график зависимости крутящего момента от частоты вращения коленвала, полученный с помощью Diesel-RK

Ниже для сравнения график, на котором сопоставлены крутящие моменты реального двигателя с крутящим моментом, полученным из программы Diesel-RK.  
Погрешность вычислений не превосходит 1%.

Рисунок 3 – график зависимости крутящего момента от частоты вращения коленвала

**Основные направления модернизации двигателя**

Здесь коротко, но конкретно перечисляем два направления модернизации: переход от двухклапанной головы к четырехклапанной. Конкретно. Были такие-то размеры клапанов, стали такие-то. Были такие мю-эф, стали такие переход к полуразделенной камере сгорания. Тоже конкретно. Была вихрекамера (которую дизельрк считать не может) стала такая-то камера в поршне. Лучше какую-нибудь омега-образную, но это потом обсудим