

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

Институт машиностроения

(институт, факультет)

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 Четырехцилиндровый бензиновый двигатель рабочим объемом
1,6 с модернизированным клапанным механизмом

Студент

В.С. Кучук

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(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
Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« » 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Целью бакалаврской работы является проведение модернизации клапанного механизма двигателя ВАЗ, с целью улучшения условий процесса наполнения и процесса сгорания.

Поэтому в данной бакалаврской работе представлены результаты проектирования двигателя ВАЗ с модернизированными элементами газораспределительного механизма. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обзор двигателя 21179, его новые компоненты и усовершенствования.
- Тепловой расчет и тепловой баланс модернизированного двигателя.
- Кинематический расчет модернизированного двигателя.
- В разделе специальной части, проведен анализ проведенной модернизации элементов механизма газораспределения двигателя ВАЗ.
- Проведена оценка безопасности и экологичности модернизированного двигателя ВАЗ.

Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1 иллюстрирующих материал представленный в пояснительной записке.

ABSTRACT

The aim of the bachelor's work is to modernize the valve mechanism of the VAZ engine, in order to improve the conditions of the filling process and the combustion process.

This bachelor's work presents the results of the design of the VAZ engine with the modernized elements of the gas distribution mechanism. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- Survey of sources on the problem of creating stationary power plants for power supply of small industrial facilities.
- Engine overview 21179, its new components and improvements.
- Thermal calculation and heat balance of the modernized engine.
- Kinematic calculation of the modernized engine.
- In the section of the special section, an analysis of the upgraded elements of the VAZ engine timing mechanism was carried out.
- The safety and ecological compatibility of the modernized VAZ engine was assessed.

The graphic part of the work contains 8 sheets of A1 format illustrating the material presented in the explanatory note.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Обзор двигателя 21179, его новые компоненты и усовершенствования...	6
1.1 История двигателя 21179.....	6
1.2 Технические характеристики и общее направление разработки...	7
1.3 Блок цилиндров, коленвал.....	9
1.4 Фазовращатель.....	11
1.5 Газораспределительный механизм (ГРМ)	12
1.6 Водяной насос.....	12
1.7 Масляный насос.....	13
1.8 Модельный ряд двигателей.....	13
1.9 Клапанные механизмы газораспределения, варианты развития.....	14
2 Тепловой расчет проектируемого двигателя	24
3 Расчет кинематики двигателя ВАЗ с модернизированным клапанным механизмом	37
4 Специальная часть	38
4.1 Описание конструкции модернизированного клапанного механизма	38
5 Безопасность и экологичность бакалаврской работы	42
5.1 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов модернизированного двигателя ВАЗ	42
5.2 Шумность при работе модернизированного двигателя ВАЗ	43
5.3 Эффективность применения модернизированного двигателя ВАЗ..	43
5.4 Выводы по разделу безопасность и экологичность	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	56

ВВЕДЕНИЕ

ПАО «АвтоВАЗ» — российская автомобилестроительная компания, один из крупнейших производителей автомобилей в Российской Федерации. Контрольный пакет акций находится у альянса Renault-Nissan. Штаб-квартира и основное производство находятся в городе Тольятти. АВТОВАЗ совершенствуется изо дня в день. Качество продукции волжского автомобильного завода повышается с каждым годом. Благодаря работе с поставщиками, число обращений потребителей в дилерские сети снизилось. Отдельное внимание хотелось бы уделить маркетингу Автоваза, сейчас над ним работают настоящие профессионалы, благодаря им автомобили LADA продаются очень успешно. Естественно вазовцы работают над новыми моделями автомобилей и двигателями. В данный момент ведется работа над фейслифтом Lada Grantai и Lada Kalina. В дальнейшем возможно автомобиля Lada Kalina не будет, его переименуют в Гранту. К новым разработкам инженеров АвтоВАЗа можно отнести новый 8-ми клапанный мотор, который уже совсем скоро придет на смену ваз 11186. Известно, что Волжский Автомобильный Завод (ВАЗ) с 1970 года производит автомобили для РФ и стран СНГ. Для каждого автомобиля необходим силовой агрегат, который будет приводить его в действие. На протяжении 47 лет существования завода, модельный ряд автомобилей Lada комплектовался различными силовыми установками, начиная с ВАЗ 2101 1.2 литра и заканчивая ВАЗ 21127. Однако, эти двигатели уже достаточно долго находятся на рынке и для новых моделей завода их характеристик недостаточно, либо они не обеспечивают того минимума, который необходим для запуска новой модели в серию. В данной бакалаврской работе разберем двигатель, который создали инженеры АвтоВАЗа, основываясь на двигателе 21127, с индексом 21179, предназначенным для Lada Vesta, Lada Xray и с дальнейшей возможностью установки на более новые модели. Проведем анализ возможностей улучшения характеристик двигателя ВАЗ за счет модернизации клапанного механизма.

Обзор двигателя 21179, его новые компоненты и усовершенствования

1.1 История двигателя 21179

Общий вид двигателя 21179 представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 - Общий вид двигателя 21179

История двигателя с объемом 1,8 литра началась в далеком 2006 году. Мотор задумывался как топовый или один из топовых в линейке. Мотор разрабатывался в рамках проекта “Силуэт”, он же С-класс. Этот силовой агрегат планировалось устанавливать на машины С-класса, но и рассчитывалось, что и к внедорожникам адаптируют его. Конструкцию мотора разработали с нуля, но проект “Силуэт” заморозили, в силу нехватки средств для его реализации и проект силового агрегата пришлось остановить [8, 10].

На какое-то время про двигатель с объемом 1,8л забыли, но в 2008 году снова пришли к тому, чтобы создать новый мотор, при этом он должен был быть привязан к действующему производству, ведь АвтоВАЗу, который испытывал тяжелые времена было невозможно обеспечить хорошим финансированием абсолютно новую конструкцию. Были проведены консультации с зарубежными компаниями, занимающимися разработкой систем регулирования фаз газораспределения VVT, и в итоге в октябре этого же года завод заключил контракт с фирмой Ricardo (Великобритания). Спустя 8 лет в 2016 году АвтоВАЗу наконец-то удалось запустить производство данного двигателя [8, 10].

1.2 Технические характеристики и общее направление разработки

Внешняя скоростная характеристика двигателей ВАЗ-21179, ВАЗ-21129 представлена на рисунке 1.2.

В силу недостаточного финансирования двигатель нужно было спроектировать с минимальными затратами, в следствии этого вазовцам пришлось брать за базу какой-то двигатель, который уже существует в их линейке. Выбор пал на двигатель 21127 с рабочим объемом 1,6 литра.

Мощность двигателя ВАЗ-21179 составляет 90 кВт, а крутящий момент – 170 Нм. На ВСХ видно, что с 1000 сек⁻¹водитель может рассчитывать на достаточно большой крутящий момент, который составляет 127 Н*м. Такого показателя предыдущие вазовские моторы не достигали даже на пике.

Для потребителя важно, чтобы силовой агрегат был достаточно мощным, но обслуживание его было доступным и потребление топлива было минимальным. Эти решения противоречат друг другу. Поэтому на заводе долгое время отдавали приоритет расходу, а мощность по сравнению с другими автомобилями была маленькой.

Внешняя скоростная характеристика
двигателей ВАЗ-21179, ВАЗ-21129

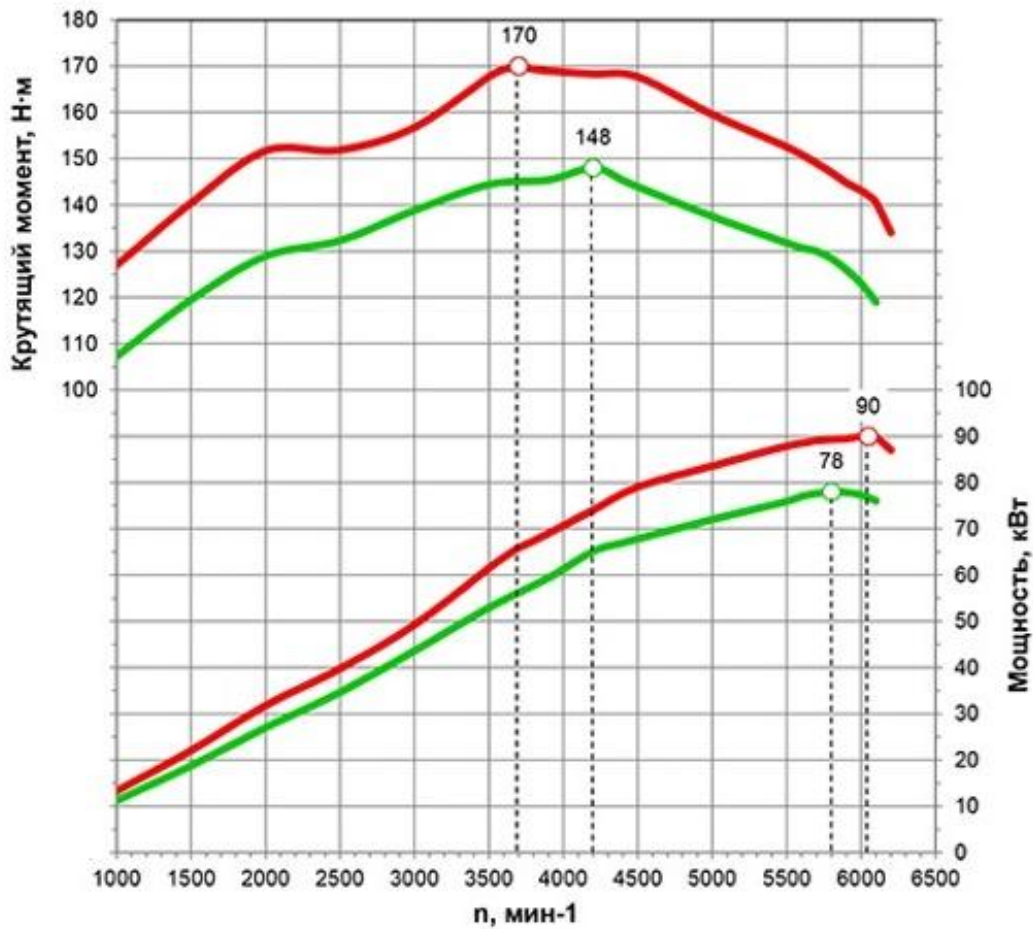


Рисунок 1.2 - Внешняя скоростная характеристика двигателей Ваз-21179, Ваз-21129

Однако в этот раз инженеры пошли другим путем и решили повысить мощность двигателя. Одним из наиболее простых способов увеличения мощности является увеличение рабочего объема камеры сгорания за счет хода поршня. Конструктора разработали коленвал обеспечивающий ход поршня равным 84 миллиметрам, вместо прежних 75,6 мм. Двигатель стал потреблять больше воздуха и естественно увеличилась мощность [8, 10].

1.3 Блок цилиндров, коленвал

На рисунках 1.3, 1.4, 1.5 и 1.6 показаны: блок цилиндров, коленвал и прокладка головки блока, соответственно.

Блок нового мотора кажется таким же как у базового 21127, однако это иллюзия. Он похож чисто внешне, обработка осталась прежней. Однако отличия есть, и они существенны и их около четырех.

1. В новом блоке появился дополнительный масляный канал между 1 и 2 цилиндрами, и между 2 и 3.

2. Инженеры поработали и над охлаждением блока. При испытании двигателя 21179 конструктора столкнулись с быстрым износом поршневых колец. После долгого разбора причин, выяснили, что причиной этому является перегрев перемычек между цилиндрами двигателя. Поэтому в этих перемычках появились каналы охлаждения, и проблема ушла.

3. Инженеры АвтоВАЗа предвидели установку этого силового агрегата на авто с полным. Поэтому привычное место нанесения номера ДВС было неприемлемо, и его перенесли на левую сторону блока

4. Так же блок был адаптирован под модели Xray и Vesta. Конструктора разработали точки крепления кронштейна правой опоры ДВС на переднем торце блока цилиндров

Вал коленчатый претерпел серьезные изменения. Помимо увеличенного рабочего хода поршня, вазовцы уменьшили диаметр шатунной шейки до 43 мм. Это повлекло за собой уменьшение потерь на трение. В новом коленчатом валу убрали масляные каналы, т.к. они являются потенциальным местом накопления стружки.

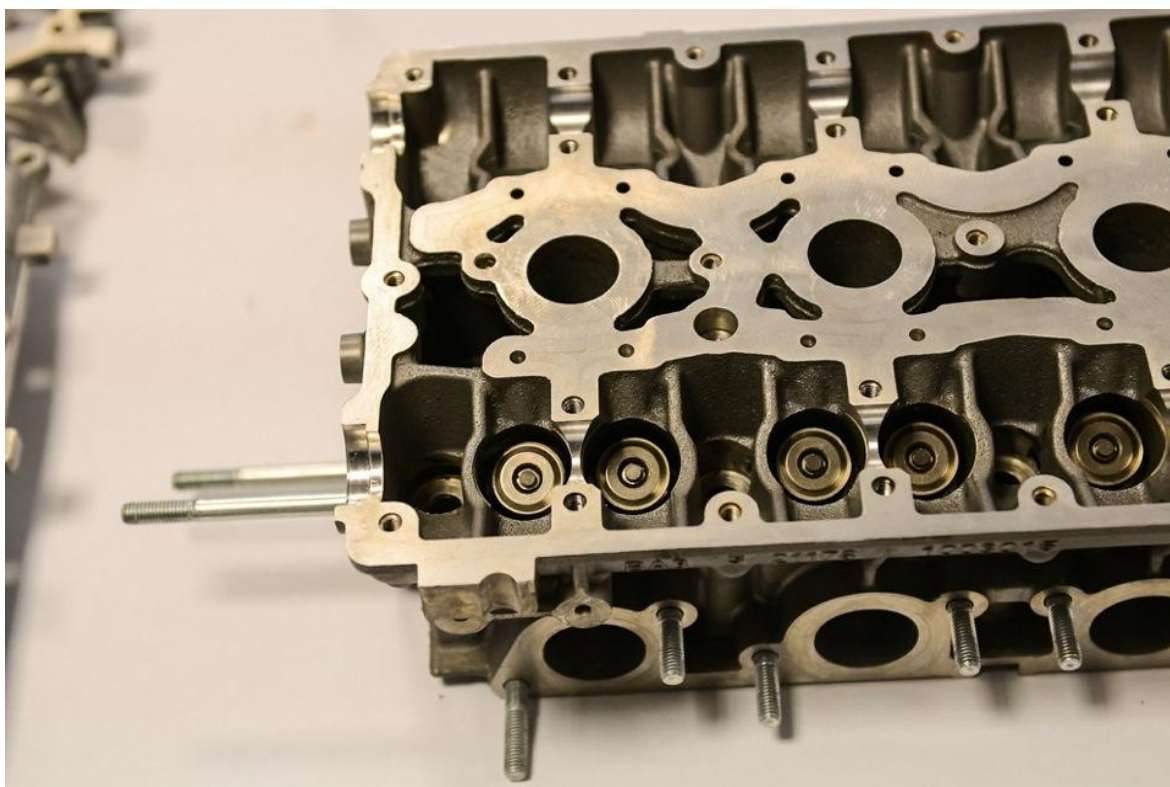


Рисунок 1.3 - Блок цилиндров двигателя 21179 (вид сверху)

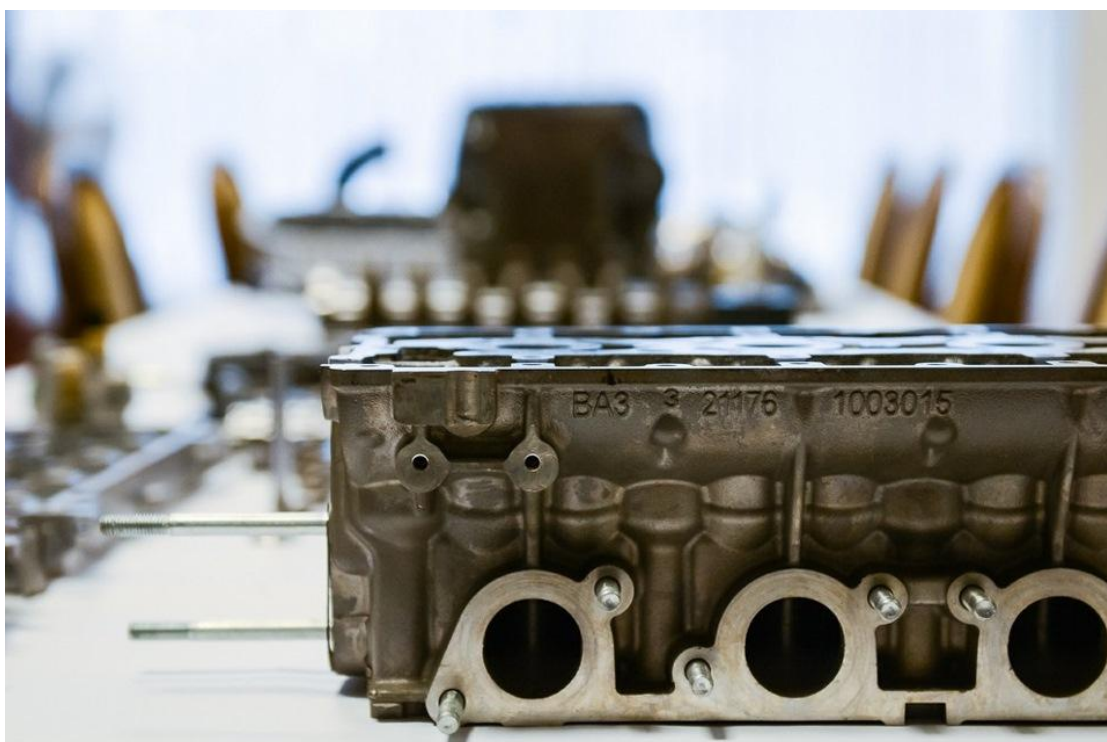


Рисунок 1.4 - Блок цилиндров двигателя 21179 (вид сбоку)



Рисунок 1.5 - Коленвалдвигателя 21179



Рисунок 1.6 - Прокладка головки блока цилиндровдвигателя 21179

1.4 Фазовращатель

Система VVT(фазовращатель) используется достаточно давно в автомобилестроении [7-11], однако данную технологию Автоваз взял на

вооружение только в 2016 году.

На заводе, рассматривался вариант применения «фазера» как на впускном, так и на выпускном распредвалах, но в силу недостаточного финансирования АвтоВАЗ решил оставить только один фазер на впуске, потому что именно там он позволяет увеличить мощность ДВС и уменьшить токсичность. Токсичность – важный показатель для автомобиля, ведь автомобили с этим двигателем планировалось поставлять в Европу, где очень жесткие требования по токсичности

После того, как внедрили фазовращатель, первым делом калибровали систему управления двигателя, для получения максимального крутящего момента. Вторым шагом после внедрения фазера была корректировка по токсичности, она была минимальной, ведь токсичность ДВС в основном регулируется каталитическим нейтрализатором [12-14].

1.5 Газораспределительный механизм (ГРМ)

Диаметры тарелок выпускных и впускных клапанов стали больше на 2 мм и 2,6 мм соответственно. Диаметр стержня уменьшили с 7 до 5 мм. Профиль кулачка был модифицирован. Двигатель оснащается корейскими распределительными валами.

1.6 Водяной насос

Слабым местом на вазовских моторах считается водяной насос, поэтому на новом моторе отказались от старых поставщиков и перешли на помпу фирмы GMB, производство которых локализовано в Корее. Производительность не изменилась, но за счёт снижения сопротивления в рубашке охлаждения прокачка жидкости через двигатель увеличена. Особенностью насоса является: более надежный подшипник; сальник новой конструкции, который гарантирует невымывание смазки из подшипника.

1.7 Масляный насос

Производительность у двигателя старого образца составляла 33,4 л/мин, у нового же масляного насоса составляет около 54 л/мин. Таким образом был обеспечен достаточный запас по давлению масла и решены проблемы с управлением фазовращателя у данного ДВС.

1.8 Модельный ряд двигателей

Модели, разработанные «АвтоВАЗ».

- ВАЗ 2103 - бензиновый, рабочим объемом 1,5 л, мощность которого составляет 71 л.с.(снят с производства);
- ВАЗ 2106 – карбюраторный двигатель объемом 1,6 л, мощность 74,5 л.с.(снят с производства);
- ВАЗ 21083 – карбюраторный ДВС объем которого составляет 1,5л, мощность 69 л.с.(снят с производства);
- ВАЗ 21116 один из первых на тот момент инжекторных двигателей, мощностью 90 л.с.(снят с производства);
- ВАЗ 21214 – устанавливается на автомобиль LADA 4x4, объем двигателя равен 1,7 л, мощность составляет 81 л.с.;
- ВАЗ 11186 - один из новых двигателей АвтоВАЗа, устанавливается на модели Лада Калина и Лада Гранта, имеет мощность 86 л.с. и объем 1,6л.;
- Ваз 21126 - объем 1,6 л, мощность около 98 л.с.Этим мотором комплектуются только автомобили с автоматом Джатко;
- Ваз 21127 – рабочий объем 1,6 л, мощность 106л.с.;
- Ваз 21129 – рабочий объем и мощность остались прежними, как у двигателя ВАЗ 21127. Этот силовой агрегат устанавливается на Весту и Храу;

- Ваз 21179 – это новейший мотор, объемом 1.8 литра, развивает мощность 122 л.с.

Модели двигателей, которые собираются на площадке АвтоВАЗа.

- Двигатель H4м устанавливается на RenaultLogan и LadaLargus;
- Двигатель K4m – объем 1,6л, мощность 102 л.с., данным силовым агрегатом комплектуются автомобили RenaultStepway.

1.9 Клапанные механизмы газораспределения, варианты развития

Для того, чтобы детально разобраться с таким сложным механизмом как газораспределительный, необходимо понимание его состава. Каждый механизм ГРМ имеет свои особенности, поэтому на данном этапе рассмотрим основной состав механизма газораспределения присущий всем типам ДВС. Рассмотрим подробнее элементы, входящие в состав газораспределительного механизма [1-9]:

- Распределительный вал

Распределительный вал служит для регулирования движения впускных и выпускных клапанов. В зависимости от схемы привода клапанов и их количества кулачки на распредвалах расположены таким образом, чтобы обеспечить нормальную работу клапанов в соответствии с порядком работы цилиндра силового агрегата.

Пример распределительного вала представлен на рисунке 1.7.

- Толкатель клапана

Предназначен для передачи усилия с распределительного вала на клапан. Толкатели бывают двух видов: жесткие и имеющие гидравлический привод.

Первый вид толкателей (жесткий) - имеют цельную конструкцию, без каких-либо движущихся частей. Двигатели внутреннего сгорания, оборудованные таким видом толкателей, требуют регулировок,

позволяющих устранить шум при работе клапанного механизма и уменьшить его износ.

Второй вид толкателей - это толкатели, имеющие гидравлический привод. Они служат не только для передачи усилия с распредвала на клапан, но также в автоматическом режиме могут самостоятельно компенсировать изменение клапанного зазора.

На рисунке 1.8 представлен толкатель клапана.



Рисунок 1.7 - Распределительный вал



Рисунок 1.8 - Толкатель клапана

– Штанга

Предназначена для передачи усилия на подъем с кулачка распределительного вала и толкателя к клапану. Штанга изготовлена из металлической трубы и имеет на концах головки в виде шара, так называемые шаровые головки. Иногда в двигателях применяются штанги с изменяющейся длиной, эта особенность позволяет регулировать клапанный зазор с помощью гидротолкателей.

Штанга изображена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 - Штанга клапанного механизма

– Регулировочный винт

Служит для регулировки клапанного зазора. Это нужно для поддержания эффективности работы двигателя, а также для увеличения его ресурса. В противном случае могут появиться проблемы с седлами клапана, они будут прогорать при маленьком зазоре. Если же зазор будет наоборот больше, то клапаны будут не полностью открываться и мощность ДВС будет уменьшаться.

– Коромысло

Коромысло - элемент соединяющий распределительный вал и клапан, для своевременного открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов в

процессе работы силового агрегата. На рисунке 1.10 представлено коромысло.



Рисунок 1.10 - Коромысло

– Втулка клапана

Втулка предназначена для точного направления возвратно-поступательного движения клапанов. Она представляет собой полую цилиндрическую деталь.

Внешний вид втулки клапана изображен на рисунке 1.11.



Рисунок 1.11 - Втулка клапана

– Тарелка пружины клапана

Предназначена для обеспечения надежной фиксации пружин клапана, изготавливается из стали.

Тарелка пружины клапана представлена на рисунке 1.12



Рисунок 1.12 - Тарелка пружины клапана

– Пружины клапана, внешняя и внутренняя

Служат для создания усилия, которое необходимо для полного закрытия клапана и плотной посадки в седло. Пружины изготавливаются из закаленной проволоки 70ХГФА, методом навивки.

Внешняя и внутренняя пружины изображены на рисунке 1.13.



Рисунок 1.13 - Внешняя и внутренняя пружины клапана

– Сухарь клапана

Сухарь служит для соединения клапана с тарелкой, так, чтобы пружина держала клапан в необходимом положении. Сухари делятся на две подгруппы:

1. Клеммное соединение, благодаря которому сухарь, тарелка пружины и клапан плотно соединяются между собой и не производят никакого взаимодействия.

2. Неклеммное соединение, обеспечивает клапану свободу вращения.

Сухарь клапана показан на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14 - Сухарь клапана

– Клапаны (рисунок 1.15)

Для улучшения наполнения двигателя диаметр впускного клапана больше, чем у выпускного. Так как при выпуске скорость потока отработанной смеси выше, чем свежей впускной, за счет выталкивания отработанных газов поршнем на такте выпуска[2-6].

Таким образом, величина впускного отверстия определяется диаметром впускного клапана. Диаметр впускного клапана ограничивается возможностями размещения его в головке блока, а высота подъема клапана – силами инерции клапанного механизма, которые не должны быть излишне большими во избежание установки слишком сильных клапанных пружин и вызванного этим слишком большого износа кулачков.[11]

Клапаны, особенно выпускные, работают при высокой тепловой напряженности, температура тарелки впускного клапана достигает 350– 500°C

при полной нагрузке двигателя, а у выпускного 700–900°C [12-18]. Столь высокая тепловая напряженность выпускных клапанов обусловливается, главным образом, их очень сильным нагревом во время процесса выпуска. Клапаны подвергаются так же коррозирующему действию газов. Материал клапанов вследствие этого должен обладать стойкостью против коррозии и хорошо сопротивляться износу, поскольку условия смазки клапана не удовлетворительны [19-22].

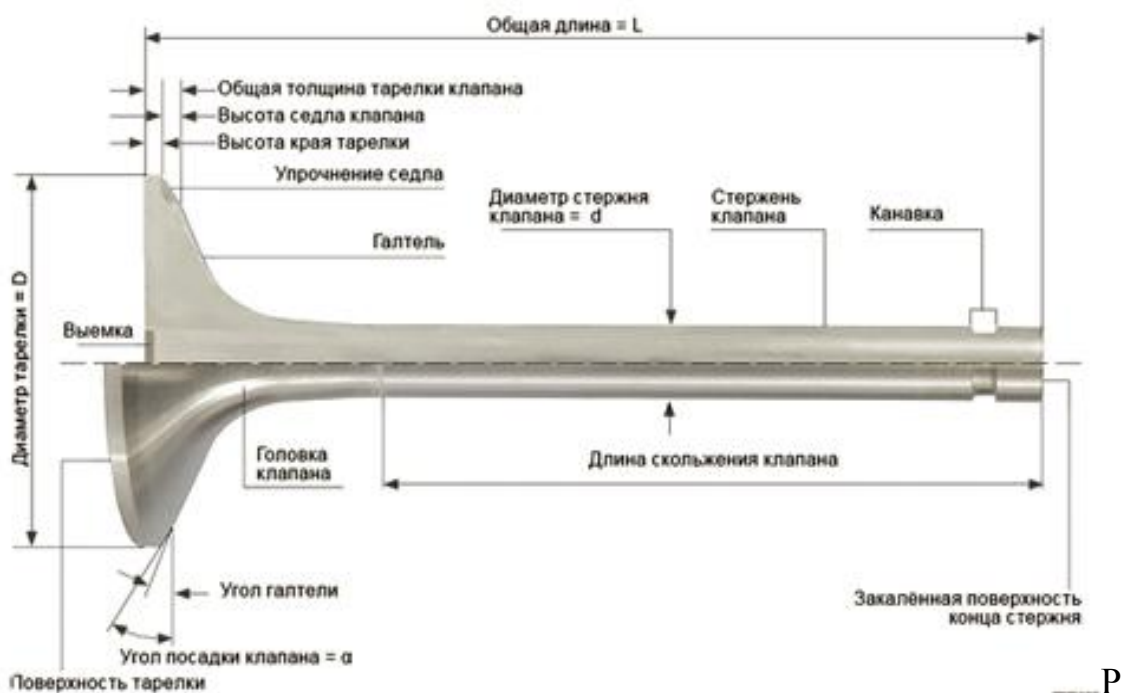


Рисунок 1.15 – Основные элементы клапана

Для повышения износостойкости и продления срока службы клапаны проходят дополнительную обработку, путем наваривания специального сплава (стеллита) на рабочую фаску клапана.

Для улучшения антифрикционных свойств и повышения износостойкости стержня клапана его часто азотируют или хромируют.[12]

Выпускные клапаны форсированных двигателей иногда выполняют полыми рисунок 1.16а. Заполняющее на 50–60% полость клапана легкоплавкое вещество (натрий или специальные соли) во время работы двигателя плавится и энергично взбалтывается, что обеспечивает лучший отвод тепла от головки к стержню клапана и тем самым устраняет его

перегрев. Таким образом, можно понизить температуру тарелки клапана на 80–150°C. Полые выпускные клапаны применяются преимущественно с целью понижения температуры в особо опасной области галтели (закруглённого перехода).

Для уменьшения массы, в современном моторостроении находят применение полые, незаполненные впускные клапана.[17]

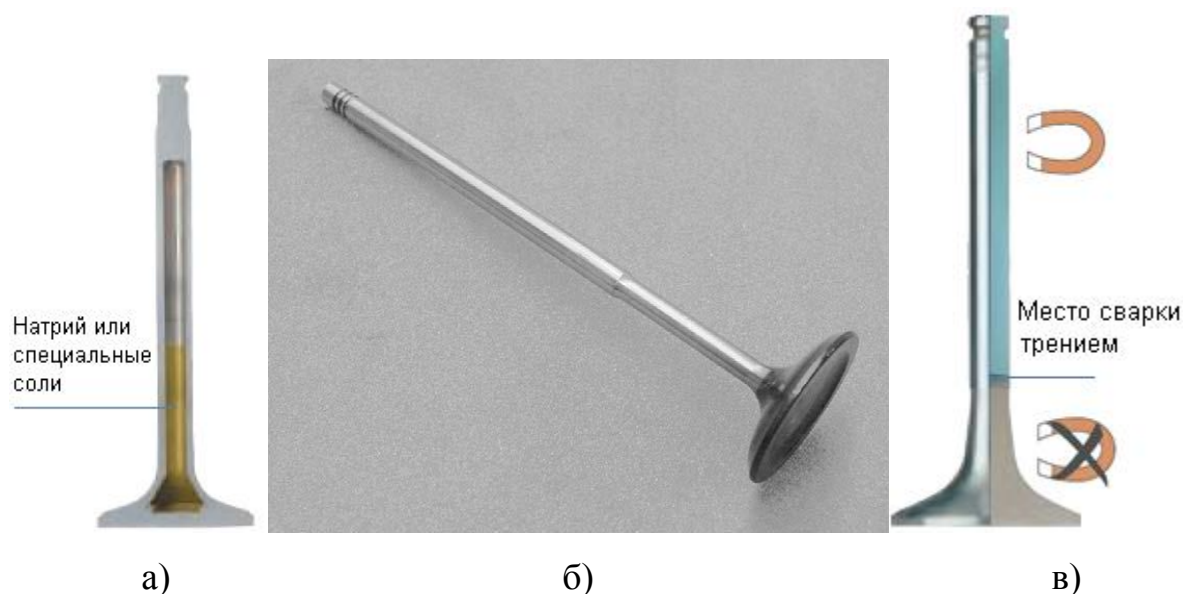


Рисунок 1.16 – Виды применяемых клапанов: (а) – клапан с наполнителем;(б) – цельнометаллический (монометаллический) клапан; (в) – биметаллический клапан

Впускные и выпускные клапана разделяются на:

цельнометаллический (монометаллический) клапан (рисунок 1.16б). Эти клапаны производятся только из одного материала;

биметаллический клапан (рисунок 1.16в). Биметаллические клапана - это соединение двух металлов: материала тарелки клапана с высокой теплостойкостью и материала штока клапана, который закалён со стороны конца стержня клапана, и при этом обладающего высокими антифрикционными свойствами для скольжения внутри направляющей втулки клапана. Соединение этих двух материалов выполняется при помощи сварки трением.

– Ременно-цепной привод ГРМ

Данный тип приводов применяется в двигателях с верхним расположением двух распредвалов. Данная концепция привода, подразумевает комбинацию цепного привода и ременного. Цепь приводит в движение выпускной распредвал, а ремень - впускной. Преимущество таких приводов в том, что они позволяют расположить клапана более вертикально, относительно обычных видов. Благодаря этому возрастает эффективность сгорания топливовоздушной смеси, повышается экономичность двигателя и уменьшается токсичность [18].

Ременно-цепной привод представлен на рисунке 1.17.



Рисунок 1.17 - Ременно-цепной привод

– Ременно-зубчатый привод ГРМ

Этот тип привода применяется на двигателях внутреннего сгорания с верхним расположением распредвалов. В таком типе приводов, один из распределительных валов приводится в движение с помощью шкива и

ремня от коленвала. Второй же распредвал в свою очередь зависит от первого. Он приводится в движение от 1-ого с помощью зубчатых передач [19].

Данный привод изображен на рисунке 1.18.

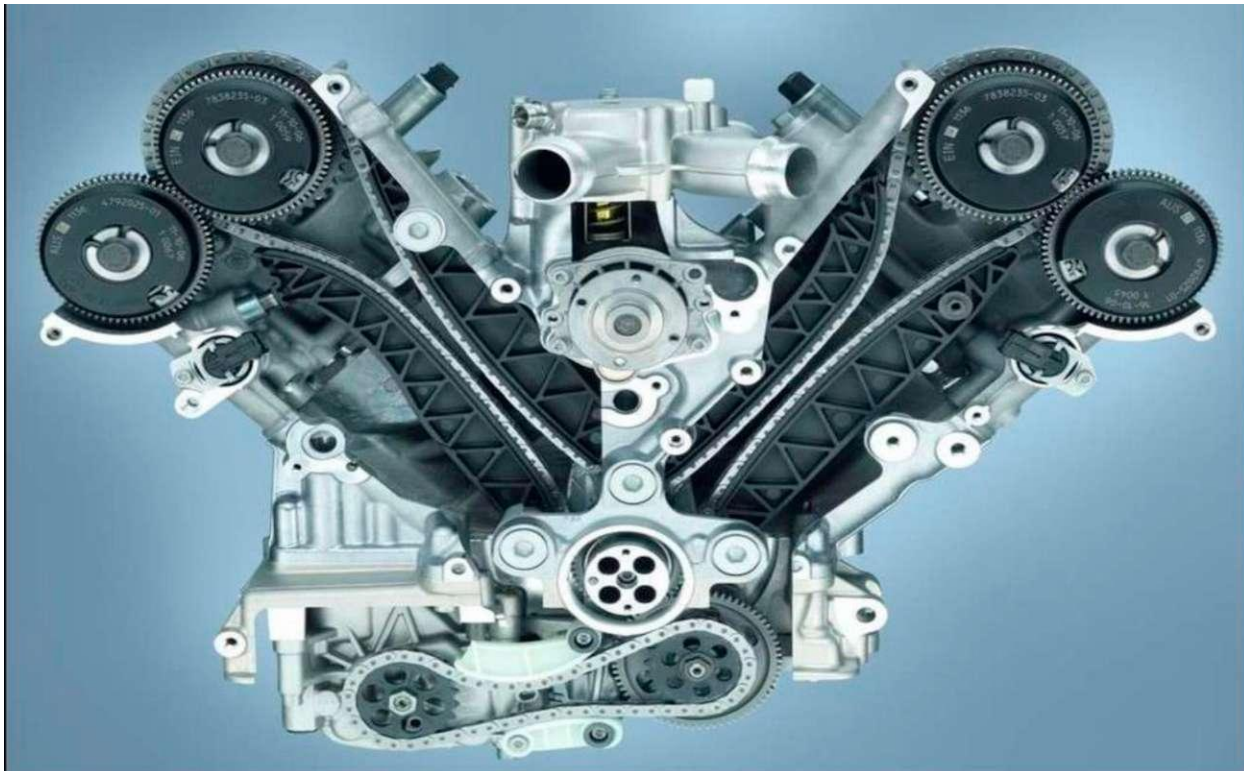


Рисунок 1.18 - Ременно-зубчатый привод

По результатам этого обзора можно сделать заключение о том, что газораспределительный механизм один из наиболее сложных механизмов в двигателе, как по части проектирования, так и по части эксплуатации. В данном обзоре полностью разобран механизм ГРМ, описан каждый элемент и написано его предназначение. Этот механизм претерпит еще много изменений, ведь прогресс не стоит на месте [20].

2 Тепловой расчет проектируемого двигателя

Расчет четырехтактного двигателя внутреннего сгорания на базе двигателя ВАЗ с рабочим объемом 1,6 л. Степень сжатия $\varepsilon = 11,5$ [1, 6, 17].

В соответствии с заданной степенью сжатия $\varepsilon = 11,5$ у проектируемого двигателя используется бензин марки АИ-95 [1].

Средний элементарный состав и молекулярная масса бензина [1]

$$C = 0,855; H = 0,145 \text{ и } m_T = 115 \text{ кг/моль.}$$

Низшая теплота сгорания топлива [1]

$$H_u = 33,91C \cdot 125,60H - 10,89(O - S) - 2,51(9H + W) = 33,91 \cdot 0,855 + \\ + 125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43930 \text{ кДж/кг.} \quad (2.1)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \\ = \frac{1}{0,208} \cdot \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,516 \text{ кмоль возд/кг топл.;} \quad (2.2)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \\ = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) = 14,957 \text{ кг возд/кг топл.} \quad (2.3)$$

Количество горючей смеси

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_T} = \\ = 1,05 \cdot 0,516 + \frac{1}{115} = 0,5514 \text{ кмоль гор. см/кг топл.} \quad (2.4)$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при $K=0,5$ и принятых скоростных режимах [1]:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,855}{12} = 0,0712 \text{ кмоль } CO_2/\text{кг топл.}; \quad (2.5)$$

$$M_{CO} = 0 \text{ т.к. } \alpha > 1; M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,145}{2} = 0,0725 \text{ кмоль } H_2O/\text{кг топл.}; \quad (2.6)$$

$$M_{H_2} = 0 \text{ т.к. } \alpha > 1; M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 = \quad (2.7)$$

$$= 0,792 \cdot 1,05 \cdot 0,516 = 0,4298 \text{ кмоль } N_2/\text{кг топл.};$$

$$M_{O_2} = 0,208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 = \quad (2.8)$$

$$= 0,208 \cdot (1,05 - 1) \cdot 0,516 = 0,0054 \text{ кмоль } O_2/\text{кг топл.}$$

Общее количество продуктов сгорания[1]:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} + M_{O_2} = \quad (2.9)$$

$$= 0,0712 + 0,0725 + 0,4298 + 0,0054 = 0,5789 \text{ кмоль пр.сг/кг топл.}$$

Таблица 2.1 – Рабочее тело

Коэффициент избытка воздуха	Количество горючей смеси кмоль гор. см. кг топл.	M_{CO_2} , кмоль CO_2 / кг топл.	M_{H_2O} , кмоль H_2O / кг топл.	M_{N_2} , кмоль N_2 / кг топл.	M_{O_2} , кмоль O_2 / кг топл.	Количество продуктов сгорания кмоль прод. сг. кг топл.	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель ВАЗ с модернизированным ГРМ							
1	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	900
1	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	2000
1	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	3500
1	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	5000
1	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	5600

Давление и температура окружающей среды

$$p_0 = 0,101 \text{ МПа и } T_0 = 293 \text{ К.}$$

Температура остаточных газов на номинальном режиме $T_r = 1040 \text{ K}$, тогда давление остаточных газов p_r , на номинальном скоростном режиме можно принять $p_{rN} = 0,11 \text{ МПа}$. А на остальных режимах проведем расчет по ниже приведенным формулам [1]:

$$A_p = \frac{(p_{rN} - p_0 \cdot 1,035) \cdot 10^8}{(n_N^2 \cdot p_0)} =$$

$$= \frac{(0,11 - 0,101 \cdot 1,035) \cdot 10^8}{(6000^2 \cdot 0,101)} = 0,1503 \quad (2.10)$$

$$p_r = p_0 \cdot (1,035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2) =$$

$$= 0,101 \cdot (1,035 + 0,1503 \cdot 10^{-8} \cdot 6000^2) = 0,11 \text{ МПа}. \quad (2.11)$$

Принимается $\Delta T_N = 10^\circ\text{C}$, тогда,

$$A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N), \quad (2.12)$$

следовательно ΔT :

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n). \quad (2.13)$$

Плотность заряда на впуске:

$$\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k); \text{ кг/м}^3.$$

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \left(\beta^2 + \xi_{ВП} \right) A_n^2 n^2 \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа}. \quad (2.14)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа.} \quad (2.15)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} p_r}{\varepsilon \varphi_{доз} p_a - \varphi_{оч} p_r}, \quad (2.16)$$

где $\varphi_{оч}$ – коэффициент очистки; $\varphi_{доз}$ – коэффициент дозарядки.

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r); \text{ К.} \quad (2.17)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \left(\varphi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \varphi_{оч} \cdot p_r \right) \quad (2.18)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \left[\left(\alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_B} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / \left[\kappa + \alpha \cdot l_0 \cdot p_a \right] \quad (M^3), \quad (2.19)$$

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

Объем рабочего тела, м ³	ΔT, °C	Δp _a , Мпа	p _a , Мпа	φ _{оч}	φ _{доз}	γ _r	T _a , К	η _v	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель ВАЗ с модернизированным ГРМ									
1,0209	24,6875	0,006783	0,093217	0,99	0,9	0,036197	347,1114	0,755371	900
1,04618	21,25	0,010275	0,089725	0,94	0,96	0,033024	341,6072	0,790464	2000
1,058665	16,5625	0,013004	0,086996	0,88	1,02	0,029779	335,1675	0,832584	3500
1,114729	11,875	0,0176995	0,0823	0,84	0,97	0,032173	333,8676	0,750205	5000
1,133133	10	0,019425	0,080575	0,8	0,95	0,031019	332,9951	0,722023	5600

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (2.20)$$

Значение показателя политропы сжатия:

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (2.21)$$

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} \quad \text{МПа} \quad (2.22)$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad \text{К} \quad (2.23)$$

Удельный объём, давление и температура рабочего тела в момент воспламенения, при угле опережения зажигания Θ ,

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{\lambda} \right\} - \left\langle \cos \Theta \right\rangle + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2} \left\langle \sin \Theta \right\rangle \right] \right]; \quad (2.24)$$

$$P_y = P_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1}; \text{МПа}; \quad T_y = T_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1-1}; \text{К}; \quad (2.25)$$

Результаты расчета процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Давление, температура и удельный объём в конце сжатия и

ВОСПЛАМЕНЕНИЯ:

Угол опережения зажигания °ПКВ	Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси	Показатель политропы сжатия	P_c , МПа	T_c , К	Частота вращения, мин ⁻¹	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
Двигатель ВАЗ с модернизированным ГРМ								
12	1,050601	1,3702	2,337381	828,9211	900	0,11026	1,967552	791,23
14	1,03894	1,374725	2,273893	824,503	2000	0,117763	1,80708	774,445
16	1,039063	1,37283	2,194925	805,3634	3500	0,124724	1,639063	743,95
19	1,038972	1,37496	2,086875	806,2679	5000	0,141498	1,405866	723,92
24	1,050855	1,37538	2,045133	804,9556	5600	0,164719	1,143217	686,809

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_u - 119950(\alpha - \alpha_0)}{H_u}, \quad (2.26)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

$$\xi = \delta * \Psi; \quad (2.27)$$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi * H_u}{(1 + \gamma_r)(\alpha * l_0 + 1)}; \text{ кДж/кг.} \quad (2.28)$$

$$E_2 = \left(0.002 \frac{\varepsilon}{V_a} \right) q_z; \text{ МПа} \quad (2.29)$$

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi \phi_1' - \psi \phi_2')}{K_{1-2} \psi \phi_1' - \psi \phi_2'}, \quad (2.30)$$

где

$$\psi(\varphi') = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \varphi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi'} \right) \right]; \quad (2.31)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (2.32)$$

Среднее значение доли топлива, сгоревшего на участке 1-2;

$$\Delta X_{1-2} = \frac{1}{2} \left[\exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (2.33)$$

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[76.7 - \left(13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (2.34)$$

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} \quad (2.35)$$

Средняя температура T_{1-2} на участке 1-2. Здесь температура T_2 определяется методом пробных подстановок.

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (2.36)$$

Температура газов в процессе сгорания:

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \Psi(\varphi'_2)}{P_y \Psi(\varphi'_2) \mu_{1-2}}, \quad (2.37)$$

где:

$$\Psi(\varphi'_2) = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (2.38)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) - \left[\cos(\varphi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\varphi'))^2}\right]; \quad (2.39)$$

Средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси.

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} - \mu_1 = 1 + \frac{\mu_{0\max} - 1 \left[1 - \exp\left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z}\right]^{m+1}\right]\right]}{1 + \gamma_r}. \quad (2.40)$$

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

$$\chi = 1 - \exp\left[-6.908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right]. \quad (2.41)$$

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

Степень использования теплоты	δ	Ψ	Частота вращения, мин ⁻¹	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	φ_z , град, ПКВ.	Показатель сгорания
Двигатель ВАЗ с модернизированным ГРМ							
0,91	1	0,91	900	2311,506	47,544497	34	2
0,9	1	0,9	2000	2291,177	45,990604	38	2.2
0,93	1	0,93	3500	2375,011	47,11143	42	2.4

0,95	1	0,95	5000	2420,459	45,59819	50	2.6
0,99	1	0,99	5600	2643,545	48,99202	54	2.8

Степень последующего расширения при V_z

$$\delta = V_a / V_z \quad (2.44)$$

Средний показатель политропы расширения:

$$n_2 = 1 + \frac{8.314}{23.7 + 0.0046 \left(\frac{1}{\delta^{n_1-1}} + 1 \right) \cdot T_z} ; \quad (2.45)$$

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа} ; \quad (2.46)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К} ; \quad (2.47)$$

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры в процессе расширения находят по следующим формулам:

$$V_{PT} = \frac{V_a}{\varepsilon} \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{1} \cdot \left(\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos \varphi_{PT} \right] + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi_{PT}} \right) \right] ; \quad (2.48)$$

$$P_{PT} = P_b \cdot \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2} ; \quad (2.49)$$

$$T_{PT} = T_b \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2 - 1}; \quad (2.50)$$

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} \quad \text{К} \quad (2.51)$$

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100 (T_r - T'_r)}{T_r} \% \quad (2.52)$$

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

Степень последующего расширения	$V_z, \text{ м}^3$	$T_z, \text{ К}$	$P_z, \text{ МПа}$	Частота вращения, мин ⁻¹	n_2	$P_b, \text{ МПа}$	$T_b, \text{ К}$	$T_r, \text{ К}$	$\Delta, \%$
Двигатель ВАЗ с модернизированным ГРМ									
8,48804	0,120284	3019,243	7,230007	900	1,177	0,58329	2067,555	1163,224	0,2779
7,27169	0,143871	2907,209	5,768566	2000	1,1796	0,55548	2035,725	1169,602	-0,034
6,50078	0,162852	2889,058	5,06501	3500	1,1795	0,55682	2064,706	1199,442	0,3717
5,63196	0,197929	2831,083	4,08341	5000	1,1804	0,53085	2072,834	1245,126	0,8199
5,79622	0,195495	3009,4	4,435073	5600	1,17476	0,56284	2213,654	1315,048	1,157

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций:

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} |V_{2i} - V_{1i}|; \quad (2.53)$$

Расчётное среднее индикаторное давление

$$P_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{\pi \cdot 1 \cdot \bar{V}_a}, \text{ МПа} \quad (2.54)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_V \cdot H_u} \quad (2.55)$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u} \cdot 10^3, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.56)$$

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

Средняя работа цикла, кДж	Частота вращения, мин ⁻¹	P _i , Мпа	N _i , кВт	η _i	g _i , г/кВт*ч
Двигатель ВАЗ с модернезированным ГРМ					
1,1718807	900	1,26863	14,27209	0,489426	167,4399
1,1166917	2000	1,17975	29,49376	0,456318	179,5886
1,1498939	3500	1,200507	52,5222	0,440856	185,8873
1,1350542	5000	1,125416	70,33848	0,458662	178,6709
1,2659878	5600	1,234851	86,43956	0,498398	164,4257

Предварительно задаемся ходом поршня $S = 75,6$ мм. Вычислим среднюю скорость поршня

$$v_{\text{п.ср.}} = \frac{S \cdot n}{30000} = \frac{75,6 \cdot 6000}{30000} = 15,12 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (2.57)$$

Среднее давление механических потерь

$$p_M = 0,024 + 0,0053 \cdot v_{\text{п.ср.}} = \quad (2.58)$$

$$= 0,024 + 0,0053 \cdot 15,12 = 0,104 \text{ МПа.}$$

Среднее эффективное давление и механический КПД

$$p_e = p_i - p_M = 1,195 - 0,104 = 1,091 \text{ МПа,} \quad (2.59)$$

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i} = \frac{1,091}{1,195} = 0,913. \quad (2.60)$$

Эффективный КПД и эффективный удельный расход топлива

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,395 \cdot 0,913 = 0,361; \quad (2.61)$$

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} = \frac{3600}{43,93 \cdot 0,361} = 227 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}. \quad (2.62)$$

Литраж двигателя $V_H = 1,6 \text{ л}$, задан по условию.

Рабочий объем одного цилиндра

$$V_h = \frac{V_H}{i} = \frac{1,6}{4} = 0,4 \text{ л.} \quad (2.63)$$

Диаметр цилиндра. Так как ход поршня предварительно был принят $S = 75,6 \text{ мм}$, то

$$D = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,4}{3,14 \cdot 0,988}} = 82 \text{ мм.} \quad (2.64)$$

Окончательно принимаем $D = 82$ мм и $S = 75,6$ мм.

Основные параметры и показатели двигателя определяются окончательно по принятым значениям D и S .

Площадь поршня

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 82^2}{4} = 59,96 \text{ см}^2. \quad (2.65)$$

Мощность двигателя

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{1,091 \cdot 1,6 \cdot 5600}{30 \cdot 4} = 91,8 \text{ кВт}. \quad (2.66)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3,14} \cdot \frac{91,8}{5600} = 108,8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.67)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e \cdot 10^{-3} = 75,8 \cdot 227 \cdot 10^{-3} = 17,23 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}. \quad (2.68)$$

Таблица 2.7 - Эффективные показатели двигателя

$V_{п.ср}$, м/с	P_m , Мпа	p_e , Мпа	η_m	η_e	g_e , г/(кВт.ч)	N_e , кВт	M_e , Н.м	G_T , кг/ч	Частота вращени я, мин ⁻¹
Двигатель ВАЗ с модернизированным ГРМ									
2,13	0,036	1,022	0,940988	0,3747	208	10,65	120,2	2,21	900
5,4	0,054	1,0183	0,919391	0,3985	204	49,31	117,3	9,84	2000
10	0,071	1,216	0,883067	0,3902	200	75,8	122,1	14,95	3500
16	0,104	1,091	0,794481	0,365	227	93,75	112,2	17,23	5000
13,25	0,115	1,216	0,757828	0,3638	238	91,8	108,8	18,92	5600

Результаты теплового расчета приведены в приложении А.

3 Расчет кинематики двигателя ВАЗ с модернизированным ГРМ

Премещение поршня[1, 6, 17].

$$S_x = R \left[-\cos \varphi + \frac{\lambda}{4} (-\cos 2\varphi) \right] \text{ мм.} \quad (3.1)$$

Скорость поршня

$$v_{\Pi} = \omega R \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \text{ м/с.} \quad (3.2)$$

Ускорения поршня

$$j = \omega^2 R \left[\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi \right] \text{ м/с}^2. \quad (3.3)$$

Результаты кинематического и динамического расчета выполненных в рамках курсового проектирования приведены в приложении Б.

4 Специальная часть

4.1 Описание конструкции модернизированного клапанного механизма

На основании проведенного анализа известных способов повышения эффективности процесса сгорания, предложена следующая концепция по модернизации клапанного механизма базового двигателя ВАЗ-11186: применение распределительного вала с большим ходом клапана, а также профилирование тарелки клапана позволившее повысить характеристики впускного сечения.

Результаты модернизации кратко представлены на рисунках 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 и более подробно на плакатах.

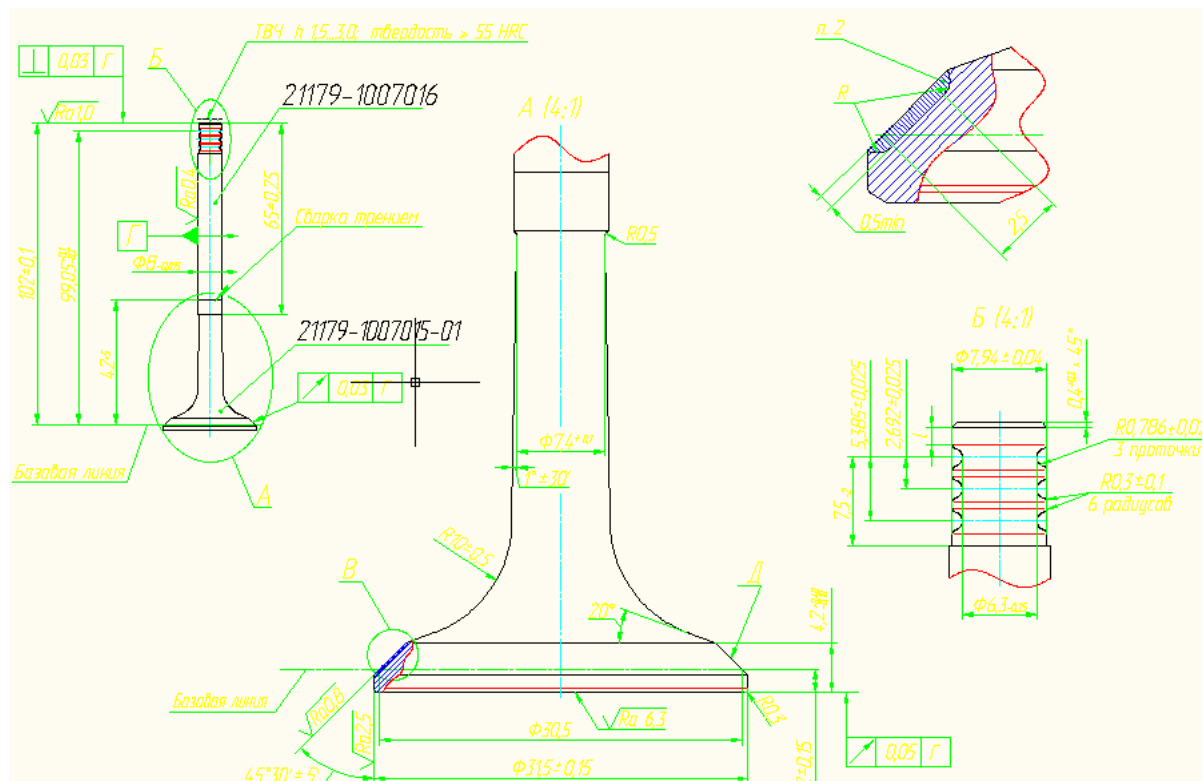


Рисунок 4.1 - Профилирование головки клапана

Предложено применение интерметаллидных клапанов, представляющих собой композиционный сплав на основе титана.



Рисунок 4.2 - Интерметаллидные клапаны

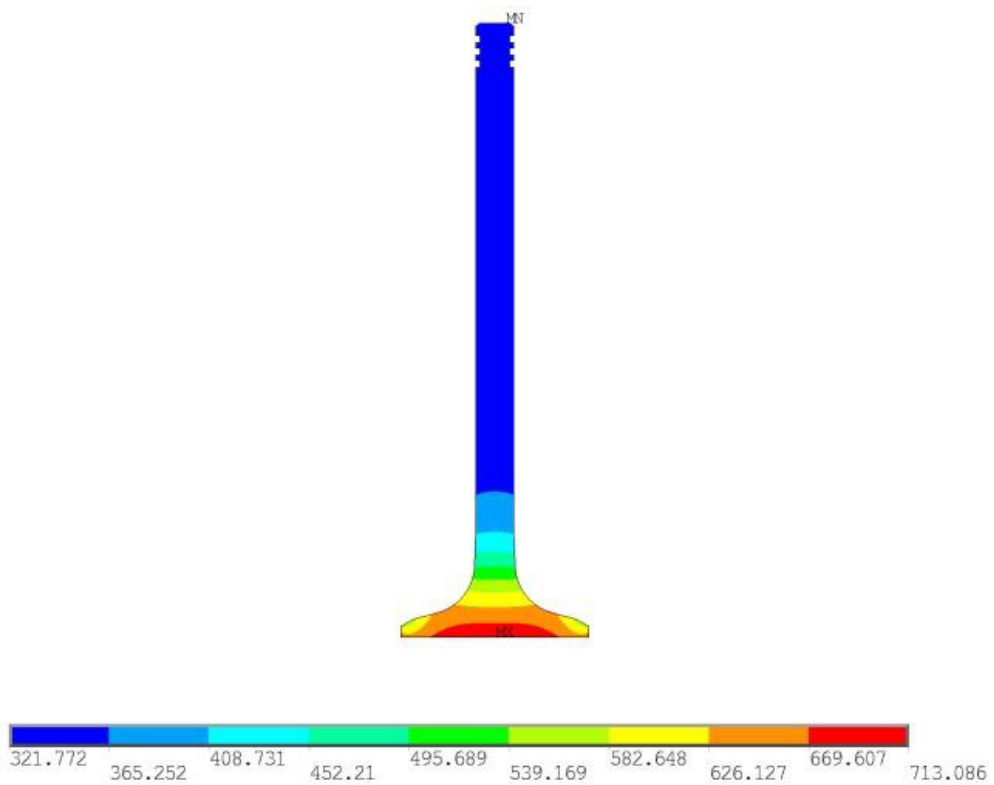


Рисунок 4.3 - Поле температур впускного клапана

Расчет основных температурных условий эксплуатации клапанной группы проводился в программной среде ANSYS, результаты моделирования представлены на рисунках 4.4 - 4.7 и на плакатах.

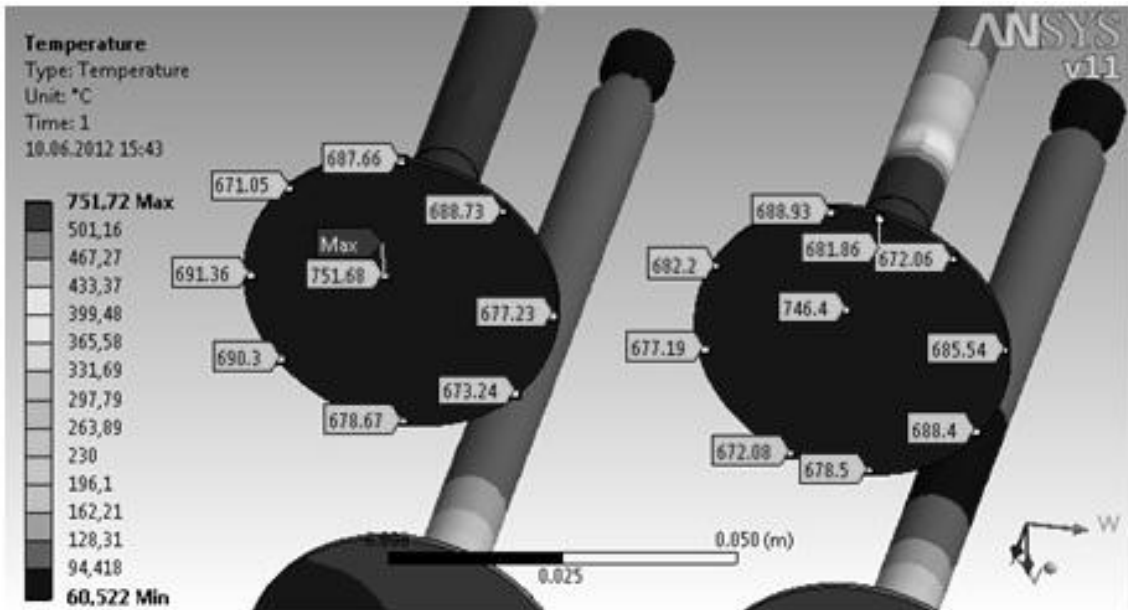


Рисунок 4.4 - Распределение температур на краях тарелей выпускных клапанов

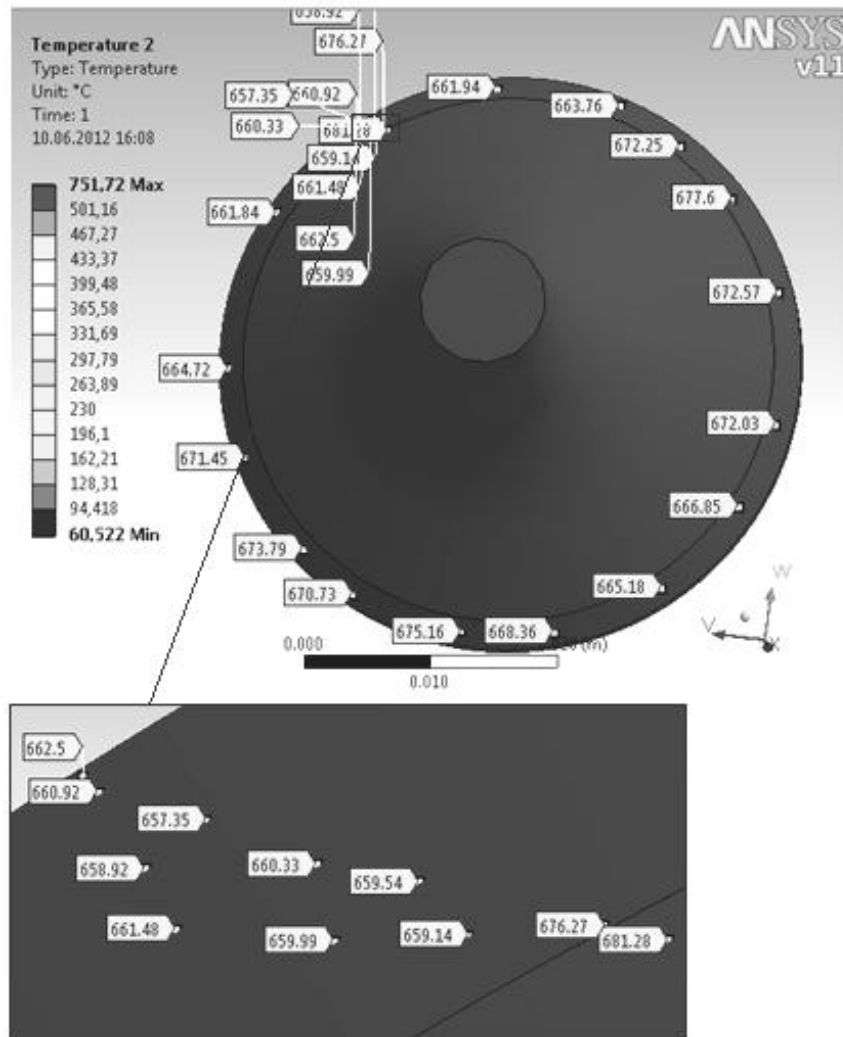


Рисунок 4.5 - Распределение температур на фаске выпускного клапана

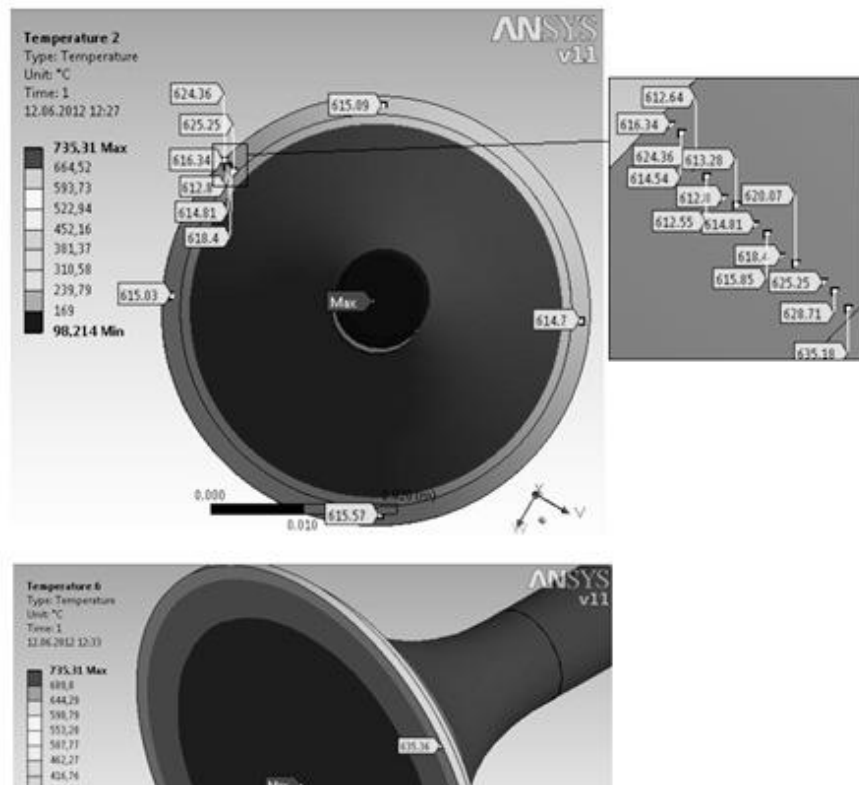


Рисунок 4.6 - Распределение температур клапана при использовании осесимметричных граничных условий

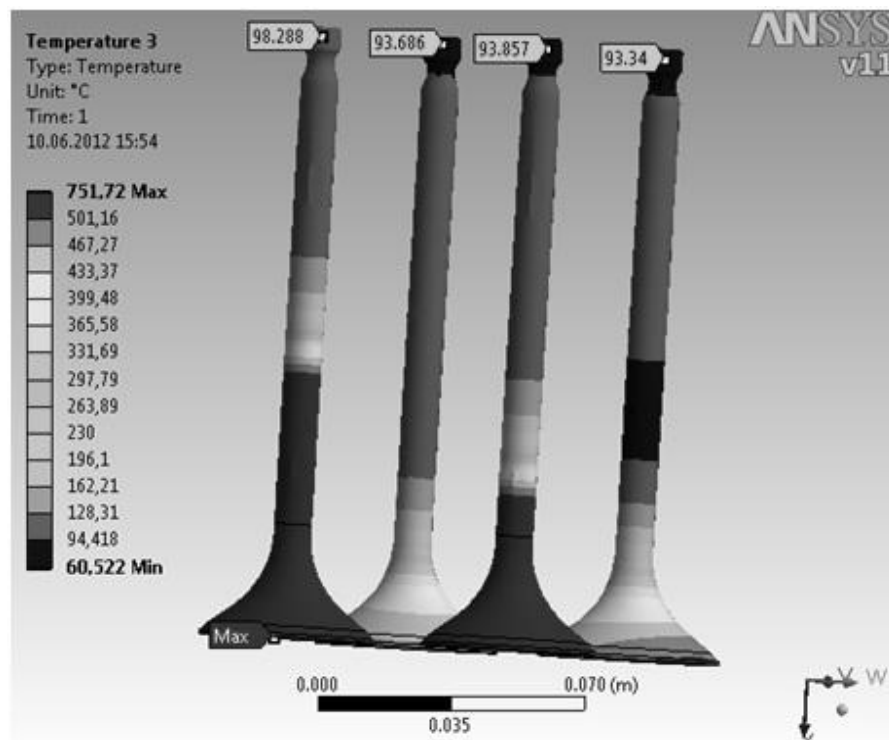


Рисунок 4.7 - Распределение температур во впускном и выпускном клапане

5 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

5.1 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов модернизированного двигателя ВАЗ

Основными результатами модернизации двигателя ВАЗ являлось модернизация клапанной группы и кулачков распределительного вала, что позволило улучшить наполнение цилиндров за счет увеличения времени сечения при впуске. Тем самым мы внесли изменения, влияющие на протекание процесса сгорания, а, следовательно, и на условия образования токсичных компонентов. Разберем это влияние подробнее:

СН – концентрация углеводородов в отработавших газах снижается за счет большей скорости сгорания за счет того, что в цилиндр вводится большее количество энергии, что позволяет лучше догорать СН за фронтом пламени и в пристеночной области. В случае увеличения зазора между вытеснителями до 1 мм в прогретом состоянии обеспечивается полное догорание смеси в данном зажатом объеме. Таким образом, обеспечивается снижение токсичности ОГ по СН на 15% по сравнению с базовыми показателями.

NO_x – токсичность по оксидам азота повышается, за счет повышения интенсивности процесса горения, что приводит к увеличению температуры и следовательно к большему образованию NO в процессе сгорания.

CO – токсичность по угарному газу снижается в связи с большей эффективностью и полнотой сгорания.

Условий для образования сажи и других твердых частиц при модернизации не появляется, следовательно, токсичность по нему будет равна нулю.

Снижение выбросов парникового газа будет достигаться за счет, повышения экономичности работы двигателя, из-за более высокой термической эффективности цикла обеспеченной повышенной интенсивностью процесса сгорания.

5.2 Шумность при работе модернизированного двигателя ВАЗ

Шум от элементов впускной системы может несколько возрасти, также, как и шум от протекания процесса сгорания, но в тоже время за счет большего теплоиспользования, энергетика выхлопных газов будет ниже, и, следовательно, и шум системы выпуска ОГ.

На шумность работы двигателя увеличение времени сечени впускных и выпускных каналов влияет, прежде всего тем, что скорости потока во впускных и выпускных каналах снижаются вследствие снижения гидравлических потерь на кромке клапана.

Следовательно, однозначного заключения о снижении или повышении шумности нельзя, а следует провести дополнительный анализ, расчет и эксперимент по данному направлению.

5.3 Эффективность применения модернизированного двигателя ВАЗ

Применение новой конструкции впускных каналов и изменение профиля кулачка с увеличением проходного сечения клапана, позволило несколько поднять коэффициент наполнения на малых и средних оборотах, чем на базовом двигателе. Это произошло за счет того, что проходное сечение каналов было увеличено практически на 10%, что улучшило газодинамическую картину при впуске. Высокие скорости потока в процессе впуска создают в цилиндре двигателя высокую турбулентность потока, что способствует хорошему перемешиванию смеси, тем самым, повышая её гомогенность, что улучшает протекание процесса горения. Применение новой системы впуска позволило создать в цилиндре двигателя хорошо сформировавшуюся структуру потока с вихревым движением по вертикальной плоскости. Что выгодно отличает его от базового двигателя, в котором вихревое движение потока практически отсутствовало. В процессе сжатия за счёт более организованного движения заряда, а также увеличенной

площадью вытеснителей удалось достигнуть высокого уровня турбулентности потока, при этом вытеснители повышают турбулентность потока именно в удалённых от свечи зажигания областях камеры сгорания, тем самым улучшая процесс сгорания топлива именно в заключительной фазе горения, что способствует уменьшению концентрации в отработавших газах несгоревших углеводородов.

5.4 Выводы по разделу безопасность и экологичность

Предложенная модернизация соответствует задачам развития двигателестроения и позволяет улучшить некоторые показатели по токсичности и эффективности рабочего процесса. Так выполнено снижение токсичности в отработавших газах по несгоревшим углеводородам (СН) и оксидам углерода (СО) при некотором увеличении по оксидам азота.

При этом получено повышение эффективности рабочего процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчетов, теплового, кинематического, динамического, были получены следующие основные параметры необходимые для проектирования четырехцилиндрового бензинового двигателя рабочим объемом 1,5 с модернизированными элементами ГРМ

Получено в результате модернизации следующие характеристики:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 220 г/кВт*ч, при снижении на 15%;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600$ мин⁻¹ 56 кВт;
- снижение токсичности в отработавших газах по СН и СО, также произойдет снижение на выбросов парникового газа СО₂.

В разделе безопасность и экологичность проведена оценка токсичности и шума спроектированного двигателя, показано улучшение экологических характеристик.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ А.И.Колчин, В.П.Демидов // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
2. Кноп, V. Modeling of combustion and nitrogen oxide formation in hydrogen-fuelled internal combustion engines within a 3D CFD code [Текст]/ V. Кноп, A. Benkenida, S. Jay, O. Colin // International Journal of Hydrogen Energy -2008.
3. Polasek, M. Application of advanced simulation methods and their combination with experiments to modeling of hydrogen fueled engine emission potentials [Текст]/ M. Polasek, J. Macek, M. Takats, O. Vitek // SAE. - 2002. - №2002-01-0373.
4. Verhelst, S. A critical review of experimental research on hydrogen fueled SI engines [Текст]/ S. Verhelst, R. Sierens, S. Verstraeten // SAE. - 2006. - №2006-01-0430.
5. Beran, R. Entwicklung des H17/24G - Dem erstenkoreanischenGasmotor [Текст]/ R.Beran, T.Baufeld, H.Philipp, J. T. Kim, J. S.Kim // in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007
6. Bonnevie-Svendsen, A.Double-Vibe-Model for heat release in lean burn gas engines with prechamber ignition[Текст]/A.Bonnevie-Svendsen, K.Boulouchos, Ch.Lämmle, I.Vlacos // in: 6. DessauerGasmotoren-Konferenz. Dessau-Roßlau. 2009
7. Макаренко Н.В. Мастеру об охране труда [Текст]/ Н.В.Макаренко//«Машиностроение» - Москва: 1990. - 128 с.
8. Сидоров В.В. Положение о Мастере основного производственного цеха [Текст] / В.В. Сидоров // ОАО АвтоВаз– Тольятти: 2003.
9. Смоленский, В.В. Автомобильные двигатели: курс лекций [Текст]/В.В. Смоленский. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 183 с.

- 10.Крючков, В. Разбираем новый 1,8-литровый двигатель 21179 [Электронный ресурс]: В. Крючков / Интернет издание «За рулем.рф». - автомобильный журн. — Москва: 1998-2016. – Режим доступа: <http://www.zr.ru/content/articles/834887-novyj-18-litrovyj-dvigatel-vaz-21179>(дата обращения 29.05.18)
- 11.ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления [Текст]. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
- 12.Rory, R. D.The Ball Piston Engine: A New Concept in High Efficient Power Machines[Текст] / R. D. Rory // Convergence Eng. Corporation.
- 13.Huan,L.Study of air fuel ratio on engine performance of direct injection hydrogen fueled engine [Текст] / L. Huan //Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 26600 Pekan, Pahang, Malaysia 2016-PP.13-21
- 14.Carbot-Rojas, D. A survey on modeling, biofuels, control and supervision systems applied in internal combustion engines [Текст] /D.A. Carbot-Rojas , R.F. Escobar-Jiménez, J.F. Gómez-Aguilar, A.C. Téllez-Anguiano // InstitutoTecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán, CP 58120, Mexico 2017-PP.21-26
- 15.Renegar, D.C. The Quasiturbine[Текст] / D.C. Renegar // USA Patent No:6629065 September 12th 2003
- 16.Akmandor, I.S. Novel Thermodynamic Cycle[Текст]/I.S.Akmandor, N.Ersöz// PTC, WO, 2004. 022919 AI. (March 18th 2004)
- 17.Haywood, R.W. A Critical Review of Theorems of Thermodynamics Availability [Текст] // R.W. Haywood / J. Mech. Eng. Sci. vol.16 MIT Press, 1970.
- 18.Clarke, J. M. Thermodynamic Cycle Requirements for Very High Rotational Efficiencies[Текст] / J. M. Clarke // J. Mech. Eng. Sci. 1974
- 19.Stephen, R. T. An Introduction to Combustion[Текст] / R.T.Stephen // McGraw-Hill Series in Mech. Eng. 1996.

20. Baumeister, T. Mark's Standard Handbook for M. Engineer[Текст] / T Baumeister // McGraw- Hill Inc., New York, 1966.
21. Fuller, D.D. Theory and Practice of Lubrication for Engineers[Текст] / D.D. Fuller // John Wiley & Sons Inc., New York, 1966
22. Shamekhi, A.H. A Comprehensive Comparative Investigation of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel in a Bi-Fuel Spark Ignition Engine / A.H. Shamekhi, N. Khatibzadeh, A. Shamekhi // Iran. J. Chem. Chem. Eng. Vol. 27, No.1, 2008. - p. 73-83.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 - Исходные данные для теплового расчета

Объем рабочего тела, м ³	Продолжительность процесса сгорания	Коэффициент избытка воздуха	Степень сжатия	Коэффициент молекулярного изменения смеси	P _y	T _y	Угол опережения зажигания	Полно-та сгорания топлива	E ₂ , МПа	Коэффициент остаточных газов	λ	Показатель характера сгорания	Частота вращения КВ
1,000492	40	1	10,5	1,060488	1,823871	767,52	15	0,81	43,98798	0,043126	0,26	3.1	900
1,033941	48	1	10,5	1,050596	1,469604	722,15	20	0,86	46,40438	0,036289	0,26	3.2	2600
1,067569	55	1	10,5	1,050718	1,267603	697,78	23	0,96	50,28953	0,033797	0,26	3.3	3700
1,079382	58	1	10,5	1,050909	1,098591	665,27	26	0,97	50,44589	0,029931	0,26	3.4	5000
1,122965	62	1	10,5	1,050917	0,977444	652,08	28	0,94	49,49647	0,029751	0,26	3.5	5600

Таблица А.2 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ с модернизированным ГРМ при n = 900 мин⁻¹

Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m ₁₋₂	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологае-мая/, К	Температура действитель-ная	Удельный объем	s	y (f1)
9,3E-07	770,6636			1,9E-06	1,824	1	1	0	0	-15	767,5393	767,5393	0,11538	0,0439	1,2085
1,5E-05	776,935	1,3585	6,5784	3E-05	1,88033	1	1	1,87E-06	1	-14	773,7878	773,7878	0,11283	0,0383	1,1819
6,8E-05	783,4272	1,3577	6,591	0,00014	1,93639	1	1	3,2E-05	2	-13	780,0822	780,0822	0,11046	0,0331	1,157
0,00019	790,5722	1,3569	6,6039	0,00038	1,99277	1	1	0,000169	3	-12	786,7722	786,7721	0,10825	0,0282	1,1339
0,00041	798,9664	1,356	6,618	0,00082	2,05053	1	1	0,000549	4	-11	794,3722	794,3719	0,10622	0,0237	1,1126
0,00076	809,3673	1,355	6,6343	0,00152	2,11125	1,0001	1	0,001369	5	-10	803,5607	803,5602	0,10436	0,0196	1,0932
0,00127	822,6824	1,3537	6,6543	0,00254	2,17701	1,0001	1,0001	0,002889	6	-9	815,1739	815,1729	0,10268	0,0159	1,0755
0,00197	839,9493	1,3522	6,6794	0,00394	2,25042	1,0003	1,0002	0,005428	7	-8	830,1908	830,1892	0,10117	0,0126	1,0597
0,00288	862,304	1,3502	6,7111	0,00577	2,33446	1,0005	1,0004	0,009366	8	-7	849,7079	849,7052	0,09984	0,0096	1,0457
0,00404	890,9353	1,3478	6,7507	0,00808	2,43245	1,0008	1,0006	0,015135	9	-6	874,9001	874,8957	0,09868	0,0071	1,0336
0,00545	927,0292	1,3449	6,7994	0,01091	2,54778	1,0012	1,001	0,023217	10	-5	906,9706	906,9637	0,0977	0,0049	1,0234
0,00714	971,7012	1,3414	6,8575	0,01427	2,68378	1,0017	1,0014	0,034127	11	-4	947,0879	947,0775	0,0969	0,0031	1,015
0,00908	1025,923	1,3376	6,9249	0,01816	2,84337	1,0024	1,0021	0,048397	12	-3	996,3145	996,2995	0,09627	0,0018	1,0084

Продолжение таблицы А.2

Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предлогае-мая/, К	Температура действующая	Удельный объем	s	y (f1)
0,01128	1090,449	1,3333	7,0007	0,02255	3,02885	1,0033	1,0029	0,066558	13	-2	1055,532	1055,511	0,09583	0,0008	1,0037
0,01369	1165,739	1,3288	7,0833	0,02737	3,24157	1,0045	1,0039	0,089109	14	-1	1125,366	1125,337	0,09556	0,0002	1,0009
0,01627	1251,894	1,3241	7,1705	0,03253	3,48173	1,0059	1,0052	0,116484	15	0	1206,112	1206,075	0,09547	0	1
0,01894	1348,593	1,3195	7,2602	0,03788	3,74813	1,0075	1,0067	0,149015	16	1	1297,675	1297,627	0,09556	0,0002	1,0009
0,02162	1455,053	1,315	7,3497	0,04323	4,03803	1,0094	1,0084	0,186894	17	2	1399,512	1399,451	0,09583	0,0008	1,0037
0,02419	1569,996	1,3107	7,4369	0,04838	4,34708	1,0116	1,0105	0,230128	18	3	1510,595	1510,518	0,09627	0,0018	1,0084
0,02654	1691,652	1,3067	7,52	0,05307	4,66932	1,014	1,0128	0,278508	19	4	1629,397	1629,301	0,0969	0,0031	1,015
0,02852	1817,795	1,3032	7,5973	0,05705	4,99735	1,0167	1,0153	0,331579	20	5	1753,907	1753,789	0,0977	0,0049	1,0234
0,03003	1945,813	1,2999	7,6679	0,06006	5,3226	1,0195	1,0181	0,388626	21	6	1881,682	1881,541	0,09868	0,0071	1,0336
0,03094	2072,828	1,2971	7,7311	0,06187	5,63572	1,0226	1,021	0,448681	22	7	2009,944	2009,775	0,09984	0,0096	1,0457
0,03116	2195,841	1,2947	7,7865	0,06233	5,92712	1,0257	1,0241	0,510554	23	8	2135,711	2135,514	0,10117	0,0126	1,0597
0,03066	2311,92	1,2927	7,8341	0,06132	6,1876	1,0288	1,0272	0,572881	24	9	2255,97	2255,745	0,10268	0,0159	1,0755
0,02943	2418,389	1,2909	7,8741	0,05886	6,409	1,0319	1,0303	0,634205	25	10	2367,869	2367,616	0,10436	0,0196	1,0932
0,02752	2513,013	1,2896	7,9069	0,05505	6,58477	1,0348	1,0334	0,693068	26	11	2468,909	2468,63	0,10622	0,0237	1,1126
0,02504	2594,151	1,2885	7,933	0,05009	6,71053	1,0376	1,0362	0,748117	27	12	2557,117	2556,815	0,10825	0,0282	1,1339
0,02213	2660,861	1,2876	7,9531	0,04427	6,78435	1,0401	1,0389	0,798203	28	13	2631,185	2630,863	0,11046	0,0331	1,157
0,01897	2712,94	1,287	7,9678	0,03795	6,80684	1,0423	1,0412	0,842472	29	14	2690,538	2690,202	0,11283	0,0383	1,1819
0,01574	2750,884	1,2866	7,978	0,03149	6,78094	1,0443	1,0433	0,880418	30	15	2735,342	2734,994	0,11538	0,0439	1,2085
0,01262	2775,795	1,2864	7,9844	0,02525	6,71158	1,0458	1,045	0,911906	31	16	2766,427	2766,072	0,11809	0,0499	1,237
0,00976	2789,222	1,2862	7,9875	0,01953	6,60509	1,0471	1,0465	0,937155	32	17	2785,163	2784,805	0,12097	0,0562	1,2671
0,00727	2792,981	1,2862	7,9882	0,01453	6,46851	1,0481	1,0476	0,956681	33	18	2793,281	2792,923	0,12402	0,063	1,2991
0,00519	2788,966	1,2862	7,987	0,01039	6,309	1,0488	1,0485	0,971215	34	19	2792,68	2792,324	0,12723	0,07	1,3327
0,00356	2778,993	1,2864	7,9844	0,00712	6,13329	1,0493	1,0491	0,981604	35	20	2785,253	2784,901	0,13061	0,0775	1,3681
0,00233	2764,668	1,2865	7,9807	0,00466	5,94726	1,0497	1,0495	0,988721	36	21	2772,733	2772,387	0,13414	0,0853	1,4051
0,00146	2747,327	1,2867	7,9764	0,00291	5,75575	1,0499	1,0498	0,993382	37	22	2756,603	2756,265	0,13784	0,0934	1,4438
0,00087	2728,006	1,2869	7,9715	0,00173	5,56254	1,0501	1,05	0,996294	38	23	2738,05	2737,719	0,14169	0,1019	1,4842
0,00049	2707,466	1,2871	7,9663	0,00098	5,37038	1,0502	1,0501	0,998024	39	24	2717,962	2717,639	0,1457	0,1108	1,5262
0,00026	2686,233	1,2873	7,9609	0,00052	5,1812	1,0502	1,0502	0,999	40	25	2696,97	2696,655	0,14987	0,12	1,5698

Таблица А.3 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ с модернизированным ГРМ при $n = 3700 \text{ мин}^{-1}$

Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$
1,1E-07	701,3135			2,27E-07	1,26777	1	1	0	0	-23	697,7438	697,7438	0,1509	0,1019	1,4842
2,1E-06	708,4559	1,36837	6,42938	4,24E-06	1,31655	1	1	2,27E-07	1	-22	704,8833	704,8834	0,1468	0,0934	1,4438
1,1E-05	715,6357	1,36726	6,44569	2,11E-05	1,36654	1	1	4,47E-06	2	-21	712,0284	712,0289	0,1429	0,0853	1,4051
3,1E-05	722,9387	1,36618	6,46185	6,25E-05	1,41776	1	1	2,56E-05	3	-20	719,2429	719,2441	0,1391	0,0775	1,3681
7,1E-05	730,4958	1,36509	6,47807	0,000142	1,47033	1	1	8,8E-05	4	-19	726,6344	726,6367	0,1355	0,07	1,3327
0,00014	738,4864	1,36399	6,49463	0,000273	1,52446	1,00001	1,00001	0,00023	5	-18	734,3573	734,361	0,1321	0,063	1,2991
0,00024	747,1402	1,36285	6,5119	0,000473	1,58046	1,00003	1,00002	0,000503	6	-17	742,6156	742,6214	0,1288	0,0562	1,2671
0,00038	756,7382	1,36164	6,53032	0,000757	1,63879	1,00005	1,00004	0,000976	7	-16	751,6647	751,6732	0,1258	0,0499	1,237
0,00057	767,6131	1,36033	6,55043	0,001141	1,70004	1,00009	1,00007	0,001733	8	-15	761,8117	761,8237	0,1229	0,0439	1,2085
0,00082	780,1466	1,35889	6,5728	0,001643	1,76496	1,00015	1,00012	0,002873	9	-14	773,4144	773,4312	0,1202	0,0383	1,1819
0,00114	794,7665	1,35727	6,59804	0,00228	1,83445	1,00023	1,00019	0,004517	10	-13	786,8787	786,9019	0,1176	0,0331	1,157
0,00153	811,9408	1,35544	6,62678	0,003069	1,90953	1,00034	1,00029	0,006797	11	-12	802,6543	802,686	0,1153	0,0282	1,1339
0,00201	832,1692	1,35338	6,6596	0,004025	1,99138	1,0005	1,00042	0,009866	12	-11	821,2272	821,2707	0,1131	0,0237	1,1126
0,00258	855,9735	1,35106	6,697	0,005163	2,08127	1,0007	1,0006	0,01389	13	-10	843,1112	843,1706	0,1111	0,0196	1,0932
0,00325	883,8841	1,34847	6,73935	0,006496	2,18051	1,00097	1,00084	0,019053	14	-9	868,8358	868,9165	0,1094	0,0159	1,0755
0,00402	916,4257	1,34561	6,78687	0,008033	2,29044	1,0013	1,00113	0,025549	15	-8	898,9323	899,042	0,1077	0,0126	1,0597
0,00489	954,1014	1,34249	6,83954	0,009782	2,41234	1,0017	1,0015	0,033582	16	-7	933,9191	934,0671	0,1063	0,0096	1,0457
0,00587	997,3748	1,33915	6,89715	0,011744	2,54737	1,0022	1,00195	0,043364	17	-6	974,2837	974,4823	0,1051	0,0071	1,0336
0,00696	1046,652	1,33561	6,95923	0,013915	2,69649	1,00279	1,0025	0,055108	18	-5	1020,466	1020,73	0,104	0,0049	1,0234
0,00814	1102,265	1,33194	7,02511	0,016287	2,8604	1,0035	1,00315	0,069023	19	-4	1072,839	1073,186	0,1032	0,0031	1,015
0,00942	1164,451	1,32819	7,09397	0,018842	3,03943	1,00433	1,00391	0,08531	20	-3	1131,691	1132,143	0,1025	0,0018	1,0084
0,01078	1233,336	1,32442	7,16483	0,021556	3,23351	1,00528	1,0048	0,104153	21	-2	1197,21	1197,788	0,1021	0,0008	1,0037
0,0122	1308,919	1,32068	7,23669	0,024393	3,44208	1,00638	1,00583	0,125709	22	-1	1269,462	1270,19	0,1018	0,0002	1,0009
0,01366	1391,054	1,31703	7,30854	0,02731	3,66407	1,00761	1,00699	0,150101	23	0	1348,376	1349,279	0,1017	0	1
0,01513	1479,439	1,31351	7,3794	0,030256	3,89782	1,009	1,00831	0,177412	24	1	1433,732	1434,832	0,1018	0,0002	1,0009
0,01658	1573,602	1,31015	7,44841	0,033167	4,14114	1,01053	1,00977	0,207668	25	2	1525,146	1526,464	0,1021	0,0008	1,0037

Продолжение таблицы А.3

Доля выделенного на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологае-мая/, К	Температура дейст-витель-ная	Удельный объем	s	$y(f1)$
0,01799	1672,897	1,30699	7,51481	0,035975	4,39126	1,01221	1,01137	0,240835	26	3	1622,059	1623,612	0,1025	0,0018	1,0084
0,0193	1776,502	1,30404	7,57798	0,038604	4,64489	1,01404	1,01313	0,27681	27	4	1723,736	1725,538	0,1032	0,0031	1,015
0,02049	1883,425	1,30132	7,63744	0,040974	4,89829	1,016	1,01502	0,315414	28	5	1829,269	1831,326	0,104	0,0049	1,0234
0,0215	1992,515	1,29883	7,69283	0,043006	5,14738	1,01808	1,01704	0,356389	29	6	1937,581	1939,895	0,1051	0,0071	1,0336
0,02231	2102,491	1,29656	7,74391	0,04462	5,3878	1,02026	1,01917	0,399394	30	7	2047,45	2050,019	0,1063	0,0096	1,0457
0,02287	2211,966	1,29453	7,79056	0,045748	5,61515	1,02252	1,02139	0,444015	31	8	2157,532	2160,347	0,1077	0,0126	1,0597
0,02317	2319,492	1,29271	7,83274	0,046331	5,82507	1,02484	1,02368	0,489763	32	9	2266,4	2269,449	0,1094	0,0159	1,0755
0,02316	2423,603	1,2911	7,87047	0,046325	6,01344	1,02719	1,02601	0,536094	33	10	2372,584	2375,849	0,1111	0,0196	1,0932
0,02285	2522,871	1,28969	7,90386	0,045708	6,17659	1,02954	1,02836	0,582419	34	11	2474,623	2478,085	0,1131	0,0237	1,1126
0,02224	2615,956	1,28847	7,93306	0,044479	6,31139	1,03186	1,0307	0,628127	35	12	2571,119	2574,758	0,1153	0,0282	1,1339
0,02133	2701,662	1,28743	7,95824	0,042662	6,41545	1,03411	1,03299	0,672606	36	13	2660,793	2664,584	0,1176	0,0331	1,157
0,02015	2778,986	1,28655	7,97963	0,040307	6,48721	1,03628	1,0352	0,715267	37	14	2742,532	2746,452	0,1202	0,0383	1,1819
0,01874	2847,157	1,28582	7,99749	0,037486	6,52599	1,03832	1,0373	0,755574	38	15	2815,44	2819,466	0,1229	0,0439	1,2085
0,01715	2905,666	1,28522	8,01207	0,034294	6,53204	1,04022	1,03927	0,79306	39	16	2878,873	2882,981	0,1258	0,0499	1,237
0,01542	2954,283	1,28475	8,02365	0,030837	6,50648	1,04196	1,04109	0,827354	40	17	2932,458	2936,627	0,1288	0,0562	1,2671
0,01362	2993,056	1,28439	8,03252	0,027234	6,45123	1,04353	1,04274	0,858191	41	18	2976,107	2980,317	0,1321	0,063	1,2991
0,0118	3022,297	1,28413	8,03897	0,023604	6,36892	1,04491	1,04422	0,885426	42	19	3010,005	3014,238	0,1355	0,07	1,3327
0,01003	3042,551	1,28396	8,04327	0,020058	6,26267	1,0461	1,04551	0,909029	43	20	3034,589	3038,829	0,1391	0,0775	1,3681
0,00835	3054,553	1,28386	8,04572	0,016697	6,136	1,04712	1,04661	0,929087	44	21	3050,512	3054,744	0,1429	0,0853	1,4051
0,0068	3059,182	1,28383	8,04658	0,013604	5,99256	1,04797	1,04755	0,945784	45	22	3058,595	3062,806	0,1468	0,0934	1,4438
0,00542	3057,399	1,28385	8,04609	0,010837	5,83603	1,04866	1,04831	0,959388	46	23	3059,769	3063,95	0,1509	0,1019	1,4842
0,00422	3050,198	1,28391	8,04448	0,008433	5,66991	1,04921	1,04893	0,970225	47	24	3055,028	3059,169	0,1552	0,1108	1,5262
0,0032	3038,555	1,28401	8,04195	0,006403	5,49746	1,04964	1,04942	0,978658	48	25	3045,368	3049,462	0,1596	0,12	1,5698
0,00237	3023,386	1,28414	8,0387	0,004738	5,32152	1,04996	1,0498	0,98506	49	26	3031,743	3035,784	0,1642	0,1295	1,615
0,00171	3005,513	1,2843	8,03488	0,003415	5,14455	1,0502	1,05008	0,989799	50	27	3015,028	3019,014	0,169	0,1393	1,6618
0,0012	2985,65	1,28447	8,03062	0,002393	4,96855	1,05037	1,05029	0,993213	51	28	2995,997	2999,922	0,1739	0,1495	1,7101
0,00081	2964,392	1,28466	8,02604	0,001629	4,79511	1,0505	1,05043	0,995606	52	29	2975,303	2979,166	0,1789	0,16	1,7599
0,00054	2942,217	1,28485	8,02121	0,001076	4,62541	1,05058	1,05054	0,997235	53	30	2953,481	2957,281	0,1842	0,1708	1,8113
0,00034	2919,496	1,28505	8,0162	0,000689	4,46031	1,05063	1,05061	0,998311	54	31	2930,953	2934,689	0,1895	0,1819	1,8641
0,00021	2896,508	1,28526	8,01108	0,000427	4,30039	1,05067	1,05065	0,999	55	32	2908,04	2911,712	0,195	0,1933	1,9184

Таблица А.4 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ с модернизированным ГРМ при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К					Коэффициент молекулярного изменения смеси		Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)
		k1-2	K1-2	DX1-2	Давление		m_{1-2}								
6E-08	668,86			1,2E-07	1,09876	1	1	0	0	-26	665,307	665,307	0,166	0,1295	1,615
1,2E-06	675,982	1,37367	6,352278	2,42E-06	1,14247	1	1	1,2E-07	1	-25	672,413	672,413	0,1614	0,12	1,5698
6,3E-06	683,157	1,37246	6,369642	1,26E-05	1,1876	1	1	2,54E-06	2	-24	679,551	679,553	0,1569	0,1108	1,5262
1,9E-05	690,442	1,37127	6,386886	3,85E-05	1,23417	1	1	1,51E-05	3	-23	686,763	686,767	0,1526	0,1019	1,4842
4,5E-05	697,923	1,37009	6,404142	8,95E-05	1,28227	1	1,000002	5,36E-05	4	-22	694,12	694,127	0,1484	0,0934	1,4438
8,8E-05	705,726	1,36889	6,421613	0,000176	1,33205	1,00001	1,000005	0,000143	5	-21	701,726	701,738	0,1444	0,0853	1,4051
0,00015	714,014	1,36768	6,439572	0,00031	1,38374	1,00002	1,000012	0,000319	6	-20	709,726	709,744	0,1406	0,0775	1,3681
0,00025	722,99	1,36641	6,458358	0,000503	1,43764	1,00003	1,000024	0,000629	7	-19	718,302	718,327	0,137	0,07	1,3327
0,00038	732,898	1,36507	6,478379	0,000768	1,49418	1,00006	1,000045	0,001131	8	-18	727,677	727,713	0,1335	0,063	1,2991
0,00056	744,024	1,36363	6,500095	0,001118	1,55388	1,0001	1,000077	0,001899	9	-17	738,118	738,167	0,1303	0,0562	1,2671
0,00078	756,696	1,36206	6,524012	0,001568	1,61738	1,00015	1,000125	0,003017	10	-16	749,931	749,996	0,1272	0,0499	1,237
0,00107	771,276	1,36032	6,550655	0,002132	1,68545	1,00023	1,000194	0,004586	11	-15	763,461	763,549	0,1242	0,0439	1,2085
0,00141	788,162	1,35839	6,580553	0,002822	1,75899	1,00034	1,000288	0,006717	12	-14	779,091	779,207	0,1215	0,0383	1,1819
0,00183	807,78	1,35624	6,614198	0,003653	1,83896	1,00049	1,000414	0,00954	13	-13	797,234	797,388	0,1189	0,0331	1,157
0,00232	830,574	1,35386	6,652018	0,004638	1,92647	1,00067	1,000579	0,013193	14	-12	818,327	818,529	0,1166	0,0282	1,1339
0,00289	857,002	1,35123	6,694334	0,005786	2,02265	1,00091	1,00079	0,017831	15	-11	842,822	843,088	0,1144	0,0237	1,1126
0,00355	887,517	1,34835	6,74133	0,007108	2,12868	1,0012	1,001055	0,023617	16	-10	871,181	871,527	0,1124	0,0196	1,0932
0,00431	922,566	1,34524	6,793022	0,008611	2,2457	1,00156	1,001383	0,030725	17	-9	903,854	904,303	0,1106	0,0159	1,0755
0,00515	962,566	1,34192	6,84924	0,010298	2,37479	1,002	1,001783	0,039335	18	-8	941,278	941,856	0,1089	0,0126	1,0597
0,00609	1007,9	1,33843	6,909623	0,012171	2,51691	1,00253	1,002265	0,049634	19	-7	983,854	984,592	0,1075	0,0096	1,0457
0,00711	1058,89	1,3348	6,973634	0,014224	2,67282	1,00315	1,002837	0,061805	20	-6	1031,94	1032,87	0,1063	0,0071	1,0336
0,00822	1115,79	1,33109	7,040583	0,016447	2,843	1,00387	1,003508	0,076029	21	-5	1085,83	1087	0,1052	0,0049	1,0234
0,00941	1178,79	1,32735	7,109667	0,018826	3,02765	1,00471	1,004289	0,092476	22	-4	1145,75	1147,2	0,1043	0,0031	1,015
0,01067	1247,97	1,32362	7,180014	0,021336	3,22656	1,00567	1,005187	0,111301	23	-3	1211,83	1213,6	0,1037	0,0018	1,0084
0,01197	1323,3	1,31996	7,25073	0,023948	3,4391	1,00675	1,006209	0,132637	24	-2	1284,11	1286,24	0,1032	0,0008	1,0037
0,01331	1404,61	1,31641	7,320947	0,026624	3,66418	1,00797	1,007362	0,156585	25	-1	1362,48	1365,03	0,1029	0,0002	1,0009
0,01466	1491,64	1,313	7,389852	0,02932	3,90018	1,00933	1,008649	0,18321	26	0	1446,75	1449,74	0,1028	0	1
0,01599	1583,95	1,30975	7,456723	0,031982	4,14502	1,01082	1,010073	0,21253	27	1	1536,54	1540,01	0,1029	0,0002	1,0009

Продолжение таблицы А.4

Доля выделенного на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)
0,01728	1680,95	1,3067	7,520939	0,034552	4,39607	1,01245	1,011634	0,244512	28	2	1631,36	1635,34	0,1032	0,0008	1,0037
0,01848	1781,92	1,30386	7,581995	0,036966	4,65027	1,01421	1,013327	0,279064	29	3	1730,55	1735,05	0,1037	0,0018	1,0084
0,01958	1885,99	1,30123	7,639496	0,039156	4,90414	1,01609	1,015148	0,31603	30	4	1833,3	1838,34	0,1043	0,0031	1,015
0,02053	1992,12	1,29881	7,693154	0,041054	5,15388	1,01808	1,017085	0,355186	31	5	1938,67	1944,24	0,1052	0,0049	1,0234
0,0213	2099,2	1,29661	7,74278	0,042593	5,39546	1,02017	1,019127	0,39624	32	6	2045,58	2051,67	0,1063	0,0071	1,0336
0,02186	2206	1,29463	7,788268	0,043713	5,62475	1,02234	1,021256	0,438833	33	7	2152,83	2159,43	0,1075	0,0096	1,0457
0,02218	2311,21	1,29284	7,82959	0,044359	5,8377	1,02457	1,023453	0,482546	34	8	2259,16	2266,24	0,1089	0,0126	1,0597
0,02225	2413,53	1,29126	7,866776	0,044493	6,0304	1,02682	1,025695	0,526905	35	9	2363,26	2370,78	0,1106	0,0159	1,0755
0,02204	2511,64	1,28986	7,89991	0,044088	6,19935	1,02909	1,027957	0,571399	36	10	2463,79	2471,72	0,1124	0,0196	1,0932
0,02157	2604,33	1,28864	7,929118	0,043138	6,34149	1,03133	1,030211	0,615487	37	11	2559,49	2567,79	0,1144	0,0237	1,1126
0,02083	2690,44	1,28758	7,954562	0,041655	6,4544	1,03353	1,032432	0,658625	38	12	2649,16	2657,77	0,1166	0,0282	1,1339
0,01984	2769,01	1,28668	7,976429	0,039673	6,53641	1,03565	1,03459	0,70028	39	13	2731,72	2740,61	0,1189	0,0331	1,157
0,01862	2839,23	1,28592	7,994931	0,037246	6,58659	1,03767	1,03666	0,739953	40	14	2806,29	2815,4	0,1215	0,0383	1,1819
0,01722	2900,53	1,28529	8,010296	0,034445	6,60487	1,03957	1,038618	0,777199	41	15	2872,17	2881,46	0,1242	0,0439	1,2085
0,01568	2952,58	1,28479	8,022765	0,031359	6,59199	1,04132	1,040443	0,811644	42	16	2928,9	2938,32	0,1272	0,0499	1,237
0,01404	2995,28	1,28439	8,032587	0,028084	6,54944	1,04292	1,042118	0,843003	43	17	2976,26	2985,79	0,1303	0,0562	1,2671
0,01236	3028,78	1,28409	8,040016	0,024723	6,47939	1,04435	1,043631	0,871087	44	18	3014,3	3023,88	0,1335	0,063	1,2991
0,01069	3053,44	1,28388	8,045306	0,021377	6,38457	1,0456	1,044975	0,89581	45	19	3043,26	3052,86	0,137	0,07	1,3327
0,00907	3069,84	1,28374	8,048706	0,01814	6,26809	1,04669	1,046149	0,917187	46	20	3063,62	3073,22	0,1406	0,0775	1,3681
0,00755	3078,68	1,28367	8,050458	0,015095	6,13334	1,04762	1,047154	0,935327	47	21	3076,05	3085,61	0,1444	0,0853	1,4051
0,00615	3080,8	1,28366	8,050792	0,012306	5,98378	1,04838	1,048	0,950422	48	22	3081,31	3090,82	0,1484	0,0934	1,4438
0,00491	3077,08	1,28369	8,049927	0,00982	5,82282	1,04901	1,048698	0,962728	49	23	3080,28	3089,71	0,1526	0,1019	1,4842
0,00383	3068,44	1,28377	8,04806	0,007663	5,65371	1,04951	1,049261	0,972548	50	24	3073,88	3083,22	0,1569	0,1108	1,5262
0,00292	3055,76	1,28387	8,045372	0,005842	5,47938	1,0499	1,049706	0,980211	51	25	3063,01	3072,23	0,1614	0,12	1,5698
0,00217	3039,87	1,28401	8,042024	0,004347	5,30244	1,0502	1,05005	0,986053	52	26	3048,52	3057,64	0,166	0,1295	1,615
0,00158	3021,52	1,28417	8,038155	0,003154	5,12509	1,05042	1,050309	0,9904	53	27	3031,23	3040,21	0,1708	0,1393	1,6618
0,00111	3001,34	1,28434	8,033881	0,002228	4,94915	1,05058	1,0505	0,993554	54	28	3011,81	3020,66	0,1758	0,1495	1,7101
0,00077	2979,87	1,28452	8,029302	0,001532	4,77605	1,05069	1,050637	0,995782	55	29	2990,86	2999,58	0,1809	0,16	1,7599

Продолжение таблицы А.4

Доля выделенного на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предлогае-мая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)
0,00051	2957,56	1,28472	8,024495	0,001023	4,60686	1,05077	1,050733	0,997314	56	30	2968,88	2977,46	0,1862	0,1708	1,8113
0,00033	2934,74	1,28492	8,019522	0,000663	4,44236	1,05082	1,050798	0,998337	57	31	2946,24	2954,68	0,1916	0,1819	1,8641
0,00021	2911,68	1,28513	8,014431	0,000417	4,28307	1,05086	1,050841	0,999	58	32	2923,24	2931,55	0,1972	0,1933	1,9184

Таблица А.5 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ с модернизированным ГРМ при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

χ	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предлогае-мая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)
0,0000	655,6181			0,0000	0,9774	1,0000	1,0000	0,0000	0	-28	652,08	652,08	0,1829	0,1495	1,7103
0,0000	662,7089	1,3760	6,3193	0,0000	1,0168	1,0000	1,0000	0,0000	1	-27	659,15	659,15	0,1777	0,1394	1,6620
0,0000	669,8452	1,3747	6,3371	0,0000	1,0575	1,0000	1,0000	0,0000	2	-26	666,26	666,27	0,1727	0,1295	1,6152
0,0000	677,0474	1,3735	6,3547	0,0000	1,0997	1,0000	1,0000	0,0000	3	-25	673,43	673,43	0,1679	0,1200	1,5700
0,0000	684,3523	1,3723	6,3722	0,0001	1,1433	1,0000	1,0000	0,0000	4	-24	680,67	680,68	0,1632	0,1108	1,5263
0,0001	691,8151	1,3711	6,3898	0,0001	1,1884	1,0000	1,0000	0,0001	5	-23	688,04	688,06	0,1587	0,1020	1,4843
0,0001	699,5112	1,3699	6,4074	0,0002	1,2351	1,0000	1,0000	0,0002	6	-22	695,59	695,62	0,1544	0,0935	1,4440
0,0002	707,5375	1,3686	6,4253	0,0003	1,2834	1,0000	1,0000	0,0004	7	-21	703,43	703,47	0,1503	0,0853	1,4052
0,0002	716,0140	1,3674	6,4437	0,0005	1,3336	1,0000	1,0000	0,0007	8	-20	711,65	711,70	0,1463	0,0775	1,3682
0,0004	725,0841	1,3661	6,4629	0,0007	1,3859	1,0001	1,0000	0,0012	9	-19	720,38	720,45	0,1425	0,0701	1,3328
0,0005	734,9154	1,3648	6,4831	0,0010	1,4404	1,0001	1,0001	0,0019	10	-18	729,79	729,88	0,1389	0,0630	1,2992
0,0007	745,6995	1,3633	6,5045	0,0014	1,4976	1,0001	1,0001	0,0029	11	-17	740,04	740,16	0,1355	0,0563	1,2672
0,0009	757,6511	1,3618	6,5276	0,0018	1,5577	1,0002	1,0002	0,0043	12	-16	751,36	751,51	0,1323	0,0499	1,2370
0,0012	771,0064	1,3602	6,5527	0,0024	1,6213	1,0003	1,0003	0,0061	13	-15	763,95	764,14	0,1293	0,0439	1,2086
0,0015	786,0212	1,3584	6,5801	0,0031	1,6888	1,0004	1,0004	0,0085	14	-14	778,07	778,31	0,1264	0,0383	1,1819
0,0019	802,9669	1,3565	6,6101	0,0039	1,7608	1,0006	1,0005	0,0116	15	-13	793,98	794,28	0,1237	0,0331	1,1570
0,0024	822,1272	1,3544	6,6430	0,0048	1,8378	1,0008	1,0007	0,0154	16	-12	811,96	812,33	0,1213	0,0282	1,1339
0,0029	843,7918	1,3522	6,6790	0,0059	1,9205	1,0010	1,0009	0,0202	17	-11	832,30	832,75	0,1190	0,0237	1,1127

Продолжение таблицы А.5

х	Сред-няя температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи-циент моле-кулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе-ристика тепловы-деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Темпе-ратура предпо-лагае-мая/, К	Темпе-ратура дейст-витель-ная	Удельн-ый объем	s	y(f1)
0,0035	868,2514	1,3498	6,7183	0,0071	2,0095	1,0013	1,0012	0,0261	18	-10	855,29	855,85	0,1169	0,0196	1,0932
0,0042	895,7899	1,3472	6,7610	0,0084	2,1053	1,0017	1,0015	0,0332	19	-9	881,22	881,90	0,1150	0,0159	1,0755
0,0050	926,6767	1,3444	6,8069	0,0099	2,2085	1,0021	1,0019	0,0416	20	-8	910,36	911,19	0,1133	0,0126	1,0597
0,0058	961,1589	1,3415	6,8560	0,0116	2,3197	1,0026	1,0024	0,0515	21	-7	942,99	943,99	0,1118	0,0096	1,0458
0,0067	999,4517	1,3385	6,9080	0,0134	2,4391	1,0032	1,0029	0,0632	22	-6	979,33	980,53	0,1105	0,0071	1,0336
0,0077	1041,7300	1,3354	6,9626	0,0154	2,5669	1,0039	1,0036	0,0766	23	-5	1019,58	1021,00	0,1094	0,0049	1,0234
0,0087	1088,1187	1,3323	7,0193	0,0175	2,7031	1,0047	1,0043	0,0920	24	-4	1063,88	1065,57	0,1085	0,0031	1,0150
0,0099	1138,6838	1,3291	7,0775	0,0197	2,8475	1,0056	1,0051	0,1095	25	-3	1112,35	1114,32	0,1078	0,0018	1,0084
0,0110	1193,4236	1,3259	7,1368	0,0220	2,9995	1,0066	1,0061	0,1292	26	-2	1165,01	1167,30	0,1073	0,0008	1,0037
0,0122	1252,2604	1,3228	7,1965	0,0244	3,1586	1,0077	1,0071	0,1512	27	-1	1221,83	1224,45	0,1070	0,0002	1,0009
0,0134	1315,0335	1,3197	7,2560	0,0268	3,3235	1,0089	1,0083	0,1756	28	0	1282,69	1285,67	0,1069	0,0000	1,0000
0,0146	1381,4930	1,3167	7,3147	0,0292	3,4929	1,0103	1,0096	0,2024	29	1	1347,38	1350,74	0,1070	0,0002	1,0009
0,0158	1451,2959	1,3139	7,3722	0,0315	3,6653	1,0118	1,0110	0,2316	30	2	1415,61	1419,37	0,1073	0,0008	1,0037
0,0169	1524,0041	1,3111	7,4278	0,0338	3,8387	1,0134	1,0126	0,2631	31	3	1486,98	1491,15	0,1078	0,0018	1,0084
0,0179	1599,0856	1,3086	7,4812	0,0358	4,0109	1,0151	1,0143	0,2968	32	4	1561,02	1565,60	0,1085	0,0031	1,0150
0,0189	1675,9189	1,3062	7,5321	0,0377	4,1797	1,0169	1,0160	0,3327	33	5	1637,15	1642,14	0,1094	0,0049	1,0234
0,0197	1753,8008	1,3039	7,5801	0,0393	4,3426	1,0189	1,0179	0,3704	34	6	1714,69	1720,08	0,1105	0,0071	1,0336
0,0203	1831,9582	1,3019	7,6250	0,0406	4,4971	1,0209	1,0199	0,4097	35	7	1792,91	1798,70	0,1118	0,0096	1,0458
0,0208	1909,5646	1,3000	7,6666	0,0415	4,6406	1,0229	1,0219	0,4503	36	8	1871,01	1877,16	0,1133	0,0126	1,0597
0,0210	1985,7594	1,2983	7,7049	0,0420	4,7709	1,0250	1,0240	0,4918	37	9	1948,12	1954,63	0,1150	0,0159	1,0755
0,0210	2059,6707	1,2967	7,7397	0,0421	4,8855	1,0272	1,0261	0,5338	38	10	2023,39	2030,23	0,1169	0,0196	1,0932
0,0209	2130,4411	1,2954	7,7712	0,0417	4,9826	1,0293	1,0283	0,5759	39	11	2095,95	2103,08	0,1190	0,0237	1,1127
0,0204	2197,2544	1,2941	7,7993	0,0409	5,0606	1,0314	1,0304	0,6176	40	12	2164,94	2172,34	0,1213	0,0282	1,1339
0,0198	2259,3626	1,2931	7,8240	0,0395	5,1181	1,0335	1,0325	0,6585	41	13	2229,57	2237,21	0,1237	0,0331	1,1570
0,0189	2316,1119	1,2922	7,8456	0,0378	5,1544	1,0355	1,0345	0,6980	42	14	2289,15	2296,99	0,1264	0,0383	1,1819
0,0178	2366,9656	1,2914	7,8641	0,0357	5,1692	1,0375	1,0365	0,7358	43	15	2343,07	2351,07	0,1293	0,0439	1,2086
0,0166	2411,5224	1,2907	7,8797	0,0332	5,1626	1,0393	1,0384	0,7715	44	16	2390,86	2398,99	0,1323	0,0499	1,2370

Продолжение таблицы А.5

χ	Сред-няя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кэффи-циент моле-кулярного изменения смеси	m ₁₋₂	Характе-ристика тепловы-деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Темпе-ратура предпо-лагае-мая/, К	Темпе-ратура дейст-витель-ная	Удельный объем	s	γ (f1)
0,0152	2449,5302	1,2902	7,8925	0,0305	5,1352	1,0410	1,0401	0,8047	45	17	2432,19	2440,42	0,1355	0,0563	1,2672
0,0138	2480,8921	1,2897	7,9028	0,0276	5,0883	1,0425	1,0417	0,8352	46	18	2466,87	2475,17	0,1389	0,0630	1,2992
0,0123	2505,6657	1,2894	7,9108	0,0246	5,0232	1,0439	1,0432	0,8628	47	19	2494,91	2503,25	0,1425	0,0701	1,3328
0,0108	2524,0553	1,2892	7,9166	0,0215	4,9417	1,0452	1,0446	0,8874	48	20	2516,42	2524,77	0,1463	0,0775	1,3682
0,0093	2536,3967	1,2890	7,9204	0,0186	4,8459	1,0463	1,0457	0,9089	49	21	2531,69	2540,03	0,1503	0,0853	1,4052
0,0079	2543,1362	1,2889	7,9225	0,0157	4,7380	1,0472	1,0468	0,9275	50	22	2541,10	2549,41	0,1544	0,0935	1,4440
0,0065	2544,8055	1,2889	7,9231	0,0131	4,6202	1,0480	1,0476	0,9432	51	23	2545,17	2553,42	0,1587	0,1020	1,4843
0,0053	2541,9933	1,2889	7,9224	0,0107	4,4948	1,0487	1,0484	0,9563	52	24	2544,44	2552,63	0,1632	0,1108	1,5263
0,0043	2535,3165	1,2890	7,9205	0,0085	4,3639	1,0492	1,0490	0,9670	53	25	2539,54	2547,65	0,1679	0,1200	1,5700
0,0033	2525,3932	1,2891	7,9177	0,0067	4,2294	1,0497	1,0495	0,9755	54	26	2531,09	2539,10	0,1727	0,1295	1,6152
0,0026	2512,8180	1,2893	7,9141	0,0051	4,0933	1,0500	1,0498	0,9822	55	27	2519,70	2527,60	0,1777	0,1394	1,6620
0,0019	2498,1428	1,2894	7,9098	0,0038	3,9569	1,0503	1,0501	0,9873	56	28	2505,94	2513,74	0,1829	0,1495	1,7103
0,0014	2481,8622	1,2896	7,9050	0,0028	3,8216	1,0505	1,0504	0,9912	57	29	2490,35	2498,03	0,1882	0,1600	1,7602
0,0010	2464,4051	1,2899	7,8998	0,0020	3,6885	1,0506	1,0505	0,9940	58	30	2473,38	2480,94	0,1937	0,1708	1,8115
0,0007	2446,1318	1,2901	7,8943	0,0014	3,5583	1,0507	1,0507	0,9960	59	31	2455,43	2462,87	0,1994	0,1820	1,8644
0,0005	2427,3354	1,2903	7,8886	0,0010	3,4316	1,0508	1,0508	0,9974	60	32	2436,83	2444,15	0,2052	0,1934	1,9186

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Таблица Б.1 - Расчетные значения перемещения, скорости и ускорения поршня при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$.

$S_x, \text{ мм}$	$V_x, \text{ м/с}$	$W_x, \text{ м/с}^2$	$j_{\text{кв}}, \text{ рад}$	$j_{\text{кв}}, \text{ град}$
0	0	16731,6	0	0
0,738	4,939	16319,9	0,1745	10
2,9156	9,635	15116,3	0,3491	20
6,4271	13,87	13212	0,5236	30
11,105	17,44	10748,8	0,6981	40
16,732	20,23	7904,35	0,8727	50
23,057	22,13	4874,38	1,0472	60
29,815	23,13	1853,83	1,2217	70
36,738	23,25	-981,726	1,3963	80
43,576	22,58	-3491,42	1,5708	90
50,109	21,22	-5579,99	1,7453	100
56,15	19,3	-7202,99	1,9199	110
61,557	16,97	-8365,8	2,0944	120
66,226	14,36	-9116,9	2,2689	130
70,09	11,58	-9536,29	2,4435	140
73,111	8,711	-9720,63	2,618	150
75,272	5,809	-9767,12	2,7925	160
76,568	2,902	-9758,18	2,9671	170
77	2E-15	-9748,77	3,1416	180
76,568	-2,902	-9758,18	3,3161	190
75,272	-5,809	-9767,12	3,4907	200
73,111	-8,711	-9720,63	3,6652	210
70,09	-11,58	-9536,29	3,8397	220
66,226	-14,36	-9116,9	4,0143	230
61,557	-16,97	-8365,8	4,1888	240
56,15	-19,3	-7202,99	4,3633	250
50,109	-21,22	-5579,99	4,5379	260
43,576	-22,58	-3491,42	4,7124	270
36,738	-23,25	-981,726	4,8869	280
29,815	-23,13	1853,83	5,0615	290
23,057	-22,13	4874,38	5,236	300
16,732	-20,23	7904,35	5,4105	310
11,105	-17,44	10748,8	5,5851	320
6,4271	-13,87	13212	5,7596	330
2,9156	-9,635	15116,3	5,9341	340
0,738	-4,939	16319,9	6,1087	350
3E-31	-7E-15	16731,6	6,2832	360
0,738	4,939	16319,9	6,4577	370
2,9156	9,635	15116,3	6,6323	380
6,4271	13,87	13212	6,8068	390
11,105	17,44	10748,8	6,9813	400
16,732	20,23	7904,35	7,1558	410
23,057	22,13	4874,38	7,3304	420
29,815	23,13	1853,83	7,5049	430
36,738	23,25	-981,726	7,6794	440
43,576	22,58	-3491,42	7,854	450
50,109	21,22	-5579,99	8,0285	460

Продолжение таблицы Б.1

S_x , мм	V_x , м/с	W_x , м/с ²	$j_{кв}$, рад	$j_{кв}$, град
56,15	19,3	-7202,99	8,203	470
61,557	16,97	-8365,8	8,3776	480
66,226	14,36	-9116,9	8,5521	490
70,09	11,58	-9536,29	8,7266	500
73,111	8,711	-9720,63	8,9012	510
75,272	5,809	-9767,12	9,0757	520
76,568	2,902	-9758,18	9,2502	530
77	6E-15	-9748,77	9,4248	540
76,568	-2,902	-9758,18	9,5993	550
75,272	-5,809	-9767,12	9,7738	560
73,111	-8,711	-9720,63	9,9484	570
70,09	-11,58	-9536,29	10,123	580
66,226	-14,36	-9116,9	10,297	590
61,557	-16,97	-8365,8	10,472	600
56,15	-19,3	-7202,99	10,647	610
50,109	-21,22	-5579,99	10,821	620
43,576	-22,58	-3491,42	10,996	630
36,738	-23,25	-981,726	11,17	640
29,815	-23,13	1853,83	11,345	650
23,057	-22,13	4874,38	11,519	660
16,732	-20,23	7904,35	11,694	670
11,105	-17,44	10748,8	11,868	680
6,4271	-13,87	13212	12,043	690
2,9156	-9,635	15116,3	12,217	700
0,738	-4,939	16319,9	12,392	710
1E-30	-1E-14	16731,6	12,566	720