

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)
Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование кафедры)
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Двигатели внутреннего сгорания
(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Модернизация механизма газораспределения для
четырехтактного двигателя с улучшенными параметрами экономичности

Студент

В.Ю. Жирнов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.М. Дзюбан

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

С.А. Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., Д.А. Павлов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Повышение экономичности рабочего процесса бензинового двигателя считается актуальной и важной задачей. Таким образом в данной бакалаврской работе представлен способ повышения экономичности рабочего процесса бензинового двигателя с помощью применения технологии отключения цилиндров в двигателе внутреннего сгорания.

В бакалаврской работе показана модернизация бензинового двигателя ВАЗ-11186. Бакалаврская работа включает в себя пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка в свою очередь состоит из данных разделов:

- Разъяснение эффективности применения системы отключения цилиндров у легковых автомобилей бензиновых двигателей.
- Тепловой расчет двигателя, где рассчитаны основные параметры двигателя, который проектируется.
- Кинематический расчет демонстрирует преобразование кинематических параметров поршневой группы.
- Динамический расчет, в котором формируются нагрузки и силы, которые действуют в кривошипно-шатунном механизме, и среда для уравнивания двигателя.
- В разделе специальной части представлено воздействие качества топливо-воздушной смеси, которая поступает в цилиндры двигателя внутреннего сгорания, на составляющие отработавших газов автомобильных двигателей.

Графическая часть работы содержит 6 листов формата А1: чертежи принципа отключения двигателя внутреннего сгорания и материалы, иллюстрирующие эффективность модернизации.

ABSTRACT

Improving the efficiency of the working process of the gasoline engine is considered an urgent and important task. Thus, in this bachelor's work, a method for increasing the efficiency of the working process of a gasoline engine by using the technology of switching off the cylinders in the internal combustion engine is presented. In the bachelor's work modernization of the gasoline engine VAZ-11186 is shown. Bachelor's work includes an explanatory note and a graphic part. Explanatory note in turn consists of these sections:

- Clarification of the effectiveness of the application of a system for disconnecting cylinders in passenger cars of gasoline engines.
- Thermal calculation of the engine, where the main engine parameters are calculated, which is designed.
- The kinematic calculation demonstrates the transformation of the kinematic parameters of the piston group.
- Dynamic calculation, in which the loads and forces that act in the crank mechanism are formed, and the medium for equalizing the engine.
- The section of the special part shows the impact of the quality of the fuel-air mixture that enters the cylinders of the internal combustion engine on the components of the exhaust gases of automobile engines.

The graphic part of the work contains 6 sheets of A1 format: drawings of the principle of shutting down the internal combustion engine and materials illustrating the efficiency of modernization.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. Перспективы использования системы отключения цилиндров в бензиновом ДВС.....	8
2. Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы.....	9
3. Тепловой расчет.....	15
3.1 Параметры рабочего тела	15
3.2 Параметры окружающей среды и значения остаточных газов	17
3.3 Расчет процесса впуска.....	18
3.4 Процесс сжатия.....	19
3.5 Процесс сгорания	21
3.6 Процессы расширения и выпуска.....	23
3.7 Индикаторные параметры рабочего тела	23
3.8 Эффективные показатели двигателя	24
3.9 Основные параметры и показатели двигателя	25
4. Кинематический расчет двигателя.....	27
4.1 Перемещение поршня	27
4.2 Угловая скорость вращения коленчатого вала	28
4.3 Скорость поршня.....	29
4.4 Ускорение поршня	30
5. Теоретическая часть.....	31
5.1 Процесс отключения цилиндров.....	31
5.2 Процесс включения цилиндров	35
5.3 Практическая выгода использования системы отключения цилиндров ...	39
6. Безопасность и экологичность проекта.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	43
ПРИЛОЖЕНИЕ А	46

ПРИЛОЖЕНИЕ В	60
--------------------	----

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире одним из самых важных вопросов в поиске альтернатив развития для бензинового двигателя является поиск путей сокращения потребления топлива, уменьшение вредных выбросов в атмосферу. Одними из развивающихся технологий являются системы отключения цилиндров, которые способны отключать несколько цилиндров во время работы ДВС для экономии топлива и сокращения вредных выбросов в атмосферу.

Актуальность данной бакалаврской работы заключается в том, что сегодня четырех цилиндровый двигатель может экономить топливо с помощью отключения цилиндров. На данный момент такой способ повышения экономичности ДВС является одним из самых эффективных. Тем самым мы получаем экономию топлива. Для начала дадим определение понятию «Отключения цилиндров» [18] – это система, при помощи которой выключается передача топлива в один или несколько цилиндров двигателя. Также для исправной службы «нерабочих» цилиндров, клапана ГРМ (газораспределительного механизма) в них раскрываются, и не мешают прохождению воздуха. В свою очередь существуют конструкции, где они постоянно закрыты. Данная система позволяет сэкономить топливо, как утверждает ряд производителей – она может стать значительной.

При выключении ряда цилиндров на режимах частичных нагрузок остальные цилиндры переходят на работу при большей нагрузке. Из многочисленных способов отключения цилиндров можно выделить несколько основных:

-отключение топливopодачи, с одновременным сообщением неработающих цилиндров с атмосферой или с выпускным трубопроводом (при соединении с выпускным коллектором поддерживается температурный режим отключенных цилиндров);

-отключение топливоподачи с сохранением переменной степени дросселирования неработающих цилиндров;

-отключение впрыскивания топлива по заданной в электронном блоке программе (через один или несколько циклов) с целью поддержания температурного режима отключенных цилиндров. Эффект от применения данной системы меньше, чем от приведенных выше способов, т.к. после отключения каждого цикла приходится подавать несколько обогащенную смесь;

-отключение путем удержания впускных и выпускных клапанов в закрытом состоянии и прекращения газообмена в неработающих цилиндрах, с периодическим приоткрытием для предотвращения их от залипания. Это более эффективный способ экономии топлива, но его использование связано с существенным изменением конструкции двигателя.

В данной работе мы остановимся на рассмотрении последнего метода отключения цилиндров.

Основной целью бакалаврской работы является снижение расхода топлива в ДВС.

Задачи для выполнения основной цели:

1. Изучение литературы по выбранной теме, ознакомление с современными технологиями и рассмотрение основных технических направлений деятельности в с сфере двигателестроения.
2. Исследование технической документации по выбранной теме бакалаврской работы (Модернизация механизма газораспределения для четырехтактного двигателя с улучшенными параметрами экономичности) и получение более углубленной и детальной информации по данной теме.
3. Модернизация ДВС путем внедрения системы отключения цилиндров.
4. Систематизация полученных данных, составление таблиц, графиков и чертежей.

В роли объекта исследования выступает двигатель внутреннего сгорания (ДВС), предметом выступает газораспределительная система.

1 Перспективы использования системы отключения цилиндров в бензиновом ДВС

В борьбе за экономичность двигателей автопроизводителям приходится внедрять в них всевозможные системы, которые позволят понизить расход топлива. Одним из главных способов для достижения данного условия является отключение цилиндров в случае, если водителю не нужна максимальная мощность.

Наименьшая затрата бензина достигается только в маленьком спектре оборотов коленчатого вала. Обороты у бензиновых двигателей должны варьироваться в интервале: 2000 – 3000 об./мин. Далее для более мощной «раскрутки» коленчатого вала необходимо все больше топлива, следовательно получается снижение КПД мотора.

Также важной задачей, которую ставят перед собой разработчики этой модели, является уменьшенный расход топлива и снижение выброса выхлопных газов в окружающую среду. Улучшение системы отключения цилиндров позволяет модернизировать эти параметры и сделать их более эффективными и востребованными для большего перечня разных задач, которые они перед собой ставят.

Отключение двух цилиндров позволяет оставшимся работать более эффективно. Если в четырехцилиндровом моторе отключить два цилиндра, а весь воздух, который проходит через дроссельную заслонку, направить к оставшимся двум, их нагрузка возрастет в два раза, а также повысится КПД.

Так как охлаждать нужно также не четыре, а только два цилиндра, более продуктивной получается и работа системы охлаждения.

Кроме этого, не несут насосных потерь и выключенные цилиндры, следовательно, не подают воздух в выпускной коллектор, а при движении накатом создают уменьшенное сопротивление.

2 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы

DaimlerChrysler (Mercedes V12/V8)

In the first part of this series we looked at the principle of cylinder deactivation and its first mass production application in the 1981 Cadillac. The old Cadillac system was successful in reducing fuel consumption but its driveability and reliability problems gave cylinder deactivation a poor reputation for many years.

In the second part of this series we'll look at the latest wave of cylinder deactivation systems that have emerged from European, American and Japanese car companies.

Daimler Chrysler was the first company following Cadillac to apply cylinder deactivation to mass produced cars. The first Mercedes models to appear with cylinder deactivation were the European-spec 1999 CL600, S600 and CL500. These vehicles were powered by either a DOHC 6.0 litre V12 or DOHC 5.0 litre V8.

The Mercedes cylinder deactivation system, known as Active Cylinder Control (ACC), is quite unlike the system used in the 1981 Cadillac.

The Mercedes approach involves deactivating half of the engine's cylinders - which means the V12 becomes a 6 cylinder and the V8 becomes a four. The Mercedes follows the common principle of keeping the intake and exhaust valves closed and preventing a fresh air-fuel charge entering the combustion chamber.

The valves of each cylinder are kept closed using a pair of arms that replace the conventional engine's roller-type rocker arm. One of these arms follows the cam profile while the second arm connects to the valves. During normal engine operation the two arms are joined by a locking pin. When cylinder deactivation is required, solenoid-controlled oil pressure is used to move the locking pin. This disengages the two arms and the valves remain in their closed position (due to valve spring tension).

But the biggest advancement in cylinder deactivation is the use of sophisticated electronic control.

The Mercedes uses a sequential fuel delivery system that cuts fuel to the cylinders that are deactivated. This prevents the driveability problems that were encountered in the throttle-body injected Cadillac. In addition, the use of electronic throttle control, valve timing, ignition timing and a variable intake manifold help give a seamless transition.

Interestingly, Mercedes teamed with Eberspaecher to install an ECU-controlled valve in the exhaust system downstream of the cat converters. This valve is closed during 4 cylinder operation to preserve engine sound.

Mercedes says the system improves fuel economy by around 7 percent in city driving and up to 20 percent at a steady cruise. Power output for the 1999 5.0 litre V8 CL500 is 225kW while the 6.0 litre V12 CL600 and S600 makes a stomping 290kW.

DaimlerChrysler (Mercedes V12/V8)

В первой части этой статьи мы рассмотрели принцип отключения цилиндра и его первое массовое производство в 1981 Cadillac. Старая система Cadillac добилась успеха в снижении расхода топлива, но ее управляемость и надежность привели к тому, что у системы отключение цилиндров была плохая репутацией на протяжении многих лет.

Во второй части этой статьи мы рассмотрим последние системы отключения цилиндров, которые появились в европейских, американских и японских автомобильных компаниях.

Daimler Chrysler стала первой компанией, которая после Cadillac применила систему отключения цилиндров в серийном автомобиле. Первыми моделями Mercedes, появляющимися с отключением цилиндров, были европейские модели 1999 CL600, S600 и CL500. Эти автомобили были оснащены либо DOHC 6.0 литровым V12, либо DOHC 5.0 литровым V8.

Система отключения цилиндров Mercedes, известная как Active Cylinder Control (ACC), совсем не похожа на систему, используемую в Cadillac 1981 года.

Подход Mercedes включает в себя отключение половины цилиндров двигателя, что означает, что V12 становится 6-цилиндровым, а V8 становится четырехцилиндровым. «Mercedes» придерживается общего принципа сохранения закрытых впускных и выпускных клапанов и предотвращения поступления свежего воздуха в топливную камеру.

Клапаны каждого цилиндра закрыты, используя пару рычагов, которые заменяют качающийся рычаг обычного роликового типа. Одно из этих рычагов следует за профилем кулачка, а второй рычаг соединяется с клапанами. Во время нормальной работы двигателя два рычага соединены стопорным штифтом. Когда требуется отключение цилиндров, электромагнитный контроллер давления масла используется для перемещения стопорного штифта. Это освобождает два рычага, и клапаны остаются в закрытом положении (из-за натяжения пружины клапана).

Но самым большим достижением в отключении цилиндров является использование сложного электронного управления.

Мерседес использует последовательную систему подачи топлива, которая сокращает количество топлива до отключенных цилиндров. Это предотвращает проблемы с управляемостью, которые были обнаружены в дроссельной заслонке, закачиваемой Cadillac. Кроме того, использование электронного регулирования дроссельной заслонки, фаз газораспределения, времени зажигания и переменного впускного коллектора помогает обеспечить плавный переход.

Интересно, что Mercedes объединился с Eberspaecher для установки клапана с управляемым ECU в выхлопной системе ниже по потоку от преобразователей. Этот клапан закрыт во время 4-цилиндрового режима, чтобы сохранить звук двигателя.

Мерседес говорит, что система улучшает экономию топлива примерно на 7 процентов в городском движении и до 20 процентов в устойчивом круизе. Выходная мощность для 1999 5.0-литрового V8 CL500 составляет 225 кВт, а 6,0-литровый V12 CL600 и S600 - топящий 290 кВт.

Cylinder deactivation (ZAS) in 1.4 TSI: Volkswagen presents latest efficiency technology.

In early 2012, it should be done: Volkswagen's latest efficiency technology, the cylinder deactivation (ZAS), their debut is the new 1.4 TSI engine. This means that Volkswagen wants to make a big step in terms of fuel savings of its models.

As the first manufacturer in the world, Volkswagen is a cylinder cut-off at a mass-produced four-cylinder TSI engine. With the system, especially the consumption is to be significantly reduced by two of the four cylinders are temporarily ceases at low and medium load. In fact, the cylinder deactivation reduces the NEDC driving cycle fuel consumption of the 1.4 TSI According to VW by 0.4 liters per 100 km. integrating also the start-stop function which turns off the engine at idle, the savings effect adds up to about 0.6 liters per 100 km.

The greatest effects achieved the technology at a constant ride at a moderate pace: At 50 km / h the third or fourth gear results in a saving of almost one liter per 100 km. Therefore, with this new fuel efficient TSI and the future EU6 emissions standard will be met. High efficiency includes driving comfort not: even with only two cylinders running the excellent balanced 1.4 TSI still little noise and vibrations.

Cylinder deactivation is always active when the speed of the 1.4 TSI from 1400 to 4000 1 / min and torque of between 25 and 75 Nm. In the EU-consumption cycle this is, after all, nearly 70 percent of the routes the case. As soon as the driver steps firmly gas, the cylinders 2 and 3 switch unnoticed again. Volkswagen uses the information from the accelerator pedal sensor to detect how the driver is on the way. Results from them an uneven pattern - such as a ride on the roundabout or in sporty stance on the road - remains under the shutdown.

Отключение цилиндра (ZAS) в 1.4 TSI: Volkswagen представляет новейшую технологию эффективности

В начале 2012 года это должно быть сделано: новейшая технология Volkswagen, отключение цилиндра (ZAS), их дебют - новый двигатель 1.4 TSI. Это значит, что Volkswagen хочет сделать большой шаг в плане экономии топлива на своих моделях.

Как первый производитель в мире, Volkswagen является отсечкой цилиндра на серийном четырехцилиндровом двигателе TSI. С системой, особенно потребление должно быть значительно уменьшено двумя из четырех цилиндров, временно прекращается при низкой и средней нагрузке. Фактически, отключение цилиндров уменьшает расход топлива NEDC для топлива в 1,4 TSI. Согласно VW на 0,4 литра на 100 км. интегрируя также функцию старт-стоп, которая отключает двигатель на холостом ходу, эффект экономии составляет около 0,6 литра на 100 км.

Наибольшие эффекты достигали технологии при постоянной скорости в умеренных темпах: при скорости 50 км / ч на третьей или четвертой передаче получается экономия почти на 1 литр на 100 км. Поэтому с этим новым топливным эффективным TSI и будущим стандартом выбросов EU6 будет соблюдаться. Высокая эффективность включает в себя комфорт вождения: даже с двумя цилиндрами, которые хорошо сбалансированы 1,4 TSI, все еще мало шума и вибраций.

При отключении цилиндра всегда активна скорость 1,4 TSI от 1400 до 4000 1 / мин и крутящий момент от 25 до 75 Нм. В цикле потребления ЕС это, в конце концов, почти 70 процентов маршрутов. Как только водитель нажимает на педаль газа, цилиндры 2 и 3 снова остаются задействованными. Volkswagen использует информацию от датчика педали газа, чтобы определить, стиль вождения. В результате имеем неоднозначную картину: например, поездка на кольцевой развязке или спортивной езде на дороге - остается под запретом.

3 Тепловой расчёт

3.1 Параметры рабочего тела

Тепловой расчет ДВС – это один из начальных этапов проектировки двигателя.

Расчет производится для четырехтактного двигателя по методике Колчина и Демидова. Данный метод, основан на общепринятых понятиях термодинамики и химотологии, в своей последовательности весьма всецело охватывает физическую сущность явлений, происходящих в внутри цилиндра ДВС, и дает достаточно дочное представление о рабочих процессах в силовом агрегате.

Исходные данные для теплового расчета:

- $V_L = 1,6$ л;
- $n_N = 5100$ мин-1;
- $i = 4$ □ число цилиндров;
- $\tau = 4$ □ число тактов;
- $\varepsilon = 10$ □ степень сжатия.

Скоростные режимы работы:

- $n_1 = 900$ мин-1;
- $n_2 = 2000$ мин-1;
- $n_3 = 3000$ мин-1;
- $n_4 = 5100$ мин-1

Для двигателей с искровым зажиганием назначают бензин, средний элементарный состав в массовых долях и молекулярная масса составляют:

$$C = 0,855;$$

$$H = 0,145$$

$$m_T = 115 \text{ кг/кмоль.}$$

Низшая теплота сгорания (H_u) жидкого топлива (в дж/кг) определяется по формуле Менделеева:

$$H_u = 33,91C + 125,6H - 10,89(O - S) - 2,51 \cdot (9H + W); \text{ кДж/кг}, \quad (3.1)$$

где: С □ массовое содержание в топливе углерода

Н □ массовое содержание в топливе водорода

О □ массовое содержание в топливе кислорода

S □ массовое содержание серы

W □ количество влаги, содержащейся в 1 кг топлива

$$H_u = 33,91 \cdot 0,855 + 125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43930 \text{ кДж/кг}.$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания топлива:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \frac{\text{кмоль} \cdot \text{воздуха}}{\text{кг} \cdot \text{топлива}} \quad (3.2)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) = 14,957 \text{ кмоль возд./кг топл.}; \quad (3.3)$$

Параметр $\alpha = 1$ принимается единице для всех режимов работы двигателя.

Расчеты проводятся по предложенным формулам по методике Колчина и Демидова и результаты сводятся в таблицы.

Количество горючей смеси:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_T} \quad (3.4)$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при $K = 0,5$:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 \quad (3.5)$$

$$M_{CO} = 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 \quad (3.6)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 \quad (3.7)$$

$$M_{H_2} = 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 \quad (3.8)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 \quad (3.9)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} \quad (3.10)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси:

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (3.11)$$

Результаты расчета параметров рабочего тела приведены в таблице 1, так как состав смеси одинаковый, то параметры рабочего тела(бензина) на всех режимах одинаковые, поэтому приведены одинаковые параметры.

Таблица 1 – Параметры рабочего тела

п, мин ⁻¹	M _{H2O} , кмоль H ₂ O/кг топл.	M _{CO2} , кмоль CO ₂ /кг топл.	M _{CO} , кмоль CO/кг топл.	M ₁ , кмоль гор.см./кг топл.	M _{H2} , кмоль H ₂ /кг топл.	M ₂ , кмоль пр.сг./кг топл.	M _{N2} , кмоль N ₂ /кг топл.	μ ₀	α
900	0,0725	0,0713	0	0,525	0	0,5524	0,4086	1,0522	1
2000	0,0725	0,0713	0	0,525	0	0,5524	0,4086	1,0522	1
3000	0,0725	0,0713	0	0,525	0	0,5524	0,4086	1,0522	1
5100	0,0725	0,0713	0	0,525	0	0,5524	0,4086	1,0522	1

3.2 Параметры окружающей среды и значения остаточных газов

Атмосферные условия:

- p₀ = 0,1 МПа

- T₀ = 293 К.

Давление остаточных газов:

$$P_r = P_0 \cdot (1,035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2) \quad (3.12)$$

где $p_{rN} = 1,18 \cdot p_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118$ МПа; $A_p = (p_{rN} - p_0 \cdot 1,035) 10^8 / (n_N^2 p_0)$.

Таблица 2 – Параметры окружающей среды и остаточных газов

n, мин ⁻¹	ρ _к , кг/м ³	р _к , Мпа	Т _к , К	р _г , Мпа	Т _г , К
900	1,189	0,1	293	0,1038	900
2000	1,189	0,1	293	0,105	950
3000	1,189	0,1	293	0,107	970
5100	1,189	0,1	293	0,113	1020

3.3 Расчет процесса впуска

Принимается $\Delta T_N = 10^\circ\text{C}$, тогда, $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$, следовательно ΔT :

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n). \quad (3.13)$$

Плотность заряда на впуске: $\rho_0 = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k)$; кг/м³.

Потери давления на впуске при $A_n = \frac{95}{n}$;

$$\Delta p_a = \frac{2,5 \cdot A_n^2 \cdot n^2 \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6}}{2} \quad (3.14)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a \quad (3.15)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} \quad (3.16)$$

Температура в конце впуска:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} \quad (3.17)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} \cdot (\phi_{\text{доз}} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r) \quad (3.18)$$

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Расчет процесса впуска

п, мин ⁻¹ 1	ΔТ, °С	ΔР _а , Мпа	Р _а , Мпа	Т _а , К	γ _г	η _в
900	21,33	0,00042	0,09958	352	0,0412	0,872
2000	18,44	0,0021	0,0979	347	0,0372	0,939
3000	15,73	0,0046	0,0954	346	0,0384	0,918
5100	10	0,0134	0,0866	347	0,0425	0,832

3.4 Процесс сжатия

Давление в конце сжатия:

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1} \quad (3.19)$$

Температура в конце сжатия:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} \quad (3.20)$$

Средняя молярная теплоемкость в конце сжатия:

а) свежей смеси (воздуха):

$$(mc_v)_{t_0}^{t_c} = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot t_c, \quad (3.21)$$

где $t_c = T_c - 273^\circ\text{C}$

б) остаточных газов $(mc''_V)_{t_0}^{t_c}$ применяется метод интерполяции по таблице

4.

Таблица 4 – Средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания

Темпе- ратура, °C	Средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(кмоль · град), бензина при α											
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
0	21,683	21,786	21,880	21,966	22,046	22,119	22,187	22,123	22,065	22,011	21,962	21,916
100	21,902	22,031	22,149	22,257	22,356	22,448	22,533	22,457	22,388	22,325	22,266	22,216
200	22,140	22,292	22,431	22,559	22,676	22,784	22,885	22,796	22,722	22,650	22,584	22,523
300	22,445	22,618	22,776	22,921	23,055	23,173	23,293	23,200	23,115	23,036	22,964	22,898
400	22,777	22,968	23,143	23,303	23,450	23,586	23,712	23,613	23,521	23,437	23,360	23,289
500	23,138	23,345	23,534	23,707	23,867	24,014	24,150	24,045	23,948	23,859	23,777	23,702
600	23,507	23,727	23,929	24,113	24,284	24,440	24,586	24,475	24,373	24,280	24,193	24,114
700	23,882	24,115	24,328	24,523	24,702	24,868	25,021	24,905	24,798	24,700	24,610	24,527
800	24,249	24,493	24,715	24,919	25,107	25,280	25,441	25,319	25,208	25,106	25,012	24,925

в) рабочей смеси:

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} \cdot [(mc_V)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r \cdot (mc''_V)_{t_0}^{t_c}] \quad (3.22)$$

Таблица 5 – Расчет процесс сжатия

$n, \text{ мин}^{-1}$	n_1	$P_C, \text{ МПа}$	$T_C, \text{ К}$	$t_C, \text{ К}$	$(mc_V)_{t_0}^{t_c}$	$(mc''_V)_{t_0}^{t_c}$	$(mc'_V)_{t_0}^{t_c}$
900	1,360	2,281	805	532	28,91	24,29	28,73
2000	1,360	2,243	795	522	21,98	24,25	22,06
3000	1,360	2,185	792	519	21,97	24,23	22,05
5100	1,360	1,984	795	522	28,38	24,24	28,21

3.5 Процесс сгорания

Коэффициент молекулярного изменения горючей смеси:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} \quad (3.23)$$

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (3.24)$$

Количество теплоты, утраченное из-за химической неполноты сгорания:

$$\Delta H_u = 119950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0 \quad (3.25)$$

Теплота сгорания рабочей смеси:

$$H_{\text{раб.см.}} = \frac{H_u - \Delta H_u}{M_1 \cdot (1 + \gamma_r)} \quad (3.26)$$

где H_u принять равным 43930 кДж/кг.

Средняя молярная теплоемкость продуктов сгорания:

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \cdot \left[M_{CO_2} \cdot (mc_{VCO_2}'')_{t_0}^{t_z} + M_{CO} \cdot (mc_{VCO}'')_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} \cdot (mc_{VH_2O}'')_{t_0}^{t_z} + \right. \\ \left. + M_{H_2} \cdot (mc_{VH_2}'')_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} \cdot (mc_{VN_2}'')_{t_0}^{t_z} \right], \quad (3.27)$$

определяется по эмпирическим формулам, приведенным в таблице 6.

Таблица 6 – Формулы для определения средних молярных теплоемкостей отдельных газов при постоянном объеме

Наименование газа	Формулы для определения средних молярных теплоемкостей отдельных газов при постоянном объеме, кДж/(кмоль · град), для температур, °С	
	от 0 до 1500	от 1501 до 2800
Воздух	$mc_V = 20,600 + 0,002638t$	$mc_V = 22,387 + 0,001449t$
Кислород O ₂	$mc_{VO_2} = 20,930 + 0,004641t - 0,00000084t^2$	$mc_{VO_2} = 23,723 + 0,001550t$
Азот N ₂	$mc_{VN_2} = 20,398 + 0,0025t$	$mc_{VN_2} = 21,951 + 0,001457t$
Водород H ₂	$mc_{VH_2} = 20,684 + 0,000206t + 0,000000588t^2$	$mc_{VH_2} = 19,678 + 0,001758t$
Оксид углерода CO	$mc_{VCO} = 20,597 + 0,002670t$	$mc_{VCO} = 22,490 + 0,001430t$
Углекислый газ CO ₂	$mc_{VCO_2} = 27,941 + 0,019t - 0,000005487t^2$	$mc_{VCO_2} = 39,123 + 0,003349t$
Водяной пар H ₂ O	$mc_{VH_2O} = 24,953 + 0,05359t$	$mc_{VH_2O} = 26,670 + 0,004438t$

Коэффициент использования теплоты ξ_z .

При проведении расчетов двигателя ξ_z выбирается по опытным данным в зависимости от конструктивных особенностей двигателя.

Температура в конце видимого процесса сгорания:

$$\xi_z \cdot H_{п.аб.см.} + (mc'_V)_{t_0}^c \cdot t_c = \mu \cdot (mc''_V)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z \quad (3.28)$$

Максимальное давление сгорания теоретическое:

$$P_z = \frac{P_c \cdot \mu \cdot T_z}{T_c} \quad (3.29)$$

Максимальное давление сгорания действительное:

$$P_{z_d} = 0,85 \cdot P_z \quad (3.30)$$

Степень повышения давления:

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} \quad (3.31)$$

Таблица 7 – Результаты расчета процесса сгорания

п, мин ⁻¹	μ	ΔH_u	$H_{п.аб.см.}$	$(mc''_V)_{t_0}^{t_z}$	ξ_z	T_z	P_z	P_{z_d}	λ
1									
900	1,049	0	80343	24,80 + 0,00209 t_z	0,875	2811	8,356	7,1026	3,91
2000	1,087	0	80675	24,80 + 0,00209 t_z	0,945	3004	9,21	7,828	4,11
3000	1,088	0	80581	24,80 + 0,00209 t_z	0,97	3055	9,17	7,795	4,19
5100	1,131	0	87232	24,80 + 0,00209 t_z	0,99	3352	9,46	8,041	4,10

3.6 Процессы расширения и выпуска

Средний показатель адиабаты расширения $k_2=1,251$

Средний показатель политропы расширения $n_2=1,342$

Давление и температура в конце процесса расширения:

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}, \quad (3.32)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} \quad (3.33)$$

Проверка ранее принятой температуры остаточных газов:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}} \quad (3.34)$$

где ΔT_r – погрешность расчета.

Таблица 8 – Результаты расчётов процесса расширения и выпуска

$n, \text{ мин}^{-1}$	k_2	n_2	P_b	T_b	T_r	ΔT_r
900	1,251	1,242	0,468	1610	974	8,22
2000	1,251	1,242	0,520	1720	1007	6
3000	1,251	1,242	0,523	1749	1030	6,2
5100	1,251	1,242	0,542	1920	1123	7,1

3.7 Индикаторные параметры рабочего тела

Теоретическое среднее индикаторное давление:

$$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] \quad (3.35)$$

Среднее индикаторное давление:

$$P_i = \varphi_u \cdot P'_i \quad (3.36)$$

Индикаторный КПД:

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot l_0 \cdot \alpha}{H_u \cdot P_0 \cdot \eta_v} \quad (3.37)$$

Индикаторный удельный расход топлива:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} \quad (3.38)$$

3.8 Эффективные показатели двигателя

Среднее давление механических потерь:

$$P_M = 0,024 + 0,0113 \cdot v_{n.c.p.} \quad (3.39)$$

Значение средней скорости поршня:

$$v_{n.c.p.} = \frac{S \cdot n}{10^4 \cdot 3} \quad (3.40)$$

Среднее эффективное давление:

$$P_e = P_i - P_M \quad (3.41)$$

Механическое КПД:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} \quad (3.42)$$

Эффективный КПД:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M \quad (3.43)$$

Эффективный удельный расход топлива:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} \quad (3.44)$$

Таблица 9 – Индикаторные и эффективные параметры двигателя

$n, \text{ мин}^{-1}$	P'_i	P_i	η_i	g_i	$\nu_{н.ср.}$	P_m	P_B	η_m	η_e	g_e
900	1,410	1,3818	0,477	171	2,268	0,0496	1,3322	0,964	0,459	178,5
2000	1,390	1,3622	0,423	194	5,04	0,081	1,2812	0,940	0,397	206,4
3000	1,264	1,238	0,396	206	7,56	0,109	1,129	0,911	0,3607	227,2
5100	1,251	1,225	0,3460	236	12,85	0,1692	1,0568	0,872	0,302	271,35

3.9 Основные параметры и показатели двигателя

Рабочий объем одного цилиндра:

$$V_h = \frac{V_L}{i} \quad (3.45)$$

Диаметр цилиндра:

$$D = 2 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{V_h}{\pi \cdot S}} \quad (3.46)$$

Площадь поршня:

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 100} \quad (3.47)$$

Литраж двигателя:

$$V_L = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S \cdot i}{4 \cdot 10^6} \quad (3.48)$$

Мощность двигателя (работают 4 цилиндра):

$$N_e = P_b \cdot i \cdot V_h \cdot n / 30 \cdot \tau \quad (3.49)$$

Мощность двигателя (работают 2 цилиндра):

$$N_e = N_{e(4)} \cdot \tau / 2 - N_m, \quad (3.50)$$

где $N_m = P_m \cdot V_h \cdot n \cdot i / 30 \cdot \tau$

Крутящий момент:

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} \quad (3.51)$$

Часовой расход топлива:

$$G_T = N_e \cdot g_e \cdot 10^{-3} \quad (3.52)$$

Таблица 10 – Основные параметры и показатели двигателя

$n, \text{мин}^{-1}$	V_h	V_l	$N_{e(4)}$	$N_{e(2)}$	M_e	G_T
900	0,4	1,5952	15,98	7,693	169	2,733
2000			34,17	16,01	163	6,617
3000			45,16	20,42	143,82	9,303
5100			71,86	30,18	134,62	16,958

4 Кинематический расчет двигателя

При проектировании двигателя внутреннего сгорания производится расчет на прочность основных частей ДВС. Но для этого необходимо учитывать силы, приходящие на детали двигателя. Определение, численный расчет сил и правил их изменения является непосредственной задачей динамики двигателя. Помимо этого в динамику входят:

- изучение условий равномерности вращения коленчатого вала;
- уравнивание силовых агрегатов.

Кинематика двигателя включает изучение особенностей движения кривошипно-шатунного механизма (КШМ), вычисление и графическое отображение пути, скорости и ускорения поршня.

4.1 Перемещение поршня

Рассчитаем перемещение поршня по формуле:

$$S_x = r \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta) \right] \quad (4.1)$$

Выражение (4.1) – точная формула перемещения поршня.

Расчет S_x будет производиться аналитически через каждые 10° угла поворота коленчатого вала.

4.2 Угловая скорость вращения коленчатого вала

Угловая скорость вращения коленчатого вала рассчитывается по формуле:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2000}{30} = 209 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (4.2)$$

4.3 Скорость поршня

Рассчитаем скорость поршня по формуле:

$$u_n = r\omega \left[\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \right] \quad (4.3)$$

4.4 Ускорение поршня

Рассчитаем ускорение поршня по формуле:

$$J_n = r\omega^2 \left[\frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} + \lambda \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right] \quad (4.4)$$

Рассчитанные значения перемещения, скорости и ускорения поршня занесены в таблицу 11

Таблица 11 – Значения перемещения, скорости и ускорения поршня

φ°	S_x , мм	V_p , м/с	J , м/с ²
0	0,0000	0,00	2063,94
10	0,718	1,71	2014,88

Продолжение таблицы 11

20	2,835	3,34	1871,41
30	6,248	4,81	1642,58
40	10,803	6,06	1343,75
50	16,303	7,04	994,89
60	22,489	7,72	619,29
70	29,106	8,07	242,36
80	35,897	8,12	-277,69
90	42,609	7,90	-426,28
100	49,012	7,43	-685,99
110	54,963	6,77	-887,08
120	60,284	5,96	-1031,87
130	64,894	5,06	-1127,63
140	68,725	4,09	-1185,75
150	71,723	3,08	-1216,95
160	73,875	2,06	-1231,31
170	75,169	1,04	-1237,09
180	75,634	0,00	-1238,25
190	75,169	-1,04	-1237,09
200	73,875	-2,06	-1231,31
210	71,723	-3,08	-1216,95

Продолжение таблицы 11

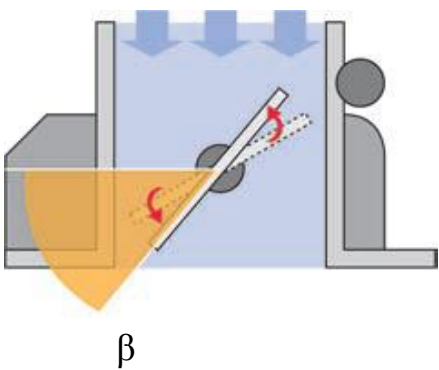
220	68,725	-4,09	-1185,75
230	64,894	-5,06	-1127,63
240	60,284	-5,96	-1031,87
250	54,963	-6,77	-887,08
260	49,012	-7,43	-685,99
270	42,609	-7,90	-426,28
280	35,897	-8,12	-277,69
290	29,106	-8,07	242,36
300	22,489	-7,72	619,29
310	16,303	-7,04	994,89
320	10,803	-6,06	1343,75
330	6,248	-4,81	1642,58
340	2,835	-3,34	1871,41
350	0,718	-1,71	2014,88
360	0,0000	0,00	2063,94

5 Теоретическая часть

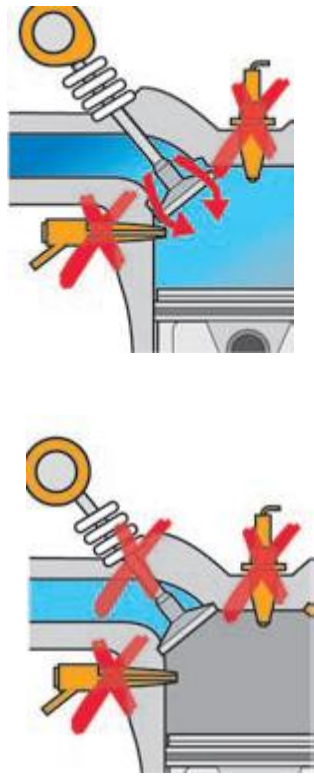
5.1 Процесс отключения цилиндров

Весь процесс отключения происходит в пределах одного поворота распредвала и длится всего несколько миллисекунд. Чтобы отключение как можно меньше ощущалось водителем и пассажирами, за это время необходимо выполнить ряд мер, обеспечивающих отсутствие скачкообразного изменения крутящего момента. Последовательность этих мер очень важна, поскольку значение λ должно постоянно удерживаться равным 1 и, например, изменение параметров системы впуска требует больше времени, чем системы зажигания.

Таблица 12 – Процесс отключения цилиндров

Фаза/ действие	Режим	Описание	Описание
Фаза 1 Поворот дроссельной заслонки	4 цилиндра	Чтобы цилиндры 1 и 4, после отключения цилиндров 2 и 3 получали достаточное количество воздуха, дроссельная заслонка открывается шире. В результате все четыре цилиндра вместе получают вдвое больше воздуха, чем необходимо в двухцилиндровом	

		режиме для поддержания текущего крутящего момента.	
Изменение опережения зажигания Цилиндры 1–4		Поскольку пока ещё включены все цилиндры, в ходе дальнейшего рабочего хода произойдёт существенное увеличение крутящего момента. Чтобы этого не допустить, с ростом количества поступающего воздуха момент зажигания сдвигается в сторону «позже», за счёт чего уменьшается эффективность сгорания. Крутящий момент остаётся на прежнем уровне.	

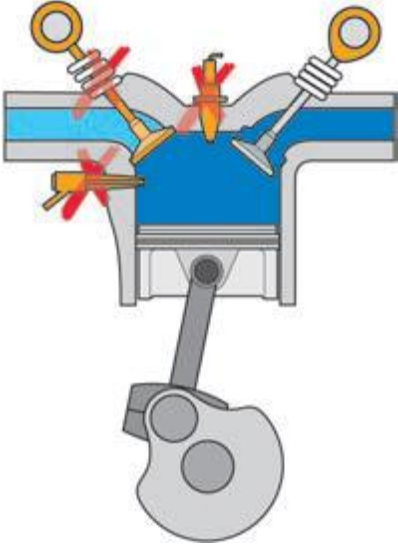
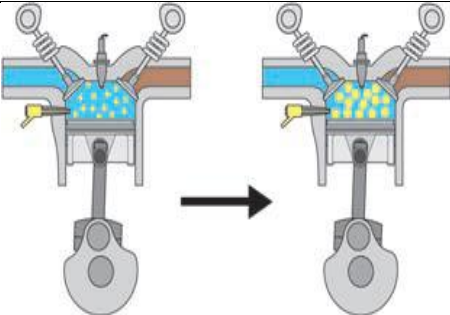
Фаза 3 Впрыск, зажигание Цилиндры 2 и 3	2 цилиндра	Отключаются впрыск топлива и зажигание.	
Фаза 4 Впускные клапаны Цилиндры 2 и 3	2 цилиндра	Ещё раз происходит впуск воздуха. Запертый в цилиндре воздух действует как пружина. Та же сила, что требуется для его сжатия, в следующем такте ускоряет движение поршня вниз. По завершении впуска воздуха блок управления задействует исполнительные механизмы впускных клапанов, подав на них короткий импульс массы. Блоки кулачков сдвигаются, и ролики рычагов клапанов теперь вращаются под	

		нулевыми кулачками. Впускные клапаны больше клапанным механизмом не задействуются.	
Фаза 5 Изменение опережения зажигания Цилиндры 1 и 4	2 цилиндра	Моменты зажигания цилиндров 1 и 4 смещаются в сторону «раньше» для обеспечения максимальной эффективности сгорания.	 VMT HMT

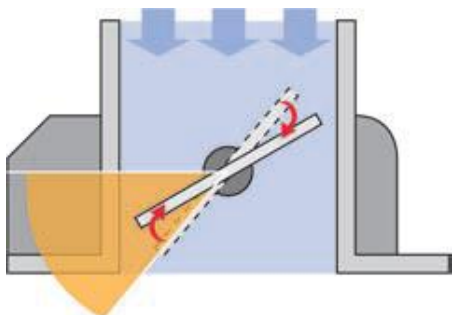
5.2 Процесс включения цилиндров

При включении отключённых цилиндров также важно не допустить скачков крутящего момента, которые будут восприниматься водителем и пассажирами как толчки. Поэтому и в этом случае для предотвращения скачкообразного изменения крутящего момента принимаются самые разные меры как в механической части, так и со стороны системы управления двигателя.

Таблица 13 – Процесс включения цилиндров

Фаза/ Действие	Режим	Описание	Иллюстрация
Фаза 1 Выпускные клапаны Цилиндры 2 и 3	2 цилиндра	Блок управления двигателя задействует исполнительные механизмы впускных клапанов, подавая на них короткий сигнал массы. Блоки кулачков перемещаются в другое положение, и ролики рычагов теперь снова вращаются под рабочими кулачками. Выпускные клапаны задействуются, и из цилиндров выпускается ранее запертый в них воздух.	
Фаза 2 Выпускные клапаны Цилиндры 1 и 4	2 цилиндра	Из-за выпуска чистого воздуха, ОГ на катализаторе обедняются и значение λ становится	

		больше 1. Поскольку для оптимальной работы трёхкомпонентного каталитического нейтрализатора требуется $\lambda = 1$, цикловая подача топлива в цилиндрах 1 и 4 увеличивается таким образом, что λ на нейтрализаторе становится равной 1.	
Фаза 3 Впускные клапаны Цилиндры 2 и 3	4 цилиндра	Блок управления двигателя задействует исполнительные механизмы впускных клапанов, подавая на них короткий сигнал массы. Блоки кулачков перемещаются в другое положение, и ролики рычагов теперь снова вращаются под рабочими кулачками. Впускные клапаны задействуются,	

		и происходит выпуск воздуха в цилиндры.	
Фаза 4 Изменение опережения зажигания Цилиндры 1–4	4 цилиндра	Поскольку теперь снова включены все цилиндры, впрыск и зажигание, а дроссельная заслонка широко открыта, при следующем рабочем ходе произойдёт существенное увеличение крутящего момента. Чтобы этого не допустить, момент зажигания сдвигается в сторону «позже», за счёт чего уменьшается эффективность сгорания. Крутящий момент остаётся на прежнем уровне.	
Фаза 5 Поворот дроссельной заслонки	4 цилиндра	Поскольку теперь воздух получают все четыре цилиндра, дроссельная заслонка перемещается в сторону закрытия, чтобы предотвратить скачок крутящего	

Изменение опережения зажигания Цилиндры 1–4		момента. Моменты зажигания всех цилиндров смещаются в сторону «раньше» для обеспечения максимальной эффективности сгорания.	
--	--	---	---

5.3 Практическая выгода использования системы отключения цилиндров

При работе с этим методом экономия топлива на режимах частичных нагрузок может достигать 20 – 23% с одновременным существенным уменьшением в 2,5 – 4 раза токсичности отработавших газов. Расход топлива на холостом ходу уменьшается почти в два раза.

В современном мире разработаны и исследованы системы регулирования мощности отключением отдельных рабочих циклов для бензиновых двигателей и частично для дизелей.

6 Безопасность и экологичность проекта

Источником вредных выбросов служит не автомобильное средство в общем, а конкретно – двигатель, концентрация выбросов токсинов в данном случае обуславливается газоанализаторами (в бензиновых двигателях).

Каждый год из-за увеличения количества автомобилей в стране растут выбросы опасных токсичных веществ в окружающую среду с отработавшими газами. Данная суммарная доля в определённых регионах может увеличиваться до 70 % от большинства загрязняющих выбросов.

Как показывают некоторые исследования [16] по отключению в двигателе пар цилиндров, была выявлена существенная топливная экономичность (порядка 20%). При движении автомобиля на улицах города (светофоры, дорожные заторы и др.) двигателю можно эксплуатировать на всех цилиндрах. Рациональным будет отключение половины цилиндров, что представит возможным достижение экономии топлива и понижение вредных выбросов при работе автомобиля в данном режиме с дальнейшей установкой данной функции на панель управления автомобиля. Эту функцию применяют несколько иностранных производителей автомобилей, так Volkswagen уже давно стал использовать данную функцию.

В данной бакалаврской работе рассмотрен метод понижения расхода топлива с помощью отключения цилиндров. Для чего и была применена система отключения цилиндров, которая позволяет снизить расход топлива. Также производится модернизация газораспределительной системы, которая обеспечивает переход с рабочих кулачков на нулевые.

Меры по уменьшению вибраций и шумов:

-Низкий общий уровень вибраций двигателя определяется уже его базовыми конструктивными особенностями, такими как блок цилиндров повышенной жёсткости, облегчённый кривошипно-шатунный механизм.

-Наибольшую сложность представляет отключение и подключение цилиндров, а также вибрации и звук работы двигателя в двухцилиндровом

режиме. Хотя в результате отключения цилиндров 2 и 3 рабочие ходы в остальных и происходят через равные промежутки, но вместо двух рабочих ходов («толчков») на один поворот коленвала в четырехцилиндровом режиме в двухцилиндровом режиме остаётся только один. Без дополнительных мер это приведёт к повышенной вибрации и грубому звуку двигателя.

Меры по уменьшению вибраций и шумов:

-Опоры силового агрегата (Это гидравлические опоры, обладающие малой динамической жёсткостью в широком диапазоне частот. В результате вибрации и резонансные эффекты в двухцилиндровом режиме, которые могли бы ощущаться водителем и пассажирами, сводятся к минимуму).

-Двухмассовый маховик (двухмассовый маховик имеет теперь характеристику торсионной упругости, специально рассчитанную на два разных режима. В характеристике есть одна очень мягкая ступень для двухцилиндрового режима и вторая, жёсткая ступень для четырехцилиндрового режима).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучив данную тему исследования, приходим к выводу, что данные конструкции работают в «узком» диапазоне оборотов двигателя, где наиболее лучшая экономичность достигается с 2000 до 3000 оборотов. Если необходима нагрузка в более «высоких» оборотах, то производительность и экономность значительно снижаются, тем самым отключение цилиндров двигателя предполагает размеренный стиль вождения, к примеру, если из четырех — отключить два, то при повышенных оборотах им будет необходимо «тянуть» двигатель полностью. И это, конечно, для них будет непросто, будет идти перерасход.

От стиля езды зависит многое, так, при включенной системе, должно быть не более 3000 оборотов, в том числе и при разгонах и маневрах. Оптимальным является ускорение плавное и торможение длинное, также можно использовать «движение накатом».

Экономия детерминирована рядом факторов:

1. После выключении цилиндров, воздух перераспределяется: из «нерабочих» его отводят и подают в «рабочие». Следовательно, их КПД значительно возрастает.

2. Система охлаждения также начинает работать продуктивнее, потому что охлаждать необходимо только рабочие цилиндры, что тоже немного увеличивает КПД.

3. Подача топлива. Насос начинает меньше подкачивать бензин (только в поршни, которые работают), следовательно, давление его снижается, тем самым повышая экономичность.

Подводя итоги, можно достичь экономию порядка 20%. Как уверяют производители ключевое предназначение данных конструкций — «городская езда» по пробкам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автомобильные двигатели с отключением цилиндров. Конструкции, анализ / Н. И. Мищенко, В. С. Шляхов, В. Л. Супрун [и др.] // Вестник СевНТУ. Серия машиноприборостроение и транспорт: сб. научных трудов. – 2011. – Вып. 122. – С. 163–166.
2. Андрухина, Т. Н. Шарапов Р. Р. Улучшение показателей топливной экономичности бензиновых двигателей путем применения систем отключения цилиндров // Современная техника и технологии. 2012. № 12. [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/12/1426> (дата обращения: 21.05.2018).
3. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев // В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 296 с.
4. Архангельский, В. М. Автомобильные двигатели [Текст] / В. М. Архангельский [и др.]; под ред. М. С. Ховаха. – М. : Машиностроение, 1977. – 356 с.
5. Бердников, А. А. Мингазов С. Р., Ерошкин М. А., Чуваин С. Н. Система питания двигателя с возможностью отключения части цилиндров // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 3. – С. 20-24.
6. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя / И.И. Вибе // М. : Машиностроение, 2004. – 282 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 2. Динамика Д 23 и конструирование: Учебник для вузов / В. Н. Луканин, И. В. Алексеев, М. Г. Шатров и др.; Под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. – 3-е изд. перераб. – М. : Высш. шк., 2007. – 400 с.: ил.
8. Двигатель 5.7 L Nemi V8 с отключаемыми цилиндрами // Автомобилестроение за рубежом. – 2004. – №9. – С. 18-22.

9. Ефимов, С. И. Двигатели внутреннего сгорания: системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / С. И. Ефимов [и др.]; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М. : Машиностроение, 1985.
10. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / Колчин, А. И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2008. – 496 с.
11. Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие. – М.: Академический проспект, 2004. – 155 с.
12. Луканин, В. Н. Шатров М. Г, Двигатели внутреннего сгорания / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров – М. : Высш. школа, 2007. – 400 с.
13. Оберемок В.А. Современные методы и средства снижения токсичности отработавших газов двигателей / В.А. Оберемок // Научная статья. – Зерноград: КубГАУ, 2016. – 247 с.
14. Орлин, А. С. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] / Д. Н. Вырубов, С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е издание, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1984. – 384 с.
15. Орлин, А. С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] / С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под общей редакцией А. С. Орлина, М. Г. Круглова//. – 3-е изд. – М. : Высшая школа, 1996. – 212 с.
16. Поливодин, Э. С. Исследование экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. IV междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2011. – 179 с.

- 17.Ховаха, М. С. Автомобильные двигатели – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] /Под редакцией М. С. Ховаха// М. : Машиностроение, 1977. – 636 с.
- 18.Элекин, И. П. Технический словарь / под ред. С. П. Обнорского. – М., 1949. – 279 с.
- 19.Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://autospeed.com/cms/title_Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2/A_2623/article.html (дата обращения: 25.05.2018).
- 20.Der neue Mercedes-Benz Zwölfzylindermotor mit Zylinderabschaltung / Joachim Schommers, Uwe Kleinecke, Jorg Mirroll, Alfred Wirth // Motortechnischezeitschrift. – 2000. – №6. – P. 57-61.
- 21.Green Car Congress “Volkswagen to implement cylinder deactivation in 1.4 TSI engines”. 2012 year. <http://www.greencarcongress.com> (дата обращения: 30.04.2018).
- 22.I fan, R. and Rcitz, R. (1997) A Temperature Wall Function Formulation for Variable-density Turbulent Flows with Application to Engine Convective Heat Transfer Modelling; Int. Journal Heat Mass Transfer [Текст]/, Vol.40, No. 3. – P. 613-625.
- 23.Launder, B.E and Spalding, D.B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence [Текст]/ Academic Press, London and New ork, 1972. – P. 46-70.
24. Singer, C. J A History of Technology: The Internal Combustion Engine / edited by Singer C .J. – New York, Clarendon Press. — 2016. – 335 p.
25. Zylinderabschaltung (ZAS) im 1.4 TSI: Volkswagen präsentiert neuste Effizienztechnologie [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krafthand.de/aktuell/details/article/zyylinderabschaltung.html> (дата обращения: .04.05.2018)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Таблица А1 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

φ_1	φ_2	φ'_1	φ'_2	ΔX_{1-2}	X_{1-2}	k_{1-2}	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T_1	T_2	p_1	K_{1-2}
0,000	1,000	347,000	348,000	0,0000006	0,000	1,371	1,097	1,083	626,188	629,235	0,988	6,391
1,000	2,000	348,000	349,000	0,0000083	0,000	1,362	1,083	1,069	629,235	632,069	1,006	6,529
2,000	3,000	349,000	350,000	0,0000359	0,000	1,361	1,069	1,057	632,069	634,872	1,023	6,542
3,000	4,000	350,000	351,000	0,0000967	0,000	1,360	1,057	1,047	634,872	637,838	1,039	6,555
4,000	5,000	351,000	352,000	0,0002038	0,000	1,359	1,047	1,037	637,838	641,243	1,055	6,569
5,000	6,000	352,000	353,000	0,0003704	0,001	1,358	1,037	1,028	641,243	645,438	1,070	6,586
6,000	7,000	353,000	354,000	0,0006094	0,001	1,357	1,028	1,021	645,438	650,850	1,086	6,606
7,000	8,000	354,000	355,000	0,0009334	0,002	1,355	1,021	1,014	650,850	657,972	1,103	6,632
8,000	9,000	355,000	356,000	0,0013543	0,003	1,353	1,014	1,009	657,972	667,358	1,122	6,664
9,000	10,000	356,000	357,000	0,0018832	0,004	1,351	1,009	1,005	667,358	679,600	1,144	6,705
10,000	11,000	357,000	358,000	0,0025301	0,005	1,348	1,005	1,002	679,600	695,323	1,170	6,755
11,000	12,000	358,000	359,000	0,0033031	0,007	1,344	1,002	1,001	695,323	715,158	1,201	6,814
12,000	13,000	359,000	360,000	0,0042082	0,008	1,340	1,001	1,000	715,158	739,723	1,238	6,883
13,000	14,000	360,000	361,000	0,0052484	0,010	1,336	1,000	1,001	739,723	769,608	1,282	6,961

Продолжение таблицы А1

14,000	15,000	361,000	362,000	0,0064233	0,013	1,331	1,001	1,002	769,608	805,350	1,333	7,045
15,000	16,000	362,000	363,000	0,0077281	0,015	1,326	1,002	1,005	805,350	847,422	1,394	7,133
16,000	17,000	363,000	364,000	0,0091535	0,018	1,321	1,005	1,009	847,422	896,213	1,463	7,224
17,000	18,000	364,000	365,000	0,0106842	0,021	1,317	1,009	1,014	896,213	952,012	1,543	7,315
18,000	19,000	365,000	366,000	0,0122992	0,025	1,312	1,014	1,021	952,012	1014,990	1,632	7,404
19,000	20,000	366,000	367,000	0,0139711	0,028	1,308	1,021	1,028	1014,990	1085,178	1,731	7,488
20,000	21,000	367,000	368,000	0,0156664	0,031	1,305	1,028	1,037	1085,178	1162,449	1,840	7,566
21,000	22,000	368,000	369,000	0,0173455	0,035	1,301	1,037	1,047	1162,449	1246,500	1,957	7,638
22,000	23,000	369,000	370,000	0,0189637	0,038	1,298	1,047	1,057	1246,500	1336,835	2,083	7,703
23,000	24,000	370,000	371,000	0,0204724	0,041	1,296	1,057	1,069	1336,835	1432,753	2,215	7,761
24,000	25,000	371,000	372,000	0,0218210	0,044	1,294	1,069	1,083	1432,753	1533,350	2,352	7,811
25,000	26,000	372,000	373,000	0,0229591	0,046	1,292	1,083	1,097	1533,350	1637,525	2,492	7,855
26,000	27,000	373,000	374,000	0,0238390	0,048	1,290	1,097	1,112	1637,525	1743,998	2,632	7,891
27,000	28,000	374,000	375,000	0,0244188	0,049	1,289	1,112	1,129	1743,998	1851,343	2,771	7,921
28,000	29,000	375,000	376,000	0,0246652	0,049	1,288	1,129	1,146	1851,343	1958,031	2,906	7,945
29,000	30,000	376,000	377,000	0,0245565	0,049	1,287	1,146	1,165	1958,031	2062,480	3,034	7,963
30,000	31,000	377,000	378,000	0,0240848	0,048	1,287	1,165	1,184	2062,480	2163,117	3,152	7,977
31,000	32,000	378,000	379,000	0,0232578	0,047	1,286	1,184	1,205	2163,117	2258,443	3,259	7,986

Продолжение таблицы А1

32,000	33,000	379,000	380,000	0,0220991	0,044	1,286	1,205	1,227	2258,443	2347,096	3,352	7,991
33,000	34,000	380,000	381,000	0,0206476	0,041	1,286	1,227	1,250	2347,096	2427,913	3,429	7,993
34,000	35,000	381,000	382,000	0,0189563	0,038	1,286	1,250	1,274	2427,913	2499,980	3,490	7,993
35,000	36,000	382,000	383,000	0,0170882	0,034	1,286	1,274	1,299	2499,980	2562,675	3,533	7,990
36,000	37,000	383,000	384,000	0,0151134	0,030	1,286	1,299	1,325	2562,675	2615,681	3,558	7,986
37,000	38,000	384,000	385,000	0,0131036	0,026	1,287	1,325	1,351	2615,681	2658,995	3,566	7,980
38,000	39,000	385,000	386,000	0,0111279	0,022	1,287	1,351	1,379	2658,995	2692,909	3,558	7,974
39,000	40,000	386,000	387,000	0,0092478	0,018	1,287	1,379	1,408	2692,909	2717,974	3,534	7,967
40,000	41,000	387,000	388,000	0,0075139	0,015	1,287	1,408	1,438	2717,974	2734,949	3,498	7,960
41,000	42,000	388,000	389,000	0,0059631	0,012	1,288	1,438	1,469	2734,949	2744,742	3,449	7,953
42,000	43,000	389,000	390,000	0,0046178	0,009	1,288	1,469	1,501	2744,742	2748,347	3,391	7,946
43,000	44,000	390,000	391,000	0,0034858	0,007	1,288	1,501	1,533	2748,347	2746,779	3,326	7,939
44,000	45,000	391,000	392,000	0,0025622	0,005	1,288	1,533	1,567	2746,779	2741,019	3,254	7,933
45,000	46,000	392,000	393,000	0,0018319	0,004	1,289	1,567	1,601	2741,019	2731,973	3,179	7,926

Таблица А2 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

φ_1	φ_2	φ'_1	φ'_2	X1-2	ΔX_{1-2}	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	1,000	345,000	346,000	0,000	0,0000003	1,365	1,129	1,112	699,414	703,175	1,519	6,475
1,000	2,000	346,000	347,000	0,000	0,0000044	1,362	1,112	1,097	703,175	706,737	1,549	6,529
2,000	3,000	347,000	348,000	0,000	0,0000209	1,361	1,097	1,083	706,737	710,168	1,579	6,542
3,000	4,000	348,000	349,000	0,000	0,0000599	1,360	1,083	1,069	710,168	713,555	1,608	6,555
4,000	5,000	349,000	350,000	0,000	0,0001325	1,359	1,069	1,057	713,555	717,028	1,635	6,569
5,000	6,000	350,000	351,000	0,001	0,0002506	1,358	1,057	1,047	717,028	720,771	1,662	6,586
6,000	7,000	351,000	352,000	0,001	0,0004262	1,357	1,047	1,037	720,771	725,015	1,688	6,606
7,000	8,000	352,000	353,000	0,001	0,0006719	1,355	1,037	1,028	725,015	730,041	1,714	6,632
8,000	9,000	353,000	354,000	0,002	0,0010000	1,353	1,028	1,021	730,041	736,176	1,740	6,664
9,000	10,000	354,000	355,000	0,003	0,0014229	1,351	1,021	1,014	736,176	743,786	1,768	6,704
10,000	11,000	355,000	356,000	0,004	0,0019522	1,348	1,014	1,009	743,786	753,269	1,797	6,754
11,000	12,000	356,000	357,000	0,005	0,0025987	1,344	1,009	1,005	753,269	765,045	1,830	6,814
12,000	13,000	357,000	358,000	0,007	0,0033717	1,340	1,005	1,002	765,045	779,546	1,866	6,883
13,000	14,000	358,000	359,000	0,009	0,0042784	1,336	1,002	1,001	779,546	797,201	1,908	6,960
14,000	15,000	359,000	360,000	0,011	0,0053233	1,331	1,001	1,000	797,201	818,429	1,955	7,044
15,000	16,000	360,000	361,000	0,013	0,0065076	1,326	1,000	1,001	818,429	843,625	2,009	7,133
16,000	17,000	361,000	362,000	0,016	0,0078278	1,321	1,001	1,002	843,625	873,145	2,071	7,223

Продолжение таблицы А2

17,000	18,000	362,000	363,000	0,019	0,0092757	1,317	1,002	1,005	873,145	907,301	2,142	7,314
18,000	19,000	363,000	364,000	0,022	0,0108372	1,312	1,005	1,009	907,301	946,336	2,221	7,402
19,000	20,000	364,000	365,000	0,025	0,0124914	1,308	1,009	1,014	946,336	990,417	2,310	7,486
20,000	21,000	365,000	366,000	0,028	0,0142108	1,305	1,014	1,021	990,417	1039,611	2,408	7,565
21,000	22,000	366,000	367,000	0,032	0,0159607	1,301	1,021	1,028	1039,611	1093,870	2,515	7,637
22,000	23,000	367,000	368,000	0,035	0,0176994	1,298	1,028	1,037	1093,870	1153,011	2,631	7,702
23,000	24,000	368,000	369,000	0,039	0,0193791	1,296	1,037	1,047	1153,011	1216,704	2,755	7,760
24,000	25,000	369,000	370,000	0,042	0,0209474	1,294	1,047	1,057	1216,704	1284,461	2,885	7,811
25,000	26,000	370,000	371,000	0,045	0,0223488	1,292	1,057	1,069	1284,461	1355,630	3,021	7,854
26,000	27,000	371,000	372,000	0,047	0,0235276	1,290	1,069	1,083	1355,630	1429,404	3,159	7,891
27,000	28,000	372,000	373,000	0,049	0,0244305	1,289	1,083	1,097	1429,404	1504,830	3,298	7,921
28,000	29,000	373,000	374,000	0,050	0,0250106	1,288	1,097	1,112	1504,830	1580,835	3,435	7,945
29,000	30,000	374,000	375,000	0,050	0,0252305	1,287	1,112	1,129	1580,835	1656,262	3,567	7,964
30,000	31,000	375,000	376,000	0,050	0,0250659	1,287	1,129	1,146	1656,262	1729,908	3,692	7,978
31,000	32,000	376,000	377,000	0,049	0,0245085	1,286	1,146	1,165	1729,908	1800,576	3,807	7,987
32,000	33,000	377,000	378,000	0,047	0,0235679	1,286	1,165	1,184	1800,576	1867,128	3,908	7,993
33,000	34,000	378,000	379,000	0,045	0,0222724	1,286	1,184	1,205	1867,128	1928,540	3,995	7,995
34,000	35,000	379,000	380,000	0,041	0,0206683	1,286	1,205	1,227	1928,540	1983,948	4,064	7,994

Продолжение таблицы А2

35,000	36,000	380,000	381,000	0,038	0,0188173	1,286	1,227	1,250	1983,948	2032,693	4,115	7,992
36,000	37,000	381,000	382,000	0,034	0,0167931	1,286	1,250	1,274	2032,693	2074,353	4,147	7,987
37,000	38,000	382,000	383,000	0,029	0,0146760	1,286	1,274	1,299	2074,353	2108,753	4,160	7,982
38,000	39,000	383,000	384,000	0,025	0,0125473	1,287	1,299	1,325	2108,753	2135,969	4,154	7,975
39,000	40,000	384,000	385,000	0,021	0,0104835	1,287	1,325	1,351	2135,969	2156,303	4,131	7,968
40,000	41,000	385,000	386,000	0,017	0,0085505	1,287	1,351	1,379	2156,303	2170,254	4,092	7,961
41,000	42,000	386,000	387,000	0,014	0,0068001	1,288	1,379	1,408	2170,254	2178,469	4,039	7,954
42,000	43,000	387,000	388,000	0,011	0,0052670	1,288	1,408	1,438	2178,469	2181,695	3,974	7,947
43,000	44,000	388,000	389,000	0,008	0,0039683	1,288	1,438	1,469	2181,695	2180,717	3,899	7,940
44,000	45,000	389,000	390,000	0,006	0,0029045	1,288	1,469	1,501	2180,717	2176,318	3,818	7,933
45,000	46,000	390,000	391,000	0,004	0,0020626	1,289	1,501	1,533	2176,318	2169,227	3,731	7,926
46,000	47,000	391,000	392,000	0,003	0,0014191	1,289	1,533	1,567	2169,227	2160,098	3,640	7,920
47,000	48,000	392,000	393,000	0,002	0,0009447	1,289	1,567	1,601	2160,098	2149,484	3,548	7,913
48,000	49,000	393,000	394,000	0,001	0,0006076	1,290	1,601	1,636	2149,484	2137,839	3,455	7,907
49,000	50,000	394,000	395,000	0,001	0,0003770	1,290	1,636	1,673	2137,839	2125,514	3,362	7,901
50,000	51,000	395,000	396,000	0,000	0,0002253	1,290	1,673	1,710	2125,514	2112,771	3,271	7,894

Таблица А3 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$

φ_1	φ_2	φ'_1	φ'_2	X1-2	ΔX_{1-2}	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	1,000	343,000	344,000	0,000	0,0000001	1,367	1,165	1,146	673,447	677,444	1,310	6,446
1,000	2,000	344,000	345,000	0,000	0,0000015	1,362	1,146	1,129	677,444	681,240	1,339	6,529
2,000	3,000	345,000	346,000	0,000	0,0000073	1,361	1,129	1,112	681,240	684,893	1,368	6,542
3,000	4,000	346,000	347,000	0,000	0,0000215	1,360	1,112	1,097	684,893	688,429	1,396	6,555
4,000	5,000	347,000	348,000	0,000	0,0000488	1,359	1,097	1,083	688,429	691,896	1,422	6,569
5,000	6,000	348,000	349,000	0,000	0,0000940	1,358	1,083	1,069	691,896	695,364	1,448	6,585
6,000	7,000	349,000	350,000	0,000	0,0001627	1,357	1,069	1,057	695,364	698,929	1,473	6,606
7,000	8,000	350,000	351,000	0,001	0,0002603	1,355	1,057	1,047	698,929	702,707	1,498	6,631
8,000	9,000	351,000	352,000	0,001	0,0003927	1,353	1,047	1,037	702,707	706,843	1,522	6,664
9,000	10,000	352,000	353,000	0,001	0,0005658	1,351	1,037	1,028	706,843	711,500	1,545	6,704
10,000	11,000	353,000	354,000	0,002	0,0007856	1,348	1,028	1,021	711,500	716,866	1,568	6,753
11,000	12,000	354,000	355,000	0,002	0,0010582	1,344	1,021	1,014	716,866	723,144	1,592	6,813
12,000	13,000	355,000	356,000	0,003	0,0013895	1,340	1,014	1,009	723,144	730,554	1,616	6,881
13,000	14,000	356,000	357,000	0,004	0,0017850	1,336	1,009	1,005	730,554	739,329	1,641	6,958
14,000	15,000	357,000	358,000	0,004	0,0022499	1,331	1,005	1,002	739,329	749,708	1,668	7,042
15,000	16,000	358,000	359,000	0,006	0,0027889	1,326	1,002	1,001	749,708	761,941	1,696	7,130
16,000	17,000	359,000	360,000	0,007	0,0034058	1,322	1,001	1,000	761,941	776,280	1,727	7,220

Продолжение таблицы А3

17,000	18,000	360,000	361,000	0,008	0,0041032	1,317	1,000	1,001	776,280	792,979	1,762	7,310
18,000	19,000	361,000	362,000	0,010	0,0048827	1,313	1,001	1,002	792,979	812,290	1,799	7,397
19,000	20,000	362,000	363,000	0,011	0,0057440	1,309	1,002	1,005	812,290	834,459	1,841	7,481
20,000	21,000	363,000	364,000	0,013	0,0066851	1,305	1,005	1,009	834,459	859,721	1,886	7,558
21,000	22,000	364,000	365,000	0,015	0,0077018	1,302	1,009	1,014	859,721	888,290	1,937	7,630
22,000	23,000	365,000	366,000	0,018	0,0087874	1,299	1,014	1,021	888,290	920,358	1,992	7,694
23,000	24,000	366,000	367,000	0,020	0,0099325	1,296	1,021	1,028	920,358	956,077	2,053	7,751
24,000	25,000	367,000	368,000	0,022	0,0111247	1,294	1,028	1,037	956,077	995,556	2,119	7,801
25,000	26,000	368,000	369,000	0,025	0,0123488	1,292	1,037	1,047	995,556	1038,850	2,191	7,844
26,000	27,000	369,000	370,000	0,027	0,0135863	1,291	1,047	1,057	1038,850	1085,947	2,268	7,881
27,000	28,000	370,000	371,000	0,030	0,0148161	1,289	1,057	1,069	1085,947	1136,760	2,349	7,911
28,000	29,000	371,000	372,000	0,032	0,0160142	1,288	1,069	1,083	1136,760	1191,121	2,435	7,936
29,000	30,000	372,000	373,000	0,034	0,0171545	1,288	1,083	1,097	1191,121	1248,772	2,524	7,956
30,000	31,000	373,000	374,000	0,036	0,0182094	1,287	1,097	1,112	1248,772	1309,362	2,616	7,971
31,000	32,000	374,000	375,000	0,038	0,0191503	1,286	1,112	1,129	1309,362	1372,445	2,710	7,982
32,000	33,000	375,000	376,000	0,040	0,0199493	1,286	1,129	1,146	1372,445	1437,485	2,805	7,989
33,000	34,000	376,000	377,000	0,041	0,0205796	1,286	1,146	1,165	1437,485	1503,862	2,898	7,993
34,000	35,000	377,000	378,000	0,042	0,0210172	1,286	1,165	1,184	1503,862	1570,881	2,990	7,995

Продолжение таблицы А3

35,000	36,000	378,000	379,000	0,042	0,0212422	1,286	1,184	1,205	1570,881	1637,792	3,077	7,994
36,000	37,000	379,000	380,000	0,042	0,0212399	1,286	1,205	1,227	1637,792	1703,805	3,160	7,992
37,000	38,000	380,000	381,000	0,042	0,0210021	1,286	1,227	1,250	1703,805	1768,118	3,235	7,988
38,000	39,000	381,000	382,000	0,041	0,0205279	1,286	1,250	1,274	1768,118	1829,941	3,303	7,983
39,000	40,000	382,000	383,000	0,040	0,0198245	1,287	1,274	1,299	1829,941	1888,524	3,361	7,978
40,000	41,000	383,000	384,000	0,038	0,0189072	1,287	1,299	1,325	1888,524	1943,183	3,409	7,972
41,000	42,000	384,000	385,000	0,036	0,0177989	1,287	1,325	1,351	1943,183	1993,323	3,445	7,965
42,000	43,000	385,000	386,000	0,033	0,0165298	1,287	1,351	1,379	1993,323	2038,466	3,470	7,958
43,000	44,000	386,000	387,000	0,030	0,0151359	1,288	1,379	1,408	2038,466	2078,260	3,483	7,951
44,000	45,000	387,000	388,000	0,027	0,0136570	1,288	1,408	1,438	2078,260	2112,494	3,483	7,944
45,000	46,000	388,000	389,000	0,024	0,0121350	1,288	1,438	1,469	2112,494	2141,101	3,472	7,936
46,000	47,000	389,000	390,000	0,021	0,0106117	1,289	1,469	1,501	2141,101	2164,153	3,450	7,929
47,000	48,000	390,000	391,000	0,018	0,0091264	1,289	1,501	1,533	2164,153	2181,852	3,417	7,921
48,000	49,000	391,000	392,000	0,015	0,0077141	1,289	1,533	1,567	2181,852	2194,514	3,375	7,914
49,000	50,000	392,000	393,000	0,013	0,0064036	1,290	1,567	1,601	2194,514	2202,547	3,324	7,907
50,000	51,000	393,000	394,000	0,010	0,0052168	1,290	1,601	1,636	2202,547	2206,423	3,267	7,899
51,000	52,000	394,000	395,000	0,008	0,0041675	1,290	1,636	1,673	2206,423	2206,659	3,204	7,892
52,000	53,000	395,000	396,000	0,007	0,0032622	1,290	1,673	1,710	2206,659	2203,786	3,137	7,885

Продолжение таблицы А3

53,000	54,000	396,000	397,000	0,005	0,0025001	1,291	1,710	1,747	2203,786	2198,324	3,066	7,878
54,000	55,000	397,000	398,000	0,004	0,0018743	1,291	1,747	1,786	2198,324	2190,767	2,993	7,872
55,000	56,000	398,000	399,000	0,003	0,0013733	1,291	1,786	1,825	2190,767	2181,566	2,919	7,865
56,000	57,000	399,000	400,000	0,002	0,0009827	1,292	1,825	1,865	2181,566	2171,117	2,844	7,859
57,000	58,000	400,000	401,000	0,001	0,0006860	1,292	1,865	1,906	2171,117	2159,757	2,770	7,852
58,000	59,000	401,000	402,000	0,001	0,0004668	1,292	1,906	1,948	2159,757	2147,765	2,697	7,846
59,000	60,000	402,000	403,000	0,001	0,0003093	1,292	1,948	1,990	2147,765	2135,362	2,625	7,840
60,000	61,000	403,000	404,000	0,000	0,0001994	1,293	1,990	2,033	2135,362	2122,721	2,554	7,834

Таблица А4 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 5100 \text{ мин}^{-1}$

φ_1	φ_2	φ'_1	φ'_2	X1-2	ΔX_{1-2}	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	1,000	343,000	344,000	0,000	0,0000000	1,369	1,165	1,146	652,036	655,924	1,172	6,421
1,000	2,000	344,000	345,000	0,000	0,0000005	1,362	1,146	1,129	743,479	659,595	1,198	6,529
2,000	3,000	345,000	346,000	0,000	0,0000028	1,361	1,129	1,112	749,554	663,113	1,224	6,542
3,000	4,000	346,000	347,000	0,000	0,0000084	1,360	1,112	1,097	755,679	666,481	1,248	6,555
4,000	5,000	347,000	348,000	0,000	0,0000196	1,359	1,097	1,083	762,203	669,715	1,272	6,569
5,000	6,000	348,000	349,000	0,000	0,0000385	1,358	1,083	1,069	769,640	672,842	1,295	6,585
6,000	7,000	349,000	350,000	0,000	0,0000677	1,357	1,069	1,057	778,665	675,899	1,317	6,606
7,000	8,000	350,000	351,000	0,000	0,0001099	1,355	1,057	1,047	790,112	678,938	1,338	6,631
8,000	9,000	351,000	352,000	0,000	0,0001679	1,353	1,047	1,037	804,958	682,024	1,358	6,663
9,000	10,000	352,000	353,000	0,000	0,0002448	1,351	1,037	1,028	824,292	685,235	1,377	6,704
10,000	11,000	353,000	354,000	0,001	0,0003436	1,348	1,028	1,021	849,282	688,661	1,396	6,753
11,000	12,000	354,000	355,000	0,001	0,0004675	1,344	1,021	1,014	881,119	692,408	1,413	6,812
12,000	13,000	355,000	356,000	0,001	0,0006198	1,340	1,014	1,009	920,957	696,590	1,429	6,881
13,000	14,000	356,000	357,000	0,002	0,0008037	1,336	1,009	1,005	969,839	701,332	1,446	6,957
14,000	15,000	357,000	358,000	0,002	0,0010227	1,331	1,005	1,002	1028,627	706,771	1,461	7,041
15,000	16,000	358,000	359,000	0,003	0,0012797	1,326	1,002	1,001	1097,925	713,051	1,477	7,128
16,000	17,000	359,000	360,000	0,003	0,0015780	1,322	1,001	1,000	1178,012	720,326	1,493	7,218

Продолжение таблицы А4

17,000	18,000	360,000	361,000	0,004	0,0019204	1,317	1,000	1,001	1268,780	728,756	1,509	7,308
18,000	19,000	361,000	362,000	0,005	0,0023095	1,313	1,001	1,002	1369,682	738,509	1,526	7,395
19,000	20,000	362,000	363,000	0,005	0,0027476	1,309	1,002	1,005	1479,700	749,762	1,544	7,478
20,000	21,000	363,000	364,000	0,006	0,0032367	1,305	1,005	1,009	1597,330	762,695	1,564	7,555
21,000	22,000	364,000	365,000	0,008	0,0037778	1,302	1,009	1,014	1720,599	777,490	1,585	7,626
22,000	23,000	365,000	366,000	0,009	0,0043716	1,299	1,014	1,021	1847,116	794,333	1,608	7,690
23,000	24,000	366,000	367,000	0,010	0,0050180	1,296	1,021	1,028	1974,166	813,407	1,633	7,746
24,000	25,000	367,000	368,000	0,011	0,0057159	1,294	1,028	1,037	2098,836	834,891	1,661	7,796
25,000	26,000	368,000	369,000	0,013	0,0064630	1,292	1,037	1,047	2218,182	858,952	1,692	7,838
26,000	27,000	369,000	370,000	0,015	0,0072561	1,291	1,047	1,057	2329,407	885,746	1,725	7,875
27,000	28,000	370,000	371,000	0,016	0,0080905	1,290	1,057	1,069	2430,053	915,410	1,762	7,905
28,000	29,000	371,000	372,000	0,018	0,0089604	1,289	1,069	1,083	2518,163	948,055	1,802	7,929
29,000	30,000	372,000	373,000	0,020	0,0098582	1,288	1,083	1,097	2592,417	983,764	1,845	7,948
30,000	31,000	373,000	374,000	0,022	0,0107751	1,287	1,097	1,112	2652,205	1022,584	1,892	7,963
31,000	32,000	374,000	375,000	0,023	0,0117006	1,287	1,112	1,129	2697,638	1064,518	1,941	7,974
32,000	33,000	375,000	376,000	0,025	0,0126229	1,286	1,129	1,146	2729,485	1109,525	1,994	7,981
33,000	34,000	376,000	377,000	0,027	0,0135289	1,286	1,146	1,165	2749,047	1157,511	2,049	7,986
34,000	35,000	377,000	378,000	0,029	0,0144041	1,286	1,165	1,184	2758,000	1208,325	2,106	7,988

Продолжение таблицы А4

35,000	36,000	378,000	379,000	0,030	0,0152332	1,286	1,184	1,205	2758,197	1261,755	2,165	7,988
36,000	37,000	379,000	380,000	0,032	0,0160004	1,286	1,205	1,227	2751,503	1317,532	2,225	7,986
37,000	38,000	380,000	381,000	0,033	0,0166895	1,286	1,227	1,250	2739,639	1375,324	2,286	7,984
38,000	39,000	381,000	382,000	0,035	0,0172845	1,287	1,250	1,274	2724,087	1434,742	2,346	7,980
39,000	40,000	382,000	383,000	0,036	0,0177703	1,287	1,274	1,299	2706,040	1495,342	2,406	7,976
40,000	41,000	383,000	384,000	0,036	0,0181329	1,287	1,299	1,325	2686,402	1556,636	2,463	7,971
41,000	42,000	384,000	385,000	0,037	0,0183601	1,287	1,325	1,351	2665,815	1618,097	2,519	7,966
42,000	43,000	385,000	386,000	0,037	0,0184424	1,287	1,351	1,379	2644,715	1679,168	2,571	7,960
43,000	44,000	386,000	387,000	0,037	0,0183728	1,288	1,379	1,408	2623,379	1739,281	2,618	7,954
44,000	45,000	387,000	388,000	0,036	0,0181482	1,288	1,408	1,438	2601,982	1797,864	2,661	7,948
45,000	46,000	388,000	389,000	0,036	0,0177688	1,288	1,438	1,469	2580,629	1854,358	2,699	7,942
46,000	47,000	389,000	390,000	0,034	0,0172391	1,288	1,469	1,501	2559,387	1908,230	2,730	7,935
47,000	48,000	390,000	391,000	0,033	0,0165676	1,289	1,501	1,533	2538,300	1958,991	2,755	7,929
48,000	49,000	391,000	392,000	0,032	0,0157668	1,289	1,533	1,567	2517,397	2006,204	2,772	7,922
49,000	50,000	392,000	393,000	0,030	0,0148526	1,289	1,567	1,601	2496,705	2049,499	2,783	7,915
50,000	51,000	393,000	394,000	0,028	0,0138446	1,290	1,601	1,636	2476,241	2088,586	2,786	7,908
51,000	52,000	394,000	395,000	0,026	0,0127643	1,290	1,636	1,673	2456,022	2123,254	2,782	7,901
52,000	53,000	395,000	396,000	0,023	0,0116353	1,290	1,673	1,710	2436,063	2153,385	2,771	7,894

Продолжение таблицы А4

53,000	54,000	396,000	397,000	0,021	0,0104818	1,290	1,710	1,747	2416,374	2178,948	2,752	7,886
54,000	55,000	397,000	398,000	0,019	0,0093278	1,291	1,747	1,786	2396,966	2200,000	2,728	7,879
55,000	56,000	398,000	399,000	0,016	0,0081962	1,291	1,786	1,825	2377,846	2216,678	2,697	7,872
56,000	57,000	399,000	400,000	0,014	0,0071076	1,291	1,825	1,865	2359,022	2229,193	2,661	7,865
57,000	58,000	400,000	401,000	0,012	0,0060800	1,292	1,865	1,906	2340,498	2237,820	2,621	7,858
58,000	59,000	401,000	402,000	0,010	0,0051278	1,292	1,906	1,948	2322,278	2242,879	2,576	7,851
59,000	60,000	402,000	403,000	0,009	0,0042618	1,292	1,948	1,990	2304,366	2244,727	2,528	7,844
60,000	61,000	403,000	404,000	0,007	0,0034885	1,293	1,990	2,033	2286,762	2243,742	2,478	7,837
61,000	62,000	404,000	405,000	0,006	0,0028109	1,293	2,033	2,077	2269,467	2240,306	2,425	7,830
62,000	63,000	405,000	406,000	0,004	0,0022282	1,293	2,077	2,121	2252,483	2234,795	2,371	7,824
63,000	64,000	406,000	407,000	0,003	0,0017367	1,293	2,121	2,166	2235,807	2227,569	2,316	7,818
64,000	65,000	407,000	408,000	0,003	0,0013302	1,294	2,166	2,212	2219,440	2218,960	2,261	7,811
65,000	66,000	408,000	409,000	0,002	0,0010005	1,294	2,212	2,258	2203,378	2209,267	2,207	7,805
66,000	67,000	409,000	410,000	0,001	0,0007386	1,294	2,258	2,305	2187,621	2198,754	2,152	7,799
67,000	68,000	410,000	411,000	0,001	0,0005347	1,294	2,305	2,352	2172,165	2187,647	2,099	7,793
68,000	69,000	411,000	412,000	0,001	0,0003795	1,295	2,352	2,400	2157,007	2176,132	2,046	7,787
69,000	70,000	412,000	413,000	0,001	0,0002638	1,295	2,400	2,448	2142,144	2156,100	1,995	7,550
70,000	71,000	413,000	414,000	0,000359013	0,000179507	1,296	2,448023	2,450	2112,866	1992,496	1,500	7,468

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Таблица Б □ Значения перемещения, скорости и ускорения поршня

φ°	S_x , мм	$V_{п}$, м/с	J , м/с ²
0	0,0000	0,00	2063,94
10	0,718	1,71	2014,88
20	2,835	3,34	1871,41
30	6,248	4,81	1642,58
40	10,803	6,06	1343,75
50	16,303	7,04	994,89
60	22,489	7,72	619,29
70	29,106	8,07	242,36
80	35,897	8,12	-277,69
90	42,609	7,90	-426,28
100	49,012	7,43	-685,99
110	54,963	6,77	-887,08
120	60,284	5,96	-1031,87
130	64,894	5,06	-1127,63
140	68,725	4,09	-1185,75
150	71,723	3,08	-1216,95

Продолжение таблицы Б

160	73,875	2,06	-1231,31
170	75,169	1,04	-1237,09
180	75,634	0,00	-1238,25
190	75,169	-1,04	1237,09
200	73,875	-2,06	-1231,31
210	71,723	-3,08	-1216,95
220	68,725	-4,09	-1185,75
230	64,894	-5,06	-1127,63
240	60,284	-5,96	-1031,87
250	54,963	-6,77	-887,08
260	49,012	-7,43	-685,99
270	42,609	-7,90	-426,28
280	35,897	-8,12	-277,69
290	29,106	-8,07	242,36
300	22,489	-7,72	619,29
310	16,303	-7,04	994,89
320	10,803	-6,06	1343,75
330	6,248	-4,81	1642,58
340	2,835	-3,34	1871,41
350	0,718	-1,71	2014,88
360	0,0000	0,00	2063,94