

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

Институт энергетики и электротехники

(институт, факультет)

Энергетические машины и системы управления

(кафедра)

13.03.03 (141100.62) «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Двигатель на базе ВАЗ-2112 с модернизированной камерой
сгорания

Студент(ка)

Порфирьев Валерий Вячеславович

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Нормоконтроль

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

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

Институт энергетики и электротехники

(институт, факультет)

Энергетические машины и системы управления

(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой «ЭМСУ» _____

(подпись)

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____

2016 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение бакалаврской работы

Студент Порфирьев Валерий Вячеславович

1. Тема работы Двигатель на базе ВАЗ-2112 с модернизированной камерой сгорания

2. Срок сдачи студентом законченной работы 16-22 июня 2016 года,
согласно утвержденному графику защиты ВКР на 2015-2016 уч. год.

3. Исходные данные к проекту $V_L = 1.5$ л; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $i = 4$ – число
цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 10,5$ – степень сжатия; частота вращения КВ:.
 $n_{\min} = 850$ мин⁻¹; $n = 2000$ мин⁻¹; $n_M = 3400$ мин⁻¹; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $n_{\max} = 6200$ мин⁻¹

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих
разработке вопросов, разделов) _____

Введение

Обзор литературы по теме работы

Тепловой расчет двигателя;

Тепловой баланс

Расчет кинематики двигателя;

Расчет динамики двигателя;

Расчет основных деталей двигателя

Описание конструкции спроектированного двигателя

Безопасность и экологичность объекта проектирования

Расчет систем двигателя;

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала
Продольный и поперечный разрез двигателя - 2 листа формата А1

ВСХ - 1 лист формата А1

Диаграммы теплового расчета - 1 лист формата А1

Диаграмма кинематического и динамического расчетов - 2 листа формата А1

Спец часть - 1 лист формата А1;

6. Консультант по нормоконтролю – д.т.н., профессор Егоров А.Г.

По разделу "Безопасность и экологичность работы"

к.т.н., профессор Фесина М.И.

7. Дата выдачи задания « ____ » _____ 2016 г.

Руководитель бакалаврской работы _____

(подпись)

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

В.В. Порфирьев

(И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт энергетики и электротехники
Энергетические машины и системы управления

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой «ЭМСУ» _____ Д.А. Павлов
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 2016 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы**

Студента Порфирьев Валерий Вячеславович
по теме Двигатель на базе ВАЗ-2112 с модернизированной камерой
сгорания _____

№ этап работы	Содержание этапов работы	Форма представления материала	Плановый срок выполнения этапа и представления его на контроль	Планируемый объем выполнения, %	Фактический объем выполнения, %	Отметка о выполнении
1	Тепловой расчет двигателя <i>Чертеж диаграмм теплового расчета; ВСХ</i>	Таблицы, описания Демонстрационный лист	30 апреля 2016 г.	90%		
2	Расчет кинематики и динамики двигателя <i>Чертеж диаграмм расчетов</i>	Таблицы, описания Демонстрационный лист	5 мая 2016 г.	90%		
3	Расчет основных деталей двигателя	Таблицы, описания Демонстрационный лист	11 мая 2016 г.	90%		
4	Расчет механизмов и систем двигателя	Таблицы, описания Демонстрационный лист	15 мая 2016 г.	90%		
5	Описание конструкции спроектированной установки	Раздел записки Графический лист	20 мая 2016 г.	80%		
6	Безопасность и экологичность работы	Раздел записки	10 июня 2016 г.	90%		
7	Оформление и доработка пояснительной записки и листов графической части	Сброшюрованная записка и подписанные чертежи	10 июня 2016 г.	100%		

Студент _____ В.В. Порфирьев
(подпись) (И.О. Фамилия)
Руководитель _____ В.В. Смоленский
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 2016 г.

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа состоит из шести частей. В первой части работы представлено описание перспективных путей направлений проектирования двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, во второй части проведен тепловой расчет двигателя, в третьей кинематический и динамический расчет, в четвертой прочностной расчет основных деталей двигателя, в пятой дано описание конструкции двигателя спроектированного двигателя, проведен анализ его эффективности и токсичности, в шестой проведен анализ безопасности и экологичности., в приложении приведен расчет систем двигателя.

Пояснительная записка к бакалаврской работе состоит из 108 стр.

Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1. Продольный и поперечный разрез двигателя, чертеж поршня, схема впускных каналов и камеры сгорания, лист описания конструкции исследуемых двигателей, три листа диаграмм.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Исследование перспективных направлений проектирования двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием.....	10
1.1 Анализ достигнутого уровня развития техники.....	10
2 Тепловой расчет двигателя.....	17
2.1 Топливо.....	17
2.2 Параметры рабочего тела.....	17
2.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы.....	18
2.4 Расчет процесса впуска.....	19
2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения сме- си.....	20
2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания.....	22
2.7 Расчет процессов расширения и выпуска.....	25
2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла.....	26
2.9 Расчет эффективных показатели двигателя.....	27
2.10 Тепловой баланс двигателя.....	29
3 Расчет кинематики и динамики двигателя.....	31
3.1 Кинематический расчет.....	31
3.2 Динамический расчет.....	32
3.2.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма....	32
3.2.2 Удельные и полные силы инерции.....	33
3.2.3 Суммарные силы	33
3.2.4 Крутящие моменты	35
3.2.5 Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала.....	36
3.2.6 Силы, действующие на колено вала	36
3.2.7 Силы, действующие на коренные шейки	37

4 Расчет основных деталей двигателя.....	38
4.1 Расчет поршневой группы.....	38
4.1.1 Расчет поршня.....	38
4.1.2 Расчет поршневого кольца.....	40
4.1.3 Расчет поршневого пальца.....	41
4.2 Расчет шатуна.....	43
4.2.1 Расчет стержня шатуна.....	43
5 Специальная часть.....	46
5.1 Описание конструкции модернизированного двигателя	46
5.2 Сравнительный анализ спроектированного двигателя с двигателем ВАЗ 2112	46
5.3 Оценка токсичности отработавших спроектированного двигателя	48
6 Безопасность и экологичность объекта бакалаврской работы	50
6.1 Экономичность, токсичность и дымность отработавших газов ДВС	50
6.2 Температурное состояние деталей связанных с компактной камерой сгорания.....	51
6.3 Шумность при работе ДВС с новой системой впуска и камерой сго- рания	51
6.4 Эффективность применения новой камеры сгорания и впускных ка- налов	53
6.5 Выводы по разделу безопасность и экологичность	54
Заключение	56
Список использованных источников.....	57
Приложение А - Результаты теплового расчета.....	60
Приложение Б - Результаты кинематического расчета.....	69
Приложение В - Результаты динамического расчета.....	71
Приложение Г - Результаты расчетов сил действующих в КШМ.....	77
Приложение Д – Расчет основных деталей двигателя	92
Д.1 Расчет элементов системы смазки	92
Д.1.1 Расчет масляного насоса	92

Д.1.2 Расчет масляного радиатора	93
Д.2 Расчет элементов системы охлаждения	94
Д.2.1 Расчет водяного насоса	94
Д.2.2 Расчет поверхности охлаждения водяного радиатора	96
Д.2.3 Расчет вентилятора	97
Д.3 Расчет механизма газораспределения	97
Д.3.1 Основные размеры проходных сечений в горловине и в клапане	97
.....	99
Д.3.2 Основные размеры впускного кулачка	99
Д.3.3 Профилирование безударного кулачка с плоским толкателем	101
Д.3.4 Время сечения клапана	103
Д.3.5 Расчет пружины клапана	105
Д.3.6 Расчет распределительного вала	107
Приложение Е – Спецификация сборочного чертежа.....	

ВВЕДЕНИЕ

Снижение токсичности отработавших газов (ОГ) при улучшении топливной экономичности и сохранении мощностных показателей остается наиболее актуальной проблемой современного двигателестроения. Регулярное ужесточение законодательных требований к выделению автомобилями вредных веществ служит стимулом для постоянных исследований в этом направлении. Основными токсичными компонентами продуктов сгорания являются оксид углерода (CO), несгоревшие углеводороды (CH), оксиды азота (NO). Наиболее сложен комплекс мер, направленных на снижение выделения CH, как продукта неполного сгорания, совместно с оксидами азота. Поэтому снижение токсичности при соблюдении современных норм образования углеводородов и оксидов азота в цилиндре двигателя внутреннего сгорания (ДВС) весьма актуально.

В современном автомобилестроении существуют различные тенденции решения проблем экологической безопасности. Разрабатываются автомобили с электроприводом, однако в настоящее время электропривод, как силовой агрегат автомобиля, не заменит традиционный ДВС в силу недостаточного уровня потребительских качеств. Применение альтернативных топлив не решает полностью проблем токсичности автомобильных двигателей и сдерживается проблемами, связанными с инфраструктурой и дороговизной этих технологий. Широко распространенные системы каталитической нейтрализации ОГ с использованием благородных металлов являются дорогостоящими и снижают эффективность работы двигателя.

Наиболее эффективные методы снижения токсичности ДВС связаны с комплексным воздействием как на рабочий процесс, т.е. непосредственно на причины образования токсичных веществ, так и направленные на очистку выхлопных газов. Такие способы связаны с осуществлением рабочего процесса на бедных смесях при различных способах интенсификации сгорания и сохранении эффективности. В частности, применением расслоения топливно-воздушного заряда. Этот способ не требует значительного усложнения конструкции автомобиля и не ухудшает безопасность.

1 Исследование перспективных направлений проектирования двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием

1.1 Анализ достигнутого уровня развития техники

В настоящее время перед инженерами занимающимися проектированием двигателей внутреннего сгорания (ДВС) ставятся сложные задачи по улучшению мощностных, эффективных и токсичных показателей современных двигателей. А это не возможно без глубокого понимания физико-химических процессов проходящих в цилиндре двигателя. Поэтому в бакалаврской работе проведён анализ статей опубликованных в SAE, посвящённых исследованию влияния физических свойств потока на физико-химические процессы горения, а также проанализировано влияние конструктивных параметров впускных каналов и камеры сгорания на физических свойств потока, а, следовательно, и на сгорание топлива.

В ходе изучения перспективных направлений, в проектировании современных низко токсичных двигателей с высокой мощностью, был проведён анализ конструктивных факторов влияющих на процесс сгорания. Было показано, что на процесс сгорания оказывает влияние два фактора, во-первых, это конструкция системы впуска, которая задаёт начальные параметры потока и, во-вторых, это форма камеры сгорания, отвечающая непосредственно за протекание процесса сгорания. В связи с этим был проведён анализ современных камер сгорания и систем впуска. В ходе этого анализа для более детального рассмотрения были отобраны следующие конструкции камер сгорания и систем впуска, дающие возможность улучшить процесс сгорания.

Рассмотрим низкотоксичную высокоэффективную камеру сгорания для 4 цилиндрового 16 клапанного двигателя, разработанную корпорацией Мазда Мотор, Япония. На рисунке 1.1 показана форма компактной камеры сгорания, по сравнению с обычной шатровой. Компактная шатровая камера сгорания была сконструирована для достижения быстрого сгорания топлива благодаря увеличенной интенсивности турбулентности потока в камере сгорания и умень-

шенным расстоянием, которое проходит пламя в процессе сгорания, тем самым, повысив эффективность выделяемого топливом при сгорании тепла. [24].

Полученное повышение эффективности использования введенного в цилиндр двигателя тепла, обуславливается следующим, во-первых был уменьшен диаметр впускных клапанов, что увеличило скорость потока на впуске, тем самым увеличив турбулентность потока в цилиндре. Увеличение турбулентности потока способствует лучшему перемешиванию топлива с воздухом, тем самым повышая гомогенность топливовоздушной смеси (ТВС). Во-вторых, за счет того, что площадь вытеснителей была увеличена с 11 до 33% в конце процесса сжатия наблюдается заметное усиление турбулентности потока ТВС, что позволяет говорить о наличии более высокой скорости распространения пламени. В-третьих, придание камере сгорания более компактной формы, вместе с усилением турбулентности, что улучшает теплообмен, позволяет повысить на 5% предел детонации по давлению, что позволяет более эффективно устанавливать угол опережения зажигания. И последнее придание камере сгорания более компактной формы позволило уменьшить расстояние, которое проходит пламени в основной фазе и в фазе догорания. Всё это позволило сократить время сгорания ТВС на 7° п.к.в., что показано на рисунке 1.2, тем самым, повысив эффективность использования сгоревшего топлива.

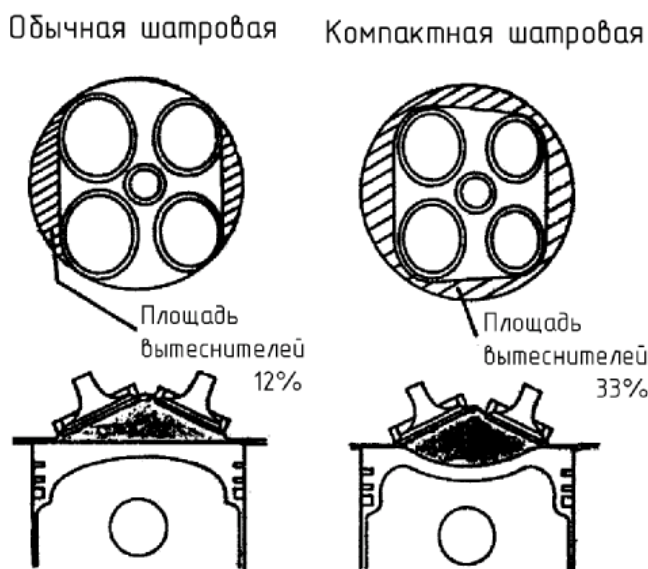


Рисунок 1.1 - Сравнение формы камеры сгорания.

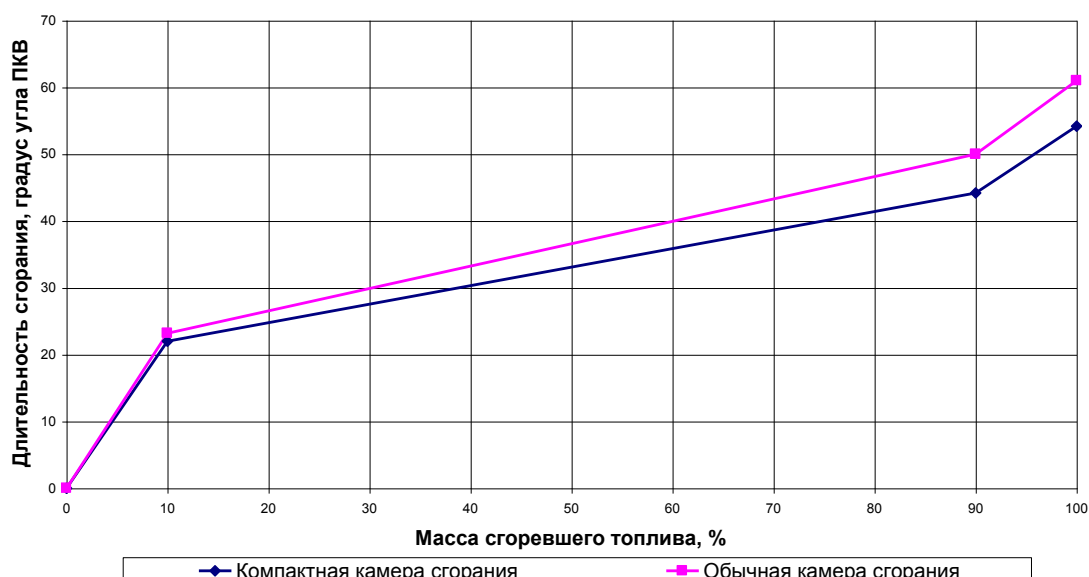


Рисунок 1.2 - Длительность сгорания компактной камеры сгорания по сравнению с обычной шатровой камерой сгорания.

Рассмотрим новую систему впуска для 4 цилиндрового 16 клапанного двигателя, работающего на бедных смесях, разработанную корпорацией Тойота Мотор, Япония. На плакате 4 показана конструкция двух систем впуска разработанные для улучшения показателей работы двигателя на малых и средних оборотах. Система впуска спроектирована так, чтобы создавать высокую степень закрутки заряда на низких и средних оборотах двигателя, что улучшает процесс сгорания топлива. [23].

При проектировании новой системы впуска были проведены исследования влияния диаметра впускных каналов на эффективность наполнения, а также исследования влияния турбулентности потока на предел обеднения смеси. Результаты исследования влияния диаметра впускных каналов на эффективность наполнения показаны на рисунке 1.3. Из рисунка видно, что максимальная эффективность наполнения достигается тогда, когда достигается равновесие между потерями на сопротивление воздушному потоку и улучшением наполнения за счет инерциальных свойств потока.

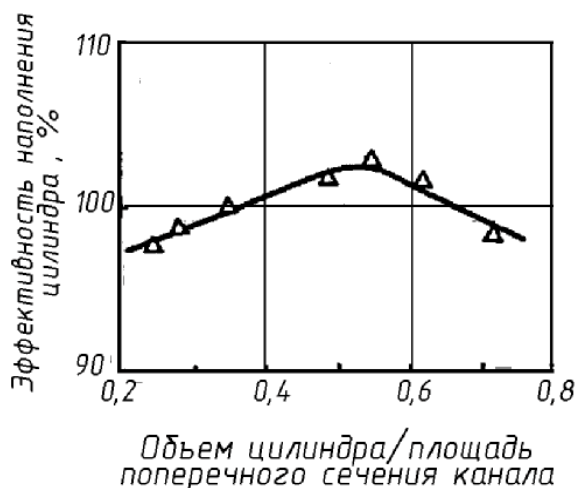


Рисунок 1.3 - Влияния диаметра впускных каналов на эффективность наполнения.

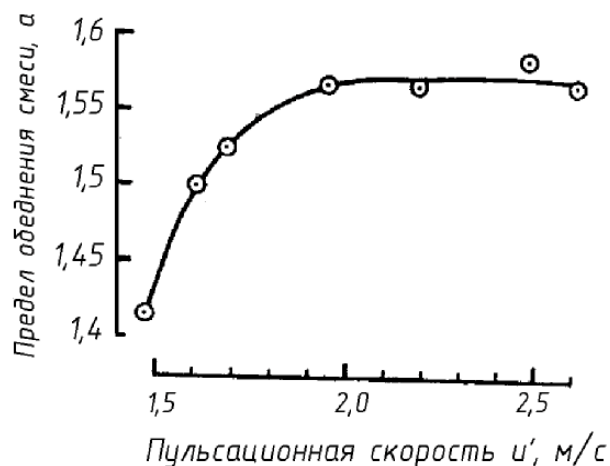


Рисунок 1.4 - Связь предела обеднения с величиной пульсационной скорости.

На рисунке 1.4 показана связь предела обеднения с величиной пульсационной скорости. Из рисунка видно, что с увеличением турбулентности потока в момент воспламенения предел обеднения смеси тоже растёт до некоторого значения, а затем остаётся примерно постоянным.

Рассматривая предложенную систему впуска можно отметить, что за счет создания хорошо организованного вихревого движения удалось заметно сократить продолжительность начальной и основной фазы горения, как это показано на рисунке 1.5. Что позволило сократить продолжительность сгорания практически на 10° пкв.

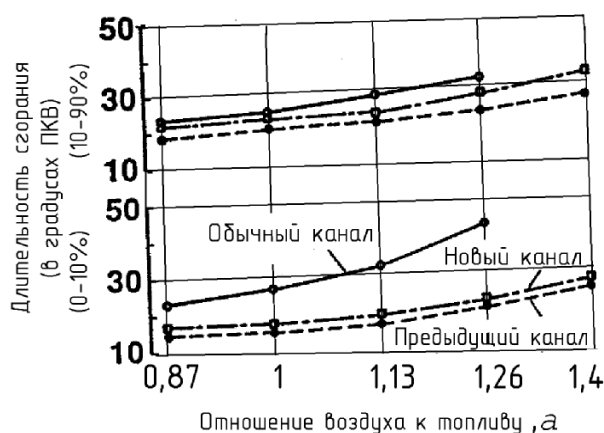


Рисунок 1.5 - Длительность сгорания при различных параметрах потока на впуске.

Исследования влияния турбулентности потока на скорость распространения пламени, проводимые с использованием ионизационных датчиков в лабораторном боксе кафедры тепловые двигатели ТГУ, показали, что скорость распространения пламени увеличивается практически пропорционально усилению турбулентности потока.[17]

Суммируя результаты анализа рассмотренных материалов можно отметить:

1 - небольшое уменьшение проходного сечения впускных каналов не ведёт к уменьшению коэффициента наполнения цилиндров, и даже наоборот на малых и средних оборотах приводит к улучшению наполняемости цилиндров. Это связано с тем, что увеличение наполнения за счет инерциальных свойств потока превышают потери от увеличения сопротивления на малых и средних оборотах. В тоже время на высоких оборотах эти значения примерно равны. [23], [24].

2 - увеличение скорости потока на впуске улучшает распыливаемость топлива и тем самым улучшает однородность топливовоздушной смеси.[23].

3 - увеличение скорости потока на впуске позволяет лучше организовать вихревое движение потока в цилиндре, а также повысить турбулентность.[21], [22].

4 - рассматривая влияние формы камеры сгорания на параметры потока топливовоздушной смеси, следует отметить, что увеличение площади вытеснителей приводит в конце процесса сжатия к заметному увеличению уровня турбулентности потока перед сгоранием.[24].

5 - рассматривая влияние параметров потока в момент воспламенения топливовоздушной смеси на турбулентную скорость сгорания, следует отметить, что скорость распространения пламени возрастает практически пропорционально увеличению турбулентности. Это объясняется тем, что турбулентность потока увеличивает толщину фронта пламени, в нашем случае 0,011 м компоновка В и 0,015 м компоновка С, что позволяет повысить интенсивность сгорания, при этом соответственно увеличивается интенсивность тепловыделе-

ния и, следовательно, разогрев ТВС, что способствует дальнейшему увеличению скорости в активной фазе горения, до пика в кривой коэффициента сгоревшей массы. В тоже время увеличение конвективной скорости также увеличивает скорость протекания сгорания, хотя не так заметно как в случае с увеличением турбулентности. Это объясняется тем, что увеличение конвективной скорости потока улучшает подвод свежей топливовоздушной смеси к фронту пламени, что вместе с хорошей турбулентностью ускоряет процесс сгорания. Таким образом, увеличение турбулентности и конвективной скорости потока заметно сокращает длительность начальной и основной фазы сгорания.[20], [22].

6 - рассматривая влияния потока на концентрацию токсичных компонентов, следует отметить, что увеличение турбулентности и скорости потока позволяют активизировать процесс сгорания начальной и основной фазе, что ведет к уменьшению количества не сгоревших углеводородов. В фазе догорания увеличение интенсивности турбулентности позволяет уменьшить пристеночный ламинарный слой, и сократить продолжительность заключительной фазы горения за счет того, что увеличивается толщина турбулентного фронта пламени, поэтому увеличивается температура в камере сгорания, что также ведёт к уменьшению количества не сгоревших углеводородов. Концентрация оксидов азота несколько увеличивается за счет увеличения максимальной температуры в процессе сгорания. Рассматривая влияние формы камеры сгорания, следует отметить, что несмотря на то, что содержание несгоревших углеводородов в компактной камере сгорания будет заметно ниже, чем у обычной камеры сгорания, но при этом общее содержание несгоревших углеводородов в выхлопных газах будет примерно одинаковое, что объясняется увеличением площади вытеснителей и соответственно зажатого объема, в котором горение сильно затруднено.[21], [22], [23], [24].

7 - рассматривая влияние формы камеры сгорания на длительность сгорания, следует отметить, что длительность сгорания во многом зависит от расстояния от свечи зажигания до самой удаленной точки камеры сгорания. В связи с

этим камеру сгорания следует конструировать так, чтобы свеча зажигания располагалась примерно по центру камеры сгорания, а камера сгорания имела форму как можно ближе к сферической. Таким образом, применение компактной камеры сгорания позволяет сократить время сгорания не только основной фазы горения, но и значительно сократить время фазы догорания.[20], [24].

8 - рассматривая влияние параметров потока и формы камеры сгорания на детонационную стойкость, следует отметить, что увеличение интенсивности турбулентности и скорости потока несколько повышают детонационную стойкость, так как высокая турбулентность и высокие скорости потока разбавляют нагретые участки потока топливовоздушной смеси несколько препятствуя процессу самовоспламенения. В тоже время придание камере сгорания более компактной формы заметно повышает детонационную стойкость, это связано с тем, что в камере сгорания отсутствуют очень удаленные от свечи зажигания области камеры сгорания, а следовательно исключается возможность догорания топлива в процессе расширения и следовательно сильно перегретых участков поверхности камеры сгорания в которых и начинается детонация.[24].

Подводя итоги по полученным данным, следует отметить, что увеличение интенсивности турбулентности и скорости потока, в той же мере как и компактность камеры сгорания позволяют лучше использовать выделившееся в процессе сгорания тепло, за счет того что сгорание происходит в меньшем объеме и за более короткий промежуток времени, тем самым увеличивая полноту сгорания топлива.

2 Тепловой расчет двигателя

Произведем расчет четырехтактного двигателя с впрыском, предназначенного для легкового автомобиля по методике Вибе. [16]

Исходные данные: $V_L = 1.5$ л; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $i = 4$ – число цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 10,5$ – степень сжатия; частота вращения КВ: $n_{\min} = 850$ мин⁻¹; $n = 2000$ мин⁻¹; $n_M = 3400$ мин⁻¹; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $n_{\max} = 6200$ мин⁻¹.

2.1 Топливо

Средний элементарный состав и молекулярная масса топлива: $C = 0,855$; $H = 0,145$ и $m_T = 115$ кг/кмоль.

Низшая теплота сгорания топлива:

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

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

2.2 Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

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

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

Применение впрыска топлива и электронного управления позволяет принять коэффициент избытка воздуха на всех режимах $\alpha = 1$.

Далее проводятся расчетные формулы, а результаты расчета для всех режимов приводятся в виде таблиц.

Количество горючей смеси:

$$M_1 = \alpha L_0 + l/m_T; \text{ кмоль гор. см/кг топл}. \quad (2.4)$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при $\alpha \geq 1$:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}; M_{H_2O} = \frac{H}{2}; M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0; \text{кмоль компонента/кг топл}; \quad (2.5)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2}; \text{кмоль пр.сг/кг топл}. \quad (2.6)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (2.7)$$

Результаты расчета параметров рабочего тела приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры рабочего тела

α	M_1 , кмоль гор.см./кг топл.	M_{CO_2} , кмоль CO_2 /кг топл.	M_{CO} , кмоль CO/кг топл.	M_{H_2O} , кмоль H_2O /кг топл.	M_{H_2} , кмоль H_2 /кг топл.	M_{N_2} , кмоль N_2 /кг топл.	M_2 , кмоль пр.сг./кг топл.	μ_0
1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.052

2.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы

Атмосферные условия: $p_0 = 0,1$ МПа и $T_0 = 293$ К.

Давление остаточных газов:

$$p_r = p_k(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (2.8)$$

где $p_{rN} = 1,18p_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118$ МПа;

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

Результаты расчета параметров окружающей среды и остаточных газов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

$n, \text{ мин}^{-1}$	$\rho_k, \text{ кг/м}^3$	$T_k, \text{ К}$	$p_k, \text{ Мпа}$	$T_r, \text{ К}$	$p_r, \text{ Мпа}$
850	1,189	293	0,1	1100	0,103834
2000	1,189	293	0,1	1135	0,105349
3400	1,189	293	0,1	1185	0,109164
5600	1,189	293	0,1	1280	0,118
6200	1,189	293	0,1	1320	0,121274
Двигатель ВАЗ-2112					
900	1,189	293	0,1	1080	0,109
2600	1,189	293	0,1	1161	0,112
3700	1,189	293	0,1	1245	0,114
5000	1,189	293	0,1	1265	0,116
5600	1,189	293	0,1	1305	0,118

2.4 Расчет процесса впуска

С целью получения хорошего наполнения двигателя температура подогрева свежего заряда на номинальном скоростном режиме принимается $\Delta T_N = 8^\circ\text{C}$. Тогда, $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N) = 8 / (110 - 0,0125 \cdot 5600) = 0,2$;

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n) = 0,2 (110 - 0,0125n) = 22 - 0,0025n. \quad (2.9)$$

Плотность заряда на впуске:

$$\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ кг/м}^3.$$

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \beta^2 + \xi_{BII} \lambda_n^2 n^2 \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа}. \quad (2.10)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа}. \quad (2.11)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{oc} p_r}{\varepsilon \varphi_{доз} p_a - \varphi_{oc} p_r} = \frac{293 + 8}{1060} \cdot \frac{0,118}{9,9 \cdot 1,1 \cdot 0,085 - 0,118} = 0,0415, \quad (2.12)$$

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

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r); \text{ К.} \quad (2.13)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \left(\phi_{доz} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \phi_{оч} \cdot p_r \right) \quad (2.14)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \left[\left(\alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_B} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / \left(1 + \alpha \cdot l_0 \cdot p_a \right) \quad (2.15)$$

где $\mu_B = 28,9$ молярная масса воздуха.

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

n, мин ⁻¹	ΔT, °C	Δp _а , Мпа	p _а , Мпа	φ _{оч}	φ _{доz}	γ _г	T _а , К	η _v	V _а , К
850	44,71875	0,00599	0,094	1,08	1	0,0318	323,2104	0,859	0,942
2000	38,25	0,01012	0,0898	1,02	1,05	0,0293	320,799	0,917	0,984
3400	16,5625	0,01202	0,0879	0,98	1,1	0,0276	321,4435	0,940	1,007
5600	10	0,01664	0,0833	0,96	1,15	0,0277	326,3013	0,877	1,079
6200	8,125	0,02201	0,0779	0,94	1,2	0,0305	330,92	0,8806	1,168
Двигатель ВАЗ-2112									
900	19,75	0,0057	0,0942	1	0,85	0,0431	344,4703	0,721	1,0004
2600	15,5	0,01027	0,0897	0,94	0,93	0,0362	338,3532	0,770	1,034
3700	12,75	0,01358	0,0864	0,98	1	0,0337	336,4559	0,804	1,067
5000	9,5	0,01605	0,0839	0,81	0,95	0,0299	330,4714	0,758	1,079
5600	8	0,01942	0,08057	0,77	0,94	0,0297	330,0071	0,721	1,122

2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_o + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (2.16)$$

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (2.17)$$

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} \quad \text{МПа}; \quad T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad \text{К}. \quad (2.18)$$

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

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{\lambda} \right\} - \left\langle \cos \Theta \right\rangle + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \langle \sin \Theta \rangle^2} \right] \right]; \quad (2.19)$$

$$P_y = P_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1}; \text{МПа}; \quad T_y = T_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1-1}; \text{К}; \quad (2.20)$$

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:

$n, \text{мин}^{-1}$	μ	n_1	$P_c, \text{МПа}$	$T_c, \text{К}$	$\Theta^\circ \text{ПКВ}$	$V_y, \text{м}^3/\text{кг}$	$P_y, \text{МПа}$	$T_y, \text{К}$
850	1,0508	1,3756	2,7055	808,878	15	0,1008	2,033	748,24
2000	1,0184	1,37545	2,5855	802,549	22	0,1204	1,616	705,99
3400	1,0184	1,37603	2,5345	805,302	26	0,1472	1,241	662,584
5600	1,0184	1,3756	2,3988	816,614	29	0,1892	0,914	627,63
6200	1,0282	1,3756	2,2443	828,173	32	0,2239	0,756	615,408
Двигатель ВАЗ-2112								
900	1,0604	1,37058	2,3646	823,349	15	0,1151	1,823	767,52
2600	1,0505	1,372	2,2593	811,43	20	0,1347	1,469	722,17
3700	1,0507	1,3728	2,18	808,402	23	0,1509	1,267	697,71
5000	1,0509	1,37378	2,1227	795,855	26	0,1660	1,098	665,27
5600	1,0509	1,3753	2,0447	797,582	28	0,1829	0,977	652,08

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры рабочего тела рассчитываются по аналогичным формулам.

2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_u - 119950(1 - \alpha) \bar{L}_o}{H_u}, \quad (2.21)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

$$\xi = \delta \cdot \Psi; \quad (2.22)$$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi \cdot H_u}{1 + \gamma_r \cdot \xi \cdot l_0 + 1}; \text{ кДж/кг.} \quad (2.23)$$

$$E_2 = \left(0.002 \frac{\varepsilon}{V_a} \right) q_z; \text{ МПа.} \quad (2.24)$$

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi \Phi'_1 - \psi \Phi'_2)}{K_{1-2} \psi \Phi'_1 - \psi \Phi'_2}, \quad (2.25)$$

$$\text{где } \psi \Phi'_1 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \varphi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi'} \right) \right]; \quad (2.26)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (2.27)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

$$\Delta \chi_{1-2} = \frac{1}{2} \left[\exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (2.28)$$

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[76.7 - \left(13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (2.29)$$

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} - \quad (2.30)$$

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

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (2.31)$$

Определив k_{1-2} производят все вычисления для определения P_2 , а затем вычисляют температуру T_2 газов в процессе сгорания по следующей зависимости:

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi \Phi'_2}{P_y \psi \Phi'_2 \mu_{1-2}}, \quad (2.32)$$

где:

$$\Psi \Phi'_2 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (2.33)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos(\varphi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\varphi'))^2} \right]; \quad (2.34)$$

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} ; \quad (2.35)$$

$$\text{где } \mu_1 = 1 + \frac{\mu_{0\max} - 1 \left[1 - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right]}{1 + \gamma_r} . \quad (2.36)$$

Если вычисленное значение T_2 значительно отличается от температуры, определенной экстраполяцией, то повторяется расчет k_{1-2} .

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

$$\chi = 1 - \exp \left[-6.908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_z} \right)^{m+1} \right] . \quad (2.37)$$

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета:

n, мин-1	δ	Ψ	ξ	qz, кДж/кг	E2, МПа	φ_z , град, ПКВ	m
850	1	0,92	0,92	2454,616	59,88841	35	2,5
2000	1	0,94	0,94	2180,775	50,93971	45	2,6
3400	1	0,95	0,95	2207,782	50,37929	48	2,7
5600	1	0,96	0,96	2231,183	47,5213	55	2,8
6200	1	0,97	0,97	2149,469	42,31184	62	2,9
Двигатель ВАЗ-2112							
900	0.9435	0,81	0,764277	2095,696	43,98798	40	3.1
2600	1	0,86	0,86	2284,733	46,40438	48	3.2
3700	1	0,96	0,96	2556,549	50,28953	55	3.3
5000	1	0,97	0,97	2592,875	50,44589	58	3.4
5600	1	0,99	0,99	2646,799	49,49647	62	3.5

Расчёт текущих параметров процесса сгорания проводится с определённым шагом – 1^0 ПКВ, а значения указанных параметров приводятся Приложении В.

2.7 Расчет процессов расширения и выпуска

Степень последующего расширения при V_z

$$\delta = V_a / V_z \quad (2.38)$$

Средний показатель политропы расширения находится методом последовательных приближений из уравнения:

$$n_2 = 1 + \frac{8.314}{23.7 + 0.0046 \left(\frac{1}{\delta^{n_1-1}} + 1 \right) \cdot T_z} ; \quad (2.39)$$

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа} ; \quad T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К} ; \quad (2.40)$$

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры газов от конца процесса сгорания до 540° поворота коленчатого вала находятся из соотношений

$$V_{PT} = \frac{V_a}{\varepsilon} \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{1} \cdot \left(\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos \varphi_{PT} + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi_{PT}} \right] \right) \right], \quad (2.41)$$

где φ_{PT} – текущее значение поворота коленчатого вала

$$P_{PT} = P_b \cdot \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2} ; \quad T_{PT} = T_b \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2-1} ; \quad (2.42)$$

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} \quad \text{К} \quad (2.43)$$

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100 (T_r - T'_r)}{T_r} \% . \quad (2.44)$$

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

$n, \text{мин}^{-1}$	$V_z, \text{м}^3$	$T_z, \text{К}$	$P_z, \text{МПа}$	δ	n_2	$P_b, \text{МПа}$	$T_b, \text{К}$	$T_r, \text{К}$	$\Delta, \%$
850	0,1178	3357,56	7,925	8,687	1,168	0,6349	2337,02	1290,866	0,8489
2000	0,1442	3156,08	6,048	7,273	1,173	0,5907	2241,572	1276,149	2,915
3400	0,1498	3150,69	5,808	7,073	1,173	0,5859	2248,466	1299,048	3,923
5600	0,1763	3082,31	4,831	6,317	1,174	0,5553	2238,257	1328,065	4,08
6200	0,1894	3142,67	4,615	5,965	1,171	0,5701	2315,608	1369,725	3,767
Двигатель ВАЗ-2112									
900	0,1494	2639,83	5,121	6,688	1,188	0,5354	1846,58	1086,178	0,572
2600	0,1684	2756,27	4,714	6,139	1,1835	0,5504	1975,7	1162,08	0,093
3700	0,1951	2913,76	4,303	5,474	1,1775	0,5815	2155,05	1244,545	-0,036
5000	0,1972	2929,05	4,279	5,474	1,1767	0,5789	2168,77	1265,439	0,0347
5600	0,2052	2976,31	4,179	5,474	1,175	0,5669	2209,79	1309,556	0,349

Температура остаточных газов принята удачно т.к. ошибка не превышает 5 %.

2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций:

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} |V_{2i} - V_{1i}|; \quad (2.45)$$

Расчётное среднее индикаторное давление

$$P_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{\pi - 1 \bar{V}_a}, \quad \text{МПа} . \quad (2.46)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_v \cdot H_u} \quad (2.47)$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u} \cdot 10^3, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}. \quad (2.48)$$

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

$n, \text{ мин}^{-1}$	$L_i, \text{ кДж}$	$P_i, \text{ МПа}$	$N_i, \text{ кВт}$	η_i	$g_i, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$
850	0,9258707	0,903418	10,23873	0,42375	193,3912
2000	0,9505903	0,884107	23,57619	0,423998	193,2782
3400	1,0680231	1,002157	46,76735	0,452917	198,4646
5600	1,0967292	0,951718	71,06159	0,433076	173,2271
6200	1,1186531	0,912496	75,43298	0,427829	171,504
Двигатель ВАЗ-2112					
900	1,0012	1,1060343	12,442886	0,4089854	191,03093
2600	1,09	1,1651984	37,868947	0,405874	186,00051
3700	1,1957	1,2379594	57,255621	0,4184105	182,75552
5000	1,224	1,2533459	78,334121	0,4013589	170,24613
5600	1,2406	1,2210353	85,47247	0,3929888	166,22992

2.9 Эффективные показатели и параметры двигателя

Давление механических потерь при $S/D = 71/82 = 0.865$, если средняя скорость поршня:

$$v_n = \frac{Sn}{30}, \text{ м/с}$$

Среднее давление механических потерь

$$P_M = 0.034 + 0.0113v, \text{ МПа}. \quad (2.49)$$

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа} . \quad (2.50)$$

Механический К.П.Д.

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}} . \quad (2.51)$$

Эффективный К.П.Д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M . \quad (2.52)$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} . \quad (2.53)$$

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_{\text{л}} \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт} . \quad (2.54)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч} . \quad (2.55)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.56)$$

Результаты расчета эффективных показателей двигателя приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Эффективные показатели двигателя

$n, \text{ мин}^{-1}$	$V_{п.ср}, \text{ м/с}$	$p_m, \text{ Мпа}$	$p_e, \text{ Мпа}$	η_m	η_e	$g_e, \text{ г/(кВт.ч)}$	$N_e, \text{ кВт}$	$M_e, \text{ Н.м}$	$G_T, \text{ кг/ч}$
850	2,013	0,065554	1,1887	0,954	0,330	228,5221	9,495789	109,5998	1,9800
2000	4,733	0,10148	1,3626	0,929	0,403	220,5	24,87005	112,3744	4,5567
3400	8,283	0,14834	1,086	0,892	0,358	219,2	39,84481	118,7816	9,2816
5600	13,253	0,213944	1,006	0,845	0,319	225,4	55,0871	107,45331	12,309
6200	14,673	0,232688	0,783	0,786	0,307	230,2072	56,19744	99,79653	12,937
Двигатель ВА3-2112									
900	2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	273,3719	11,68	123,99	3,377
2600	6,153	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	263,7	33,96	124,72	9,043
3700	8,756	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	258,8332	50,11	129,3	12,464
5000	11,833	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	261,652	66,13	126,29	15,336
5600	13,253	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	268,6	70,49	120,19	17,208

2.10 Тепловой баланс двигателя [1]

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом:

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (2.57)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (2.58)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{c i D^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (2.59)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_o; \quad (2.60)$$

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) \left(M_2 \left[m_{cV}'' \bar{t}_r + 8.315 \bar{t}_r \right] - M_1 \left[m_{cV}'' \bar{t}_{20} + 8.315 \bar{t}_o \right] \right), \quad (2.61)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_0 \quad (2.62)$$

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива отсутствует, так как на всех режимах поддерживается стехиометрический состав топливовоздушной смеси.

$$Q_{н.с} = \Delta H_U * G_T / 3,6 \quad (2.63)$$

$$q_{н.с.} = Q_{н.с.} * 100 / Q_0 \quad (2.64)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_6 + Q_r + Q_{н.с.}) , \quad (2.65)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_0 \quad (2.66)$$

Результаты расчетов тепловой баланс двигателя сводим в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 - Тепловой баланс разрабатываемого двигателя:

п, мин ⁻¹	G _T , кг/ч	Q ₀ , Дж/с	Q _e , Дж/с	q _e , %	Q _B , Дж/с	q _B , %	Q _r , Дж/с	q _r , %	Q _{н.с.} , Дж/с	q _{н.с.} , %	Q _{ост} , Дж/с	q _{ост} , %
900	1,980	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1
2000	4,556	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5
3500	9,281	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0
5000	12,31	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5
5600	12,93	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6

3 Расчет кинематики и динамики двигателя

3.1 Кинематический расчет

Премещение поршня [2].

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

Угловая скорость вращения коленчатого вала

$$\omega = \pi n / 30 = 3,14 \cdot 5600 / 30 = 586 \text{ рад/с.}$$

Скорость поршня

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

Ускорении поршня

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

Максимальное значение ускорения поршня достигается при $\varphi=0^\circ$;

$$j_{\max} = \omega^2 R \left(1 + \lambda \right) = 586^2 \cdot 35,5 \left(1 + 0,289 \right) = 15767 \text{ м/с}^2.$$

Расчет j_n производится аналитически через каждые 10° угла поворота коленчатого вала. Результаты представлены в таблице 4.1.

3.2 Динамический расчет

3.2.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма.[1]:

- масса поршневой группы

$$m_n = m_n' \cdot F_n = 75 \cdot 0,00535 = 0,316 \text{ кг}; \quad (3.4)$$

- масса шатуна

$$m_{ш} = m_{ш}' \cdot F_n = 109,6 \cdot 0,00535 = 0,624 \text{ кг}; \quad (3.5)$$

- масса неуравновешанных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k' \cdot F_n = 150 \cdot 0,00535 = 0,805 \text{ кг}. \quad (3.6)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,624 = 0,165 \text{ кг}. \quad (3.7)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,624 = 0,473 \text{ кг}. \quad (3.8)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.п} = 0,316 + 0,165 = 0,481 \text{ кг}. \quad (3.9)$$

Массы, совершающие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{ш.к} = 0,805 + 0,473 = 1,278 \text{ кг.} \quad (3.10)$$

3.2.2 Удельные и полные силы инерции

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс

$$p_j = -j m_j / F_n = -j \cdot 0,481 \cdot 10^{-6} / 0,00535 = -j \cdot 141 \cdot 10^{-6} \text{ МПа.} \quad (3.11)$$

Полученные данные занесены в таблице приложение В.

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -1,278 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -28,02 \text{ кН.} \quad (3.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна

$$K_{Ru} = -m_{ш.к} R \omega^2 = -0,473 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -8,7 \text{ кН.} \quad (3.13)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_{.к} R \omega^2 = -0,805 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -19,32 \text{ кН.} \quad (3.14)$$

3.2.3 Суммарные силы

Удельные суммарные силы.

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_z + p_j \text{ (МПа).} \quad (3.15)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \cdot \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа)}. \quad (3.16)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа)}. \quad (3.17)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)}. \quad (3.18)$$

Удельная и полная тангенциальные силы

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)} \quad (3.19)$$

$$T = p_T \cdot 0,004776 \cdot 10^3 \quad (3.20)$$

Расчетные значения представлены в таблице приложения.

По полученным данным строят графики изменения удельных сил p_j , p , p_s , p_N , p_k , и p_T в зависимости от угла поворота коленчатого вала φ . Графики представлены в графической части бакалаврской работы.

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_T F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,2486 \cdot 0,00535 = 1063 \text{ Н}; \quad (3.21)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} Mp = \frac{1991 \cdot 1170}{240} \cdot 0,05 = 0,196 \text{ МПа}; \quad (3.22)$$

по данным расчета по площади, заключенной между кривой p_T и осью абсцисс
ошибка $\Delta = (1063 - 1049)100/1063 = 1,31\%$

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{II} = 0,196 \cdot 0,00535 \cdot 10^6 = 1049 \text{ Н}; \quad (3.23)$$

3.2.4 Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0374 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (3.24)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с равными интервалами между вспышками

$$\Theta = 720 / i = 720 / 4 = 180^\circ \quad (3.25)$$

Суммирование крутящих моментов всех четырех цилиндров двигателя осуществляется табличным методом (таблице 4.3) через каждые 10° угла поворота коленчатого вала и по полученным данным строится кривая $M_{кр}$ в масштабе 10 Нм·мм.

Средний крутящий момент двигателя:
по данным теплового расчета

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 143,8 / 0,9052 = 158,8 \text{ Нм} \quad (3.26)$$

по площади, заключенной под кривой $M_{кр}$

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_m = \frac{1470 - 615}{60} 10 = 160,5 \text{ Нм} \quad (3.27)$$

ошибка $\Delta = (158,8 - 160,5) 100 / 158,8 = 1,07\%$.

Максимальный и минимальный крутящие моменты

$$M_{кр \max} = 570 \text{ Нм}; \quad M_{кр \min} = 277 \text{ Нм}$$

3.2.5 Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала

Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала. Для проведения расчета результирующей силы, действующей на шатунную шейку рядного двигателя, составляют таблицу 4.3, в которую из таблицы 4.2 переносят значения силы T .

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{R_{III}} = K + p_k F_{II} \text{ Н.} \quad (3.28)$$

Результирующая сила R_{III} , действующая на шатунную шейку, подсчитывается графическим сложением векторов сил T и P_k при построении полярной диаграммы. Масштаб сил на полярной диаграмме для суммарных сил $M_p=0,1$ кН в мм. Значения R_{III} для различных φ заносят в таблицу 4.3 и по ним строят диаграмму R_{III} в прямоугольных координатах.

По развернутой диаграмме R_{III} определяют

$$\begin{aligned} R_{III, \max} &= 17,31 \text{ кН}; \quad R_{III, \min} = 0,577 \text{ кН} \\ R_{III, \text{cp}} &= FM_p / OB = 28425 \cdot 0,1 / 240 = 10,66 \text{ кН}; \end{aligned} \quad (3.29)$$

где OB – длина диаграммы, мм; F – площадь под кривой R_{III} , мм².

По полярной диаграмме строят диаграмму износа шатунной шейки. По диаграмме износа определяют расположение оси масляного отверстия.

3.2.6 Силы, действующие на колено вала

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{PK} = P_K + K_{RK} = P_K - 8,960 \text{ кН.} \quad (3.30)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(PT_k \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_k})^2} \quad (3.31)$$

3.2.7 Силы, действующие на коренные шейки.

Коленчатый вал рассчитываемого двигателя полноопрный с кривошипами, расположенными под углом $\gamma_k=180^0$. Порядок работы двигателя 1–3–4–2. Следовательно, когда первый кривошип повернут на угол $\varphi_1=0^0$, третий кривошип будет находиться в положении $\varphi_3=0(720) - 180=540^0$, четвертый – $\varphi_4=0(720) - 360=360^0$ и второй – $\varphi_2=0(720) - 540=180^0$.

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1}$ (см. таблица 4.5). Изменение силы $R_{к.ш1}$ в зависимости от φ показывает полярная диаграмма R_k , но повернутая на 180^0 .

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (3.32)$$

где $T_{к2} = -0,5(T_1 - T_2)$; $K_{к2} = -0,5(K_{pk1} - K_{pk2})$.

Расчет силы $R_{к.ш2}$ приведен в таблице 4.5.

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (3.33)$$

где $T_{к3} = 0,5(T_2 + T_3)$; $K_{к3} = 0,5(K_{pk2} + K_{pk3})$.

Расчетные силы приведены в приложении.

Нагрузки на 4-ю и 5-ю коренные шейки в соответствии с порядком работы двигателя и расположением кривошипов равны нагрузкам, действующим на 2-ю и 1-ю шейки, но смещены на 360^0 .

4 Расчет основных деталей двигателя

4.1 Расчет поршневой группы

4.1.1 Расчет поршня

Напряжение изгиба в днище поршня.[5]

$$\sigma_{из} = p_{ZД}(r_i/\delta)^2 = 7,659 \cdot (31,75/6,5)^2 = 182,2 \text{ МПа}, \quad (4.1)$$

где $r_i = D/2 - (s+t+\Delta t) = 82,5/2 - (5-3,9-0,6) = 31,75 \text{ мм}$.

Днище поршня должно быть усилено ребрами жесткости.

Напряжение сжатия в сечении х – х

$$\sigma_{сж} = P_{ZД}/F_{х-х} = 0,0409/0,00103 = 39,9 \text{ МПа}, \quad (4.2)$$

где $P_{ZД} = p_{ZД} \cdot F_{П} = 7,659 \cdot 53,45 \cdot 10^{-4} = 0,0409 \text{ МН}$;

$$F_{х-х} = (\pi/4)(d_k^2 - d_i^2) - n_m F' = [(3,14/4)(73,5^2 - 63,5^2) - 10 \cdot 5] \cdot 10^{-6} = 0,00103 \text{ м}^2;$$

$$d_k = D - 2(t + \Delta t) = 82,5 - 2(3,9 - 5) = 73,5 \text{ мм};$$

$$F' = (d_k - d_i) d_m / 2 = (73,5 - 63,5) \cdot 1 / 2 = 5 \text{ мм}^2.$$

Напряжение разрыва в сечении х – х:

$$\omega_{х.х \max} = \pi n_{х.х \max} / 30 = 3,14 \cdot 7500 / 30 = 785 \text{ рад/с}; \quad (4.3)$$

- масса головки поршня с кольцами, расположенными выше сечения х – х:

$$m_{х-х} = 0,5 m_n = 0,5 \cdot 0,316 = 0,158 \text{ кг}; \quad (4.4)$$

- максимальная разрывающая сила

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{x-x \max}^2 (1 + \lambda) = 0,158 \cdot 0,0374 \cdot 785^2 (1 + 0,289) = 0,0045 \text{ МН}; \quad (4.5)$$

Напряжение разрыва

$$\sigma_p = P_j / F_{x-x} = 0,0045 / 0,00103 = 4,4 \text{ МПа}. \quad (4.6)$$

Напряжение в верхней кольцевой перемычке:

- среза

$$\tau = 0,0314 p_{z\pi} D / h_{\pi} = 0,0314 \cdot 7,659 \cdot 82,5 / 3,7 = 5,4 \text{ МПа}; \quad (4.7)$$

- изгиба

$$\sigma_{из} = 0,0045 p_{z\pi} (D / h_{\pi})^2 = 0,0045 \cdot 7,659 \cdot (82,5 / 3,7)^2 = 17,1 \text{ МПа}; \quad (4.8)$$

- сложное

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{17,1^2 + 4 \cdot 5,4^2} = 20,2 \text{ МПа}. \quad (4.9)$$

- удельное давление поршня на стенку цилиндра:

$$q_1 = N_{max} / (h_{ю} D) = 0,0079 / (31,3 \cdot 82,5) \cdot 10^{-3} = 3,059 \text{ МПа}; \quad (4.10)$$

$$q_2 = N_{max} / (H D) = 0,0079 / (50,3 \cdot 82,5) \cdot 10^{-3} = 1,904 \text{ МПа}. \quad (4.11)$$

Диаметры головки и юбки поршня:

$$D_{\Gamma} = D - \Delta_{\Gamma} = 82 - 0,57 = 81,43 \text{ мм}; \quad (4.12)$$

$$D_{Ю} = D - \Delta_{Ю} = 82 - 0,165 = 81,835 \text{ мм}, \quad (4.13)$$

где $\Delta_{\Gamma} = 0,007D = 0,007 \cdot 82 = 0,57 \text{ мм}; \quad \Delta_{Ю} = 0,002D = 0,002 \cdot 82 = 0,165 \text{ мм}.$

Диаметральные зазоры в горячем состоянии

$$\Delta_z = D[1 + \alpha_y(T_y - T_0)] - D_z[1 + \alpha_n(T_n - T_0)] = \quad (4.14)$$

$$= 82,5[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 293)] - 81,93[1 + 22 \cdot 10^{-6}(593 - 293)] = 0,118 \text{ мм};$$

$$\Delta_{ю} = D[1 + \alpha_y(T_{ю} - T_0)] - D_{ю}[1 + \alpha_n(T_{ю} - T_0)] = \quad (4.15)$$

$$= 82,5[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 293)] - 82,335[1 + 22 \cdot 10^{-6}(413 - 293)] = 0,056 \text{ мм},$$

где $T_y=383 \text{ К}$, $T_r=593 \text{ К}$, $T_{ю}=413 \text{ К}$, $T_0=293 \text{ К}$ температуры стенок цилиндра, головки и юбки поршня в рабочем состоянии и начальная температура приняты с учетом водяного охлаждения двигателя.

4.1.2 Расчет поршневого кольца

Необходимые данные приведены в п. 5.1.1. Материал кольца – серый чугун, $E=1,0 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Среднее давление кольца на стенку цилиндра

$$P_{cp} = 0,152 E \frac{A_0/t}{(D/t-1)^3(D/t)} = 0,152 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot \frac{11,7/3,9}{(82,5/3,9-1)^3(82,5/3,9)} = 0,265 \text{ МПа}, \quad (4.16)$$

где $A_0=3t=3 \cdot 3,9=11,7 \text{ мм}$.

Давление (МПа) кольца на стенку цилиндра в различных точках окружности

$$p = p_{cp} \mu_k, \quad (4.17)$$

Значения μ_k для различных углов ψ , а также результаты расчета p приведены ниже.

Таблица 4.1 - Давление кольца на стенку цилиндра в различных точках окружности:

ψ , град.	0	30	60	90	120	150	180
μ_k	1,05	1,05	1,14	0,90	0,45	0,67	2,85
p , МПа	0,277	0,277	0,3	0,237	0,118	0,176	0,75

Напряжение изгиба кольца в рабочем состоянии

$$\sigma_{изг} = 2,61 p_{cp} (D/t - 1)^2 = 2,61 \cdot 0,265 (82,5/3,9 - 1)^2 = 279 \text{ МПа.} \quad (4.18)$$

Напряжение изгиба при давлении кольца на поршень

$$\sigma_{изг} = \frac{4E(1 - 0,114 A_0/t)}{m(D/t - 1,4)(D/t)} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^5 (1 - 0,114 \cdot 11,7/3,9)}{1,57(82,5/3,9 - 1,4)(82,5/3,9)} = 401 \text{ МПа.} \quad (4.19)$$

Монтажный зазор в рамке поршневого кольца

$$\Delta_k = \Delta'_k + \pi D [\alpha_k (T_k - T_0) - \alpha_u (T_u - T_0)] = 0,08 + 3,14 \cdot 82,5 [11 \cdot 10^{-6} (493 - 293) - 11 \cdot 10^{-6} (383 - 293)] = 0,414 \text{ мм,} \quad (4.20)$$

4.1.3 Расчет поршневого пальца

Расчетная сила, действующая на поршневой палец:

- газовая

$$P_{z \max} = p_{z \max} F_n = 9,1489 \cdot 53,45 \cdot 10^4 = 0,0409 \text{ МН;} \quad (4.21)$$

- инерционная

$$P_j = -m_n \omega_m^2 R(1 + \lambda) \cdot 10^{-6} = -0,316 \cdot 691^2 \cdot 0,0374 (1 + 0,289) \cdot 10^{-6} = -0,00703 \text{ МН,} \quad (4.22)$$

где $\omega_m = \pi n_m / 30 = 3,14 \cdot 6600 / 30 = 691 \text{ рад/с;}$

- расчетная

$$P = P_{z \max} + kP_j = 0,0409 + 0,82 \cdot 0,00703 = 0,0352 \text{ МН.} \quad (4.23)$$

где $k=0,82$ – коэффициент, учитывающий массу поршневого пальца.

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна

$$q_{uw} = P/d_n l_{uw} = 0,0352 / (0,022 \cdot 0,028) = 68,1 \text{ МПа.} \quad (4.24)$$

Удельное давление пальца на бобышки

$$q_b = P/d_n (l_n - b) = 0,0352 / (0,022 (0,028 - 0,032)) = 53,3 \text{ МПа.} \quad (4.25)$$

Напряжение изгиба в среднем сечении пальца

$$\sigma_{из} = \frac{P(l_n + 2b - 1,5l_{uw})}{1,2(1 - \alpha^4)d_n^3} = \frac{0,0352(0,068 + 2 \cdot 0,032 - 1,5 \cdot 0,028)}{1,2(1 - 0,682^4)0,022^3} = 262,5 \text{ МПа,} \quad (4.26)$$

где $\alpha = d_\phi/d_n = 15/22 = 0,682$.

Касательная напряжения среза в сечениях между бобышками и головкой шатуна

$$\tau = \frac{0,85P(1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4)d_n^2} = \frac{0,85 \cdot 0,0352(1 + 0,682 + 0,682^2)}{(1 - 0,682^2) \cdot 0,022^2} = 132 \text{ МПа.} \quad (4.27)$$

Наибольшее увеличение горизонтального диаметра пальца при овализации:

$$\begin{aligned} \Delta d_{n \max} &= \frac{1,35P}{El_n} \left(\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right)^3 \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= \frac{1,35 \cdot 0,0352}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,068} \left(\frac{1 + 0,682}{1 - 0,682} \right)^3 \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] \cdot 10^3 = 0,0159 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.28)$$

Напряжение овализации на внешней поверхности пальца:

- в горизонтальной плоскости (точки 1, $\psi=0^0$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} - \frac{1}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= \frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,19 \frac{(2+0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2} - \frac{1}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 73 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (4.29)$$

- в вертикальной плоскости (точки 3, $\psi=90^0$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90} &= -\frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} + \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,174 \frac{(2+0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2} + \frac{0,636}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -92,6 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (4.30)$$

Напряжение овализации на внутренней поверхности пальца:

- в горизонтальной плоскости (точки 2, $\psi=0^0$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0} &= -\frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} + \frac{1}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,19 \frac{(1+2 \cdot 0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2 \cdot 0,682} + \frac{1}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -147 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (4.31)$$

- в вертикальной плоскости (точки 4, $\psi=90^0$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \\ &= \frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,174 \frac{(1+2 \cdot 0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2 \cdot 0,682} - \frac{0,636}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 159 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (4.32)$$

4.2 Расчет шатуна

4.2.1 Расчет стержня шатуна

Сила, сжимающая шатун, достигает максимального значения в начале рабочего хода при p_{zd} . [5]

$$P_{сж} = F_n(p_{zd} - p_0) - m_j R \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi) \cdot 10^{-6} = 0,029719 \text{ МН} \quad (4.33)$$

Сила, растягивающая шатун, достигает максимального значения в начале впуска (в в.м.т.).

$$P_{сж} = F_n p_r - m_j R \omega^2 (1 + \lambda) \cdot 10^{-6} = -0,010971 \text{ МН} \quad (4.34)$$

Площадь и моменты инерции

$$F_{cp} = h_{ш} b_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш}) = \quad (4.35)$$

$$= 15,14 - (14 - 7)(15 - 2,4,4) = 166,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$J_x = [b_{ш} \cdot h_{ш}^3 - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш})^3] / 12 = \quad (4.36)$$

$$= [153,14 - (14 - 7)(15 - 2,4,4)^3] / 12 = 3798,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$J_y = [b_{ш}^3 \cdot h_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})^3 (h_{ш} - 2t_{ш})] / 12 = \quad (4.37)$$

$$= [15,143 - (14 - 7)^3 (15 - 2,4,4)] / 12 = 3252,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Максимальное напряжение от сжимающей силы:

- в плоскости качания шатуна

$$\sigma_{\max, x} = K_x \cdot P_{сж} / F_{cp} \cdot 10^{-6} = 1,268 \cdot 0,029719 / 166,6 \cdot 10^{-6} = 226,32 \text{ МПа} \quad (4.38)$$

где $K_x = 1,268$

- в плоскости, перпендикулярной плоскости качания шатуна:

$$\sigma_{\max, y} = K_y \cdot P_{сж} / F_{cp} \cdot 10^{-6} = 1,095 \cdot 0,029719 / 166,6 \cdot 10^{-6} = 195,34 \text{ МПа} \quad (4.39)$$

где $K_y = 1,095$

Минимальное напряжение от растягивающей силы

$$\sigma_{\min} = P_p / F_{cp} = 0,029719 / 166,6 \cdot 10^{-6} = -65,852 \text{ МПа.} \quad (4.40)$$

Среднее напряжение и амплитуды цикла:

$$\sigma_{m.x} := \frac{\sigma_{\max.x} + \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{m.x} = 80.2371 \text{ МПа} \quad (4.41)$$

$$\sigma_{m.y} := \frac{\sigma_{\max.y} + \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{m.y} = 64.7456 \text{ МПа} \quad (4.42)$$

$$\sigma_{a.x} := \frac{\sigma_{\max.x} - \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{a.x} = 146.0893 \text{ МПа} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{a.y} := \frac{\sigma_{\max.y} - \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{a.y} = 130.5978 \text{ МПа} \quad (4.44)$$

$$\sigma_{a.k.x} := \frac{\sigma_{a.x} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_M \cdot \varepsilon_{II}} \quad \sigma_{a.k.x} = 277.8492 \text{ МПа} \quad (4.45)$$

$$\sigma_{a.k.y} := \frac{\sigma_{a.y} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_M \cdot \varepsilon_{II}} \quad \sigma_{a.k.y} = 248.3857 \text{ МПа} \quad (4.46)$$

где $k_{\sigma}=1,272$; $\varepsilon_M=0,88$ – определяется по табл. 48 [1]; $\varepsilon_{II}=1,3$ – определяется по табл. 49 [1].

Запас прочности.

$$n_{T.\sigma.x} := \frac{\sigma_T}{\sigma_{a.k.x} + \sigma_{m.x}} \quad n_{T.\sigma.x} = 1.1729 \quad (4.47)$$

$$n_{T.\sigma.y} := \frac{\sigma_T}{\sigma_{a.k.y} + \sigma_{m.y}} \quad n_{T.\sigma.y} = 1.34129 \quad (4.48)$$

5 Специальная часть

5.1 Описание конструкции модернизированного двигателя

Четырехцилиндровый, рядный, четырехтактный, бензиновый двигатель с распределенным впрыском топлива, жидкостного охлаждения, с четырьмя клапанами на цилиндр. Расчетная эффективная мощность $N_e=70,42$ кВт при частоте вращения коленчатого вала $n=5600$ об/мин (см. п.1.1.10). Двигатель четырехцилиндровый ($i=4$) с рядным расположением цилиндров, рабочим объемом $V_l=1,5$ л, диаметр цилиндра $D=82$ мм, ход поршня $S=71$ мм. Степень сжатия $\varepsilon=11,5$. Коленчатый вал – пятиопорный, чугунный, литой. Головка блока – из алюминиевого сплава. Привод распределительного вала – поликлиновой ремень. Расположение клапанов – верхнее, рядное, наклонное. Привод клапанов – через гидрокомпенсаторы от двух распределительных валов (для впускных и выпускных клапанов).

В ходе модернизации были внесены в конструкцию следующие изменения. Во-первых была спроектирована компактная камера сгорания, площадь вытеснителей была увеличена с 9% до 28%. Диаметр впускных клапанов был уменьшен с 29 мм до 27 мм, диаметр выпускных клапанов был уменьшен с 26 мм до 24 мм. Были также внесены изменения в систему впуска, проходное сечение впускного канала было уменьшено на 12%. Один из впускных каналов был спрофилирован для создания в цилиндре двигателя горизонтального вихревого движения, в то время как второй канал имеет обычную форму, но имеет ширму на впускном клапане. Ширма установлена с таким расчётом чтобы создавать во время впуска сильное вертикальное вихревое движение, поэтому клапан заширмлен на 180° и угол между линиями проходящими от свечи через центр клапана и центр ширмы составляет 30° .

5.2 Сравнительный анализ спроектированного двигателя с двигателем ВАЗ 2112

Применение новой конструкции впускных каналов позволило несколько поднять коэффициент наполнения на малых и средних оборотах, в то время как на высоких оборотах он несколько ниже, чем на базовом двигателе. Это произошло за счет того, что проходное сечение каналов было уменьшено практически на 10%, что заметно повысило скорость движения потока по каналам, тем самым увеличилась инерциальность потока. Высокие скорости потока в процессе впуска создают в цилиндре двигателя высокую турбулентность потока, что способствует хорошему перемешиванию смеси, тем самым, повышая её однородность, что улучшает протекание процесса горения. Применение новой системы впуска позволило создать в цилиндре двигателя хорошо сформировавшуюся структуру потока с вихревым движением по всем плоскостям, коэффициент вихревого движения в горизонтальной плоскости в процессе впуска достигал 3.4, а в вертикальной плоскости 2.9. 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. Предполагаемая пульсационная скорость потока в конце процесса сжатия составила 2 м/с, при этом сохраняется достаточно высокая конвективная скорость потока примерно 11 м/с, по сравнению с базовым двигателем, у которого пульсационная скорость составила порядка 0,5 м/с, а конвективная 3 м/с. Высокие скорости и турбулентность потока в процессе наполнения позволяют получить высокую степень однородности смеси, по сравнению с базовым. Благодаря компактной форме камеры сгорания, а также высокими значениями турбулентности и скорости потока удалось заметно улучшить детонационную стойкость, по оценке с исследуемыми аналогами детонационная стойкость по давлению возросла на 10%, что позволяет работать на оптималь-

ных углах опережения зажигания не опасаясь детонации, что также даёт возможность для дальнейшего увеличения степени сжатия. За счет высоких скоростей и турбулентности потока, в сочетании с компактной камерой сгорания, удалось заметно сократить продолжительность горения во всех фазах в итоге общая продолжительность горения сократилась почти на 10° поворота коленчатого вала и составила 45° п.к.в., в то время как у базового оно составляет порядка 55° п.к.в. Всё это позволило повысить полноту сгорания топлива, а также индикаторный коэффициент полезного действия. Выбросы не сгоревших углеводородов на прогретом двигателе должны несколько уменьшиться, так как задаваясь величиной щелевого объёма на прогретом двигателе равном 0,7 мм, и более высокой интенсивностью турбулентности, а, следовательно, и максимальной температурой в процессе сгорания было получено значительное уменьшение пристеночного слоя камеры сгорания. Содержание в отработавших газах оксида азота будет несколько выше из-за более высокой температуры и давления в процессе сгорания.

Для сравнительного анализа основные показатели спроектированного двигателя и двигателя ВАЗ-2112 сведены в таблицу 7.1.

Таблица 5.1 - Сравнение расчетных эффективных и экономичных показателей базового и модернизированного двигателей.

п мин ⁻¹	g _e баз г/кВт*ч	g _e нов г/кВт*ч	Me баз Н*м	Me нов Н*м	Gt баз кг/ч	Gt нов кг/ч	Ne баз КВт	Ne нов КВт
850	271,2995	248,33	109,6317	115,328	3,673048	3,936	9,5025	12,63
3400	240,2463	203,348	131,5549	148,25	12,36788	12,948	51,48	58,76
5000	254,6321	224,16	124,9823	127,32	17,0123	16,983	62,33	70,42
5600	262,2322	257,12	115,1884	120,08	18,2401	18,106	72,55	68,23
6200	271,3461	267,54	101,2225	103,41	18,95112	18,845	63,6	61,54

5.3 Оценка токсичности отработавших спроектированного двигателя

Для проведения эффективных мероприятий по снижению концентрации СН в отработавших газах автомобильных двигателей необходим анализ физико-химических основ образования и разложения углеводородных соединений в

цилиндре ДВС. Одним из факторов, влияющих на выделение углеводородов двигателем, является состав смеси. Как показано на рисунке 7.7, эмиссия углеводородов велика как для бедных, так и богатых смесей, а минимум ее соответствует коэффициенту избытка воздуха, равному около 1.15 – 1.2 [4, 5, 6]. Повышение эмиссии при обеднении смеси обусловлено неполным сгоранием. Горение не завершается перед охлаждением газов в такте расширения и гашением реакций или из-за того, что свеча не зажигает смесь, или из-за того, что пламя недостаточно быстро распространяется по заряду. На нормальном режиме работы двигателя сгорание в основной массе газа, по существу, полное. Источником несгоревших углеводородов бензинового двигателя являются замороженные слои и зазоры у стенок цилиндра [4, 6, 7, 8]. Существование замороженных слоев продемонстрировано с помощью фотографий, показывающих уменьшение свечения пламени вблизи стенок [9]. Пламя распространяется к стенке камеры сгорания, но тепло от стенки отводится и радикалы рекомбинируют на стенке. Несгоревшая смесь вблизи холодной стенки цилиндра и поверхности поршня гасит реакции сгорания в пристеночных слоях. В этих слоях остаются углеводородные компоненты, образовавшиеся из нагретого, но не сгоревшего топлива, и углеводородные составляющие бензина [6, 7].

На основании анализа обширных исследований, определено, что на образование СН в цилиндре ДВС оказывают влияние следующие факторы: скорость сгорания, степень сжатия, конструкция камеры сгорания, состав смеси и рециркуляция, нагрузка, турбулентность заряда, температура стенок КС, шероховатость поверхности и отложения.

В то же время, факторы, определяющие рабочий процесс, такие как момент зажигания, динамика тепловыделения, зависят от скорости сгорания. Состав топлива, состав смеси, турбулентность заряда и степень разбавления остаточными газами влияют на скорость сгорания. Условия горения в КС, в т.ч. локальные, т.е. условия окисления углеводородов в пристеночных слоях и зазорах, зависят от турбулентности заряда и физико-химических свойств смеси.

6 Безопасность и экологичность объекта бакалаврской работы

6.1 Экономичность, токсичность и дымность отработавших газов ДВС

В отработавших газах присутствует большое количество (до 300) химических веществ, среди которых выделяются токсические составляющие CO_2 , CO , NO_x , CH и сажа (твёрдые частицы), а также канцерогенные вещества, соединения серы и свинца, которые по степени токсичности опаснее чем CO_2 , CO , NO_x , CH . Поэтому уделяется большое внимание по их уменьшению путём конструктивного и технологического совершенствования ДВС.

В данной бакалаврской работе предлагается изменить форму камеры сгорания, проходное сечение впускных и выпускных каналов, а также спрофилировать форму впускных каналов, чтобы обеспечить устойчивое вихревое движение ТВС на такте сжатия и в процессе сгорания.

Данные мероприятия влияют на токсичность отработавших газов следующим образом:

CH – токсичность по данному компоненту снижается за счет большей интенсивности турбулентности в камере сгорания и её компактности, что позволяет лучше догорать CH 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 CH на 15% по сравнению с базовыми показателями.

NO – токсичность по данному компоненту повышается, т.к. более быстрое и интенсивное сгорание обеспечивает большие значения температуры за фронтом пламени, что приводит к росту образования NO в процессе сгорания. Для выполнения норм по токсичности ОГ необходимо устанавливать современные каталитические нейтрализаторы накопительного типа, которые будут собирать избыточный NO в отстойник, и восстанавливать его при кратковременной работе на богатой смеси.

СО – токсичность по данному компоненту снижается, т.к. повышается полнота сгорания.

Экономичность работы двигателя будет улучшаться, за счет более высокого термического КПД обеспеченного повышенной интенсивностью процесса сгорания, так согласно расчетам удельный эффективный расход топлива уменьшится на 5%.

6.2 Температурное состояние деталей связанных с компактной камерой сгорания

Температурное состояние узлов и агрегатов ДВС – состояние, характеризующее способность системы охлаждения ДВС к отводу избыточного тепла от его деталей, узлов и агрегатов и обеспечения температурного режима, необходимого для их эффективного и безотказного функционирования.

Ожидается, что установке компактной камеры сгорания температурные поля головки блока цилиндров, будут повышенной и могут достигать высоких значений, вследствие более быстрого сгорания и соответственно более высоким температурам в камере сгорания и головки блока.

Однако причин для волнения о повышенной тепловой напряженности деталей привода возникать не должно т.к. система охлаждения двигателя останется неизменной и будет выполнять свои функции в полном объеме.

6.3 Шумность при работе ДВС с новой системой впуска и камерой сгорания

Шум – неприятный, раздражающий, вредный для здоровья человека (и других живых организмов), нежелательный звук.

Шум движущегося автомобиля складывается из шума, создаваемого двигателем и его системами, агрегатами автомобиля, кузовом, который колеблется от воздействия двигателя, дороги, потока воздуха, и шума вспомогательного

оборудования. Количественная оценка шума каждого источника представляет собой сложную экспериментальную задачу.

Для легковых автомобилей, по данным ВАЗа, наиболее мощными источниками шума являются двигатель, система выпуска отработанных газов (шум выхлопа), система подачи воздуха в цилиндры двигателя (шум всасывания) и вентилятор. Остальные источники значительно слабее. Шум от наибольшего из них (шин) составляет менее 67 дБА.

На шумность работы двигателя установка компактной камеры сгорания влияет, прежде всего, повышение скорости потока во впускных и выпускных каналах вследствие их уменьшения проходного сечения, а также увеличения рабочего объема двигателя.

Прогнозирование уровня механического шума двигателя Шум поршневого двигателя внутреннего сгорания (ПДВС) является следствием рабочих процессов в цилиндрах, механизмах и системах, преобразующих химическую энергию топлива в тепловую и далее - в механическую. Часть энергии рабочих процессов (свободная энергия) преобразуется в звуковую.

При реализации рабочих и динамических процессов в механизмах и системах ПДВС возникают периодические свободные, или возмущающие силы. В ПДВС основными источниками шума являются:

- процесс сгорания топлива в цилиндрах, сопровождающийся возникновением газодинамических сил;
- рабочие динамические процессы в механизмах и системах (кривошипно-шатунном, газораспределительном, в системах топливоподачи, смазки и др.), сопровождающиеся возникновением ударов в сопряжениях и сил инерции;
- процессы впуска свежего заряда и выпуска отработавших газов (аэрогазодинамические силы);
- процесс взаимодействия лопастей вентиляторов системы охлаждения с упругой воздушной средой (аэродинамические силы).

Исходя из вышесказанного, однозначного заключения о пороге шумности при работе двигателя с компактной камерой сгорания сделать нельзя, т.к. отсутствует опытный образец и проведённые испытания на шумность.

Чтобы данная конструкция имела успех, нужно пройти испытания на внутренний шум АТС по ГОСТу Р 51616 и на внешний шум по правилам R 51 ЕЭК ООН.

6.4 Эффективность применения новой камеры сгорания и впускных каналов

Применение новой конструкции впускных каналов позволило несколько поднять коэффициент наполнения на малых и средних оборотах, в то время как на высоких оборотах он несколько ниже, чем на базовом двигателе. Это произошло за счет того, что проходное сечение каналов было уменьшено практически на 10%, что заметно повысило скорость движения потока по каналам, тем самым увеличилась инерциальность потока. 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 всем плоскостям, коэффициент вихревого движения в горизонтальной плоскости в процессе впуска достигал 3.4, а в вертикальной плоскости 2.9. 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 несо-

ревших углеводородов. Предполагаемая пульсационная скорость потока в конце процесса сжатия составила 2 м/с, при этом сохраняется достаточно высокая конвективная скорость потока примерно 11 м/с, по сравнению с базовым двигателем, у которого пульсационная скорость составила порядка 0,5 м/с, а конвективная 3 м/с. Высокие скорости и турбулентность потока в процессе наполнения позволяют получить высокую степень гомогенности смеси, по сравнению с базовым. Благодаря компактной форме камеры сгорания, а также высокими значениями турбулентности и скорости потока удалось заметно улучшить детонационную стойкость, по оценке с исследуемыми аналогами детонационная стойкость по давлению возросла на 10%, что позволяет работать на оптимальных углах опережения зажигания не опасаясь детонации, что также даёт возможность для дальнейшего увеличения степени сжатия. За счет высоких скоростей и турбулентности потока, в сочетании с компактной камерой сгорания, удалось заметно сократить продолжительность горения во всех фазах в итоге общая продолжительность горения сократилась почти на 10° поворота коленчатого вала и составила 45° п.к.в., в то время как у базового оно составляет порядка 55° п.к.в. Всё это позволило повысить полноту сгорания топлива, а также индикаторный коэффициент полезного действия. Выбросы не сгоревших углеводородов на прогретом двигателе должны несколько уменьшиться, так как задаваясь величиной щелевого объёма на прогретом двигателе равном 0,7 мм, и более высокой интенсивностью турбулентности, а, следовательно, и максимальной температурой в процессе сгорания было получено значительное уменьшение пристеночного слоя камеры сгорания. Содержание в отработавших газах оксида азота будет несколько выше из-за более высокой температуры и давления в процессе сгорания.

6.5 Выводы по разделу безопасность и экологичность

Предполагается, что проектируемая конструкция компактной камеры сгорания, соответствует предъявляемым нормативным требованиям в отноше-

нии достижения удовлетворительных характеристик безопасности и экологичности. Для этого она должна пройти обязательную сертификацию АТС в РФ, которая предусматривает процедуру отипования автомобилей, изложенную в системе сертификации ГОСТ Р. Также нужно пройти процесс омологации (официальное утверждение типа транспортного средства) т.е. сертификацию продукции в соответствии с Правилами Европейской экономической комиссии при Организации Объединённых наций (ЕЭК ООН). Он подразумевает контрольную проверку соответствия транспортного средства требованиям безопасности и экологичности с выдачей соответствующих подтверждающих документов. После этого получается документ одобрения транспортного средства, подтверждающий обеспечение необходимой уверенности в том, что должным образом идентифицированное транспортное средство, проведённое в соответствии с установленной процедурой, соответствует перечню нормативных технических требований, предъявляемых к данному типу транспортного средства.

При этом получено в двигателе с модернизированной системой впуска и камерой сгорания следующие показатели:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 220 г/кВт*ч , в среднем его снижение по сравнению с базовым составило около 15%;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600 \text{ мин}^{-1}$ 56 кВт;
- снижение токсичности в отработавших газах по несгоревшим углеводородам (СН), оксидам углерода (СО) и оксидам азота, также произойдет снижение на выбросов парникового газа CO_2 вследствие уменьшения эффективного расхода топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе спроектирован новый автомобильный бензиновый двигатель, выполняющий нормы ЕВРО-4. Для снижения токсичности отработавших газов применена компактная камера сгорания и спроектирована система впуска создающая устойчивое движение потока. Также работа двигателя осуществляется на бедной смеси $\alpha=1,15$ при степени сжатия 10,5. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, основных деталей и систем двигателя, проведена оценка влияния формы камеры сгорания, турбулентности и вихревого движения потока на эффективность процесса сгорания и токсичность отработавших газов.

Получено в двигателе модернизированной системой впуска и камерой сгорания выполняющего нормы ЕВРО-4:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 220 г/кВт*ч, в среднем его снижение по сравнению с базовым составило около 15%;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600 \text{ мин}^{-1}$ 56 кВт;
- снижение токсичности в отработавших газах по несгоревшим углеводородам (СН), оксидам углерода (СО) и оксидам азота, также произойдет снижение на выбросов парникового газа CO_2 .

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» показано что, спроектированный двигатель выполняет нормы по ограничению токсичности отработавших газов автотранспортных ДВС ОСТ 37.001.234-84 согласно правилам ЕЭК ООН (N 24 , N 49 , N 83 , N 96), а также ГОСТ Р 52231-04 «Внешний шум автомобилей в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерения» согласно Правилам ЕЭК ООН №51.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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 1980. - с.496.
2. 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 издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1985. - с.456.
3. Ховаха, М.С. Автомобильные двигатели – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] /Под редакцией М.С. Ховаха// М.: Машиностроение, 1977. - с.636.
4. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /В.П. Алексеев, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова//. –3-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. - с.528.
5. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, 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. – с.384
6. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В.И. Анурьев// В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. - с.296.
7. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
8. Кузнецов, Ю.М. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта [Текст] /. М.: Транспорт, 1986.

9. Луканин, В.Н. Промышленная транспортная экология [Текст] / М.: Высшая школа, 2001.
10. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности [Текст] / М.: Энергоатомиздат, 1985.
11. Dake, A.R. Modeling and control of cold start hydrocarbon emissions [Текст] / A.R. Dake // Master thesis. – 2005. - 101 с.
12. El-Mahallawy, F. Fundamentals and technology of combustion [Текст] / F. El-Mahallawy, S. E-Din Habik. – London : Elsevier, 2002. – 862 с.
13. Eriksson, L. Spark Advance Modeling and Control / L. Eriksson [Текст] // Doctoral thesis. – 1999. - 207 с.
14. Кузнецов, В.Р. Турбулентность и горение [Текст] / Кузнецов, В.Р., Собольников В.А.// М. Наука, 1986. - 207 с.
15. Войнов, В.В. Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / М. Наука, 1984. - 211 с.
16. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / М. Машиностроение, 1981. - 210 с.
17. Nlootat, G. A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours [Текст] / SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.
18. Khalighi, B. Computation and Measurement of Flow and Combustion in a Four-Valve Engine with Intake Variations [Текст] / SAE, SP 1101, №950287, 2001. - с. 147-179,
19. Jones, P. Full Cycle Computational Fluid Dynamics Calculations in a Motored Four Valve Pent Roof Combustion Chamber and Comparison with Experiment [Текст] / SAE, SP 1101, №950286, 2001. - с. 131-146
20. Наканиши, К. Разработка новой системы впуска для четырёхклапанного двигателя, работающего на бедных смесях [Текст] / SAE, SP 1097, №95050, 1997. - с. 25-43
21. Хашимото, Н. Разработка низкотоксичной, высокоэффективной камеры сгорания для высокомоощного четырехклапанного двигателя [Текст] / SAE, SP 1098, №95068, 1998. - с. 347-365

22. Аносов, Ю.М. Основы отраслевых технологий и организации производства [Текст] / С-П., Политехника, 2002.
23. Каргин, С.А. Теоретическое обоснование и экспериментальное исследование рабочего процесса судового ДВС с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением : канд. техн. наук : 05.08.05 / Каргин Сергей Александрович. – Астрахань, 2006. – 177 с.
24. Каменев, В.Ф. Научные основы и пути совершенствования токсических характеристик автомобильных двигателей с искровым зажиганием: Дисс. . докт.техн.наук: 05.04.02 ГНЦ НАМИ / Каменев Владимир Федорович. - Москва, 1996. - 454 с.
25. Кутенёв, В.Ф. Комплексное решение проблем снижения выбросов вредных веществ и расхода топлива автомобильными двигателями. Автореф. дисс. докт. техн. наук. 05.04.02 / Кутенёв Вадим Федорович. - М.: МАМИ. - 1990. - 45 с.
26. Машиностроение. Энциклопедия [Текст] / : в 40 т. / гл. ред. К.В. Фролов (пред.) и др.— М.: Машиностроение, 2013.- Т. IV-14: Двигатели внутреннего сгорания.- 784с.
27. Семенов, Е.С. Исследование турбулентности в цилиндре поршневого двигателя [Текст] // Е.С. Семенов, А.С. Соколик // Известия АН СССР. – 1958. - № 8. - С. 130-140.
28. Смоленская, Н.М. Исследование эффективности рабочего процесса бензиновых двигателей с использованием электропроводности пламени [Текст] / Н.М. Смоленская, В.В. Смоленский, П.В. Ивагин, А.П. Шайкин // ВНТК "Проведение научных исследований в области машиностроения". 27-28 ноября 2009. Тольятти: Изд-во ТГУ. - 2009. С.244-250.
29. Стечкин, Б.С. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя [Текст] / Б.С. Стечкин, К.И. Генкин, В.С. Золотаревский. – М. : АН СССР, 1960. – 200 с.
30. Рахимов, Р.Р. Улучшение показателей двигателей с искровым зажиганием путем интенсификации сгорания бедных смесей : автореферат дис. ... кандидата технических наук / Р. Р. Рахимов. - Волгоград: ВолГТУ, 1999.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 850 \text{ мин}^{-1}$

					ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ												
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
15	35	1	10,5	1,0524	1,824	767,833	1,003	0,9500	52,5053	0,0431	0,2930	3					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vсг	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-15	0,11542	0,0439	1,20853	2,3E-06	767,8334	767,8334	774,2261	767,8334	771,0297			4,6E-06	1,824	1	1	0
1	-14	0,11287	0,0383	1,18187	3,5E-05	774,2261	774,2261	781,1208	774,2261	777,6734	1,3585	6,5792	6,9E-05	1,88067	1	1	4,6E-06
2	-13	0,1105	0,0331	1,15699	0,00015	781,1208	781,1208	789,3845	781,1207	785,2527	1,3576	6,5925	0,0003	1,93823	1	1	7,37E-05
3	-12	0,10829	0,0282	1,13391	0,0004	789,3845	789,3845	800,2265	789,3844	794,8055	1,3567	6,6076	0,0008	1,99863	1	1	0,000373
4	-11	0,10626	0,0237	1,11263	0,00085	800,2265	800,2265	815,1734	800,2262	807,7	1,3555	6,6264	0,0017	2,06489	1,0001	1	0,001178
5	-10	0,1044	0,0196	1,09316	0,00154	815,1734	815,1734	836,0236	815,1728	825,5985	1,3539	6,6514	0,00308	2,14105	1,0001	1,0001	0,002873
6	-9	0,10272	0,0159	1,07552	0,00252	836,0236	836,0236	864,7717	836,0228	850,3977	1,3518	6,6851	0,00504	2,2321	1,0003	1,0002	0,005948
7	-8	0,10121	0,0126	1,05971	0,00384	864,7717	864,7717	903,5025	864,7718	884,1371	1,349	6,7301	0,00769	2,34377	1,0006	1,0004	0,010992
8	-7	0,09987	0,0096	1,04574	0,00554	903,5025	903,5025	954,2551	903,5072	928,8788	1,3455	6,7883	0,01107	2,48226	1,0009	1,0007	0,018679
9	-6	0,09872	0,0071	1,03363	0,00762	954,2551	954,2551	1018,87	954,2741	986,5624	1,3413	6,8607	0,01524	2,65372	1,0015	1,0012	0,029751
10	-5	0,09774	0,0049	1,02336	0,01009	1018,87	1018,87	1098,829	1018,924	1058,85	1,3363	6,9466	0,02019	2,86381	1,0023	1,0019	0,044991
11	-4	0,09693	0,0031	1,01496	0,01293	1098,829	1098,829	1195,107	1098,956	1146,968	1,3309	7,0441	0,02586	3,11709	1,0033	1,0028	0,065177
12	-3	0,09631	0,0018	1,00842	0,01608	1195,107	1195,107	1308,029	1195,362	1251,568	1,3252	7,15	0,03216	3,41648	1,0046	1,0039	0,091042
13	-2	0,09586	0,0008	1,00374	0,01944	1308,029	1308,029	1437,149	1308,488	1372,589	1,3195	7,2603	0,03889	3,76268	1,0062	1,0054	0,123202
14	-1	0,09559	0,0002	1,00094	0,0229	1437,149	1437,149	1581,158	1437,899	1509,154	1,3139	7,3709	0,04579	4,15376	1,0081	1,0072	0,16209
15	0	0,0955	0	1	0,02627	1581,158	1581,158	1737,823	1582,287	1659,491	1,3087	7,4781	0,05255	4,58481	1,0104	1,0093	0,207884
16	1	0,09559	0,0002	1,00094	0,02938	1737,823	1737,823	1903,99	1739,407	1820,906	1,304	7,579	0,05876	5,0477	1,0131	1,0118	0,260432
17	2	0,09586	0,0008	1,00374	0,03201	1903,99	1903,99	2075,67	1906,085	1989,83	1,2998	7,6714	0,06403	5,53118	1,016	1,0146	0,319197
18	3	0,09631	0,0018	1,00842	0,03396	2075,67	2075,67	2248,23	2078,307	2161,95	1,2961	7,7538	0,06792	6,02125	1,0193	1,0177	0,383223
19	4	0,09693	0,0031	1,01496	0,03505	2248,23	2248,23	2416,671	2251,408	2332,451	1,293	7,8256	0,07009	6,50183	1,0227	1,021	0,451145
20	5	0,09774	0,0049	1,02336	0,03513	2416,671	2416,671	2576	2420,365	2496,336	1,2904	7,8866	0,07027	6,95591	1,0262	1,0244	0,521235
21	6	0,09872	0,0071	1,03363	0,03417	2576	2576	2721,636	2580,163	2648,818	1,2883	7,9373	0,06835	7,3668	1,0297	1,028	0,591505
22	7	0,09987	0,0096	1,04574	0,03219	2721,636	2721,636	2849,811	2726,207	2785,724	1,2866	7,9781	0,06439	7,71965	1,0332	1,0314	0,659853
23	8	0,10121	0,0126	1,05971	0,02932	2849,811	2849,811	2957,893	2854,721	2903,852	1,2853	8,01	0,05864	8,00282	1,0364	1,0348	0,72424

24	9	0,10272	0,0159	1,07552	0,02576	2957,893	2957,893	3044,59	2963,07	3001,241	1,2843	8,0339	0,05153	8,20893	1,0394	1,0379	0,782879
25	10	0,1044	0,0196	1,09316	0,02179	3044,59	3044,59	3109,985	3049,966	3077,288	1,2836	8,0511	0,04358	8,33548	1,0419	1,0406	0,834405
26	11	0,10626	0,0237	1,11263	0,0177	3109,985	3109,985	3155,407	3115,497	3132,696	1,2832	8,0625	0,03541	8,38482	1,0441	1,043	0,87799
27	12	0,10829	0,0282	1,13391	0,01378	3155,407	3155,407	3183,149	3160,999	3169,278	1,2829	8,0694	0,02756	8,36351	1,0459	1,045	0,913399
28	13	0,1105	0,0331	1,15699	0,01025	3183,149	3183,149	3196,102	3188,775	3189,625	1,2828	8,0728	0,0205	8,28117	1,0473	1,0466	0,940959
29	14	0,11287	0,0383	1,18187	0,00726	3196,102	3196,102	3197,362	3201,726	3196,732	1,2827	8,0736	0,01452	8,14916	1,0483	1,0478	0,961454
30	15	0,11542	0,0439	1,20853	0,00489	3197,362	3197,362	3189,882	3202,954	3193,622	1,2828	8,0724	0,00978	7,97914	1,0491	1,0487	0,975978
31	16	0,11814	0,0499	1,23696	0,00312	3189,882	3189,882	3176,225	3195,422	3183,054	1,2829	8,07	0,00623	7,78196	1,0495	1,0493	0,985755
32	17	0,12102	0,0562	1,26715	0,00188	3176,225	3176,225	3158,434	3181,698	3167,329	1,283	8,0667	0,00375	7,56687	1,0499	1,0497	0,99199
33	18	0,12407	0,063	1,29907	0,00106	3158,434	3158,434	3138,011	3163,829	3148,222	1,2832	8,0629	0,00213	7,34123	1,05	1,05	0,995743
34	19	0,12728	0,07	1,33271	0,00057	3138,011	3138,011	3115,987	3143,322	3126,999	1,2833	8,0587	0,00113	7,11051	1,0502	1,0501	0,99787
35	20	0,13066	0,0775	1,36807	0,00028	3115,987	3115,987	3093,019	3121,209	3104,503	1,2835	8,0543	0,00056	6,87857	1,0502	1,0502	0,999

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

					ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ												
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
18	42	1	10,5	1,052432282	1,577917	739,6294	1,038792	0,96	51,54959	0,036466	0,293	3,2					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-18	0,12852	0,06296	1,29907	5,3E-07	739,6294	739,6294	746,3882	739,6294	743,0088			1,1E-06	1,57792	1	1	0
1	-17	0,12536	0,05624	1,26715	9,1E-06	746,3882	746,3882	753,211	746,3882	749,7996	1,36223	6,52138	1,8E-05	1,63245	1	1	1E-06
2	-16	0,12238	0,04989	1,23696	4,3E-05	753,211	753,211	760,385	753,2111	756,798	1,36129	6,53569	8,7E-05	1,68757	1	1	2E-05
3	-15	0,11956	0,04390	1,20853	0,00012	760,385	760,385	768,3479	760,3851	764,3665	1,36034	6,55027	0,00025	1,74372	1	1	0,0001
4	-14	0,11693	0,03829	1,18187	0,00028	768,3479	768,3479	777,6939	768,348	773,0209	1,35933	6,56587	0,00055	1,80175	1	1,00001	0,0004
5	-13	0,11446	0,03305	1,15699	0,00052	777,6939	777,6939	789,1733	777,6941	783,4336	1,35820	6,58348	0,00104	1,86292	1	1,00003	0,0009
6	-12	0,11218	0,02819	1,13391	0,00089	789,1733	789,1733	803,6855	789,1737	796,4294	1,35687	6,60435	0,00177	1,92898	1,0001	1,00007	0,0019
7	-11	0,11007	0,02371	1,11263	0,00139	803,6855	803,6855	822,2632	803,6863	812,9743	1,35525	6,62988	0,00279	2,00217	1,0002	1,00014	0,0037
8	-10	0,10815	0,01961	1,09316	0,00207	822,2632	822,2632	846,0451	822,2648	834,1541	1,35326	6,66156	0,00414	2,08517	1,0003	1,00026	0,0065
9	-9	0,10640	0,01590	1,07552	0,00294	846,0451	846,0451	876,2376	846,0486	861,1413	1,35083	6,70080	0,00588	2,18106	1,0005	1,00043	0,0106
10	-8	0,10484	0,01257	1,05971	0,00402	876,2376	876,2376	914,0646	876,2453	895,1511	1,34790	6,74875	0,00803	2,29318	1,0008	1,00069	0,0165
11	-7	0,10346	0,00963	1,04574	0,00532	914,0646	914,0646	960,7088	914,0815	937,3867	1,34446	6,80612	0,01064	2,42500	1,0012	1,00104	0,0246
12	-6	0,10226	0,00708	1,03363	0,00686	960,7088	960,7088	1017,246	960,744	988,9773	1,34054	6,87303	0,01372	2,57990	1,0018	1,00151	0,0352

13	-5	0,10124	0,00492	1,02336	0,00863	1017,246	1017,246	1084,577	1017,315	1050,911	1,33620	6,94888	0,01726	2,76090	1,0025	1,00213	0,0489
14	-4	0,10041	0,00315	1,01496	0,01062	1084,577	1084,577	1163,362	1084,705	1123,969	1,33154	7,03238	0,02124	2,97049	1,0033	1,00291	0,0662
15	-3	0,09977	0,00177	1,00842	0,01281	1163,362	1163,362	1253,952	1163,584	1208,657	1,32671	7,12166	0,02562	3,21029	1,0044	1,00388	0,0874
16	-2	0,09930	0,00079	1,00374	0,01516	1253,952	1253,952	1356,334	1254,314	1305,143	1,32183	7,21447	0,03032	3,48083	1,0057	1,00507	0,113
17	-1	0,09903	0,00020	1,00094	0,01761	1356,334	1356,334	1470,069	1356,89	1413,201	1,31704	7,30843	0,03522	3,78136	1,0073	1,00649	0,1434
18	0	0,09893	0,00000	1,00000	0,02009	1470,069	1470,069	1594,252	1470,878	1532,16	1,31244	7,40126	0,04018	4,10961	1,009	1,00814	0,1786
19	1	0,09903	0,00020	1,00094	0,02251	1594,252	1594,252	1727,484	1595,373	1660,868	1,30812	7,49090	0,04502	4,46171	1,0111	1,01005	0,2188
20	2	0,09930	0,00079	1,00374	0,02476	1727,484	1727,484	1867,868	1728,97	1797,676	1,30415	7,57571	0,04953	4,83210	1,0133	1,01221	0,2638
21	3	0,09977	0,00177	1,00842	0,02675	1867,868	1867,868	2013,038	1869,761	1940,453	1,30055	7,65443	0,05349	5,21365	1,0158	1,0146	0,3133
22	4	0,10041	0,00315	1,01496	0,02835	2013,038	2013,038	2160,229	2015,366	2086,633	1,29735	7,72619	0,05669	5,59777	1,0186	1,0172	0,3668
23	5	0,10124	0,00492	1,02336	0,02946	2160,229	2160,229	2306,387	2163,004	2233,308	1,29453	7,79050	0,05891	5,97483	1,0214	1,01999	0,4235
24	6	0,10226	0,00708	1,03363	0,02999	2306,387	2306,387	2448,317	2309,604	2377,352	1,29209	7,84716	0,05998	6,33454	1,0244	1,02291	0,4824
25	7	0,10346	0,00963	1,04574	0,02989	2448,317	2448,317	2582,867	2451,957	2515,592	1,29002	7,89620	0,05978	6,66658	1,0274	1,02592	0,5424
26	8	0,10484	0,01257	1,05971	0,02913	2582,867	2582,867	2707,117	2586,897	2644,992	1,28827	7,93786	0,05825	6,96126	1,0305	1,02895	0,6022
27	9	0,10640	0,01590	1,07552	0,02772	2707,117	2707,117	2818,576	2711,494	2762,846	1,28684	7,97252	0,05544	7,21016	1,0334	1,03194	0,6604
28	10	0,10815	0,01961	1,09316	0,02573	2818,576	2818,576	2915,342	2823,25	2866,959	1,28569	8,00069	0,05146	7,40676	1,0362	1,03481	0,7159
29	11	0,11007	0,02371	1,11263	0,02327	2915,342	2915,342	2996,231	2920,262	2955,787	1,28478	8,02295	0,04653	7,54690	1,0388	1,03751	0,7673
30	12	0,11218	0,02819	1,13391	0,02046	2996,231	2996,231	3060,826	3001,344	3028,529	1,28409	8,03993	0,04092	7,62905	1,0412	1,03999	0,8138
31	13	0,11446	0,03305	1,15699	0,01747	3060,826	3060,826	3109,467	3066,081	3085,147	1,28360	8,05230	0,03494	7,65434	1,0432	1,04221	0,8548
32	14	0,11693	0,03829	1,18187	0,01446	3109,467	3109,467	3143,168	3114,816	3126,318	1,28326	8,06074	0,02892	7,62633	1,045	1,04412	0,8897
33	15	0,11956	0,04390	1,20853	0,01158	3143,168	3143,168	3163,473	3148,57	3153,321	1,28305	8,06591	0,02317	7,55057	1,0465	1,04574	0,9186
34	16	0,12238	0,04989	1,23696	0,00896	3163,473	3163,473	3172,274	3168,891	3167,873	1,28295	8,06842	0,01793	7,43401	1,0476	1,04706	0,9418
35	17	0,12536	0,05624	1,26715	0,00668	3172,274	3172,274	3171,618	3177,678	3171,946	1,28293	8,06883	0,01337	7,28428	1,0486	1,0481	0,9597
36	18	0,12852	0,06296	1,29907	0,0048	3171,618	3171,618	3163,527	3176,984	3167,572	1,28298	8,06763	0,00959	7,10909	1,0492	1,04889	0,9731
37	19	0,13185	0,07005	1,33271	0,0033	3163,527	3163,527	3149,852	3168,837	3156,69	1,28308	8,06524	0,00661	6,91567	1,0497	1,04947	0,9827
38	20	0,13535	0,07749	1,36807	0,00218	3149,852	3149,852	3132,176	3155,092	3141,014	1,28321	8,06199	0,00436	6,71036	1,05	1,04988	0,9893
39	21	0,13901	0,08529	1,40511	0,00137	3132,176	3132,176	3111,772	3137,335	3121,974	1,28336	8,05812	0,00275	6,49840	1,0503	1,05016	0,9937
40	22	0,14284	0,09344	1,44382	0,00083	3111,772	3111,772	3089,605	3116,845	3100,688	1,28353	8,05385	0,00165	6,28392	1,0504	1,05034	0,9964
41	23	0,14683	0,10194	1,48419	0,00047	3089,605	3089,605	3066,363	3094,586	3077,984	1,283717	8,04929	0,00094	6,07000	1,0505	1,05045	0,9981
42	24	0,15099	0,11078	1,52619	0,00026	3066,363	3066,363	3042,518	3071,25	3054,441	1,283908	8,04453	0,00051	5,85881	1,0505	1,05051	0,999

Таблица А3 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 3400 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
22	50	1	10,5	1,0524	1,3167	706,6261	1,0701	0,98	51,2116	0,0339	0,2930	3,4					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-22	0,1471	0,0934	1,4438	1,2E-07	706,6261	706,6261	713,7276	706,6261	710,1769			2,31E-07	1,31668	1	1	0
1	-21	0,1432	0,0853	1,4051	2,3E-06	713,7276	713,7276	720,8251	713,7277	717,2763	1,367	6,44957	4,65E-06	1,36656	1	1	2,31E-07
2	-20	0,1394	0,0775	1,3681	1,2E-05	720,8251	720,8251	728,0021	720,8256	724,4136	1,36593	6,4655	2,42E-05	1,41752	1	1	4,88E-06
3	-19	0,1358	0,07	1,3327	3,7E-05	728,0021	728,0021	735,4026	728,0035	731,7024	1,36488	6,4813	7,4E-05	1,46961	1	1	2,91E-05
4	-18	0,1324	0,063	1,2991	8,6E-05	735,4026	735,4026	743,2375	735,4053	739,32	1,36382	6,49722	0,000172	1,52301	1,00001	1	0,000103
5	-17	0,1291	0,0562	1,2671	0,00017	743,2375	743,2375	751,7895	743,242	747,5135	1,36274	6,51364	0,000338	1,57802	1,00001	1,00001	0,000275
6	-16	0,1261	0,0499	1,237	0,0003	751,7895	751,7895	761,4174	751,7965	756,6034	1,36159	6,53106	0,000595	1,63515	1,00003	1,00002	0,000613
7	-15	0,1232	0,0439	1,2085	0,00048	761,4174	761,4174	772,5567	761,4279	766,9871	1,36035	6,55009	0,000965	1,6951	1,00006	1,00005	0,001208
8	-14	0,1204	0,0383	1,1819	0,00074	772,5567	772,5567	785,7189	772,572	779,1378	1,35897	6,57148	0,001473	1,75878	1,00011	1,00009	0,002173
9	-13	0,1179	0,0331	1,157	0,00107	785,7189	785,7189	801,4865	785,7408	793,6027	1,3574	6,596	0,002144	1,82733	1,00018	1,00015	0,003646
10	-12	0,1156	0,0282	1,1339	0,0015	801,4865	801,4865	820,5048	801,5179	810,9956	1,35559	6,62452	0,003003	1,90215	1,00029	1,00024	0,005789
11	-11	0,1134	0,0237	1,1126	0,00204	820,5048	820,5048	843,4694	820,5497	831,9871	1,35349	6,65785	0,004075	1,98482	1,00045	1,00037	0,008792
12	-10	0,1114	0,0196	1,0932	0,00269	843,4694	843,4694	871,1086	843,5337	857,289	1,35108	6,69674	0,005382	2,07712	1,00065	1,00055	0,012867
13	-9	0,1096	0,0159	1,0755	0,00347	871,1086	871,1086	904,1624	871,2006	887,6355	1,34832	6,74177	0,006946	2,18096	1,00093	1,00079	0,018249
14	-8	0,108	0,0126	1,0597	0,00439	904,1624	904,1624	943,3574	904,2939	923,7599	1,34523	6,79328	0,008783	2,2983	1,00128	1,0011	0,025195
15	-7	0,1066	0,0096	1,0457	0,00545	943,3574	943,3574	989,3787	943,5447	966,368	1,3418	6,85129	0,010904	2,43105	1,00172	1,0015	0,033978
16	-6	0,1053	0,0071	1,0336	0,00666	989,3787	989,3787	1042,841	989,6435	1016,11	1,33809	6,91552	0,013315	2,581	1,00228	1,002	0,044883
17	-5	0,1043	0,0049	1,0234	0,008	1042,841	1042,841	1104,256	1043,211	1073,548	1,33415	6,98529	0,01601	2,74968	1,00295	1,00261	0,058198
18	-4	0,1034	0,0031	1,015	0,00949	1104,256	1104,256	1174,005	1104,768	1139,131	1,33005	7,05965	0,018975	2,93822	1,00376	1,00336	0,074207
19	-3	0,1028	0,0018	1,0084	0,01109	1174,005	1174,005	1252,306	1174,7	1213,155	1,32587	7,13738	0,022182	3,14726	1,00473	1,00424	0,093182
20	-2	0,1023	0,0008	1,0037	0,01279	1252,306	1252,306	1339,182	1253,23	1295,744	1,32169	7,21712	0,025589	3,3768	1,00585	1,00529	0,115364
21	-1	0,102	0,0002	1,0009	0,01457	1339,182	1339,182	1434,438	1340,388	1386,81	1,31759	7,29746	0,02914	3,62613	1,00715	1,0065	0,140953
22	0	0,1019	0	1	0,01638	1434,438	1434,438	1537,631	1435,977	1486,035	1,31363	7,37702	0,032761	3,89372	1,00863	1,00789	0,170093
23	1	0,102	0,0002	1,0009	0,01818	1537,631	1537,631	1648,053	1539,551	1592,842	1,30986	7,45458	0,036364	4,17716	1,01029	1,00946	0,202855
24	2	0,1023	0,0008	1,0037	0,01992	1648,053	1648,053	1764,718	1650,398	1706,385	1,30632	7,52904	0,039845	4,47315	1,01213	1,01121	0,239219
25	3	0,1028	0,0018	1,0084	0,02155	1764,718	1764,718	1886,365	1767,523	1825,541	1,30305	7,59954	0,043091	4,7775	1,01415	1,01314	0,279064
26	4	0,1034	0,0031	1,015	0,02299	1886,365	1886,365	2011,469	1889,653	1948,917	1,30006	7,6654	0,045978	5,08523	1,01634	1,01525	0,322155
27	5	0,1043	0,0049	1,0234	0,02419	2011,469	2011,469	2138,276	2015,251	2074,873	1,29735	7,72616	0,048384	5,39065	1,01867	1,0175	0,368133

28	6	0,1053	0,0071	1,0336	0,0251	2138,276	2138,276	2264,847	2142,551	2201,562	1,29492	7,78151	0,050192	5,6876	1,02112	1,0199	0,416517
29	7	0,1066	0,0096	1,0457	0,02565	2264,847	2264,847	2389,13	2269,601	2326,989	1,29277	7,83133	0,051297	5,96965	1,02367	1,0224	0,466709
30	8	0,108	0,0126	1,0597	0,02581	2389,13	2389,13	2509,038	2394,339	2449,084	1,29088	7,8756	0,051617	6,23038	1,02627	1,02497	0,518006
31	9	0,1096	0,0159	1,0755	0,02555	2509,038	2509,038	2622,544	2514,667	2565,791	1,28925	7,91441	0,051101	6,46373	1,02889	1,02758	0,569623
32	10	0,1114	0,0196	1,0932	0,02487	2622,544	2622,544	2727,777	2628,552	2675,161	1,28785	7,94795	0,049736	6,66428	1,03148	1,03018	0,620724
33	11	0,1134	0,0237	1,1126	0,02377	2727,777	2727,777	2823,117	2734,118	2775,447	1,28668	7,97647	0,047548	6,82755	1,034	1,03274	0,67046
34	12	0,1156	0,0282	1,1339	0,0223	2823,117	2823,117	2907,28	2829,741	2865,198	1,2857	8,00027	0,044609	6,95027	1,03641	1,03521	0,718008
35	13	0,1179	0,0331	1,157	0,02052	2907,28	2907,28	2979,379	2914,136	2943,329	1,28491	8,01971	0,041032	7,03057	1,03868	1,03754	0,762617
36	14	0,1204	0,0383	1,1819	0,01848	2979,379	2979,379	3038,969	2986,418	3009,174	1,28429	8,03516	0,036964	7,06805	1,04076	1,03972	0,803649
37	15	0,1232	0,0439	1,2085	0,01629	3038,969	3038,969	3086,05	3046,144	3062,509	1,28381	8,04702	0,032576	7,06377	1,04263	1,04169	0,840613
38	16	0,1261	0,0499	1,237	0,01403	3086,05	3086,05	3121,047	3093,316	3103,549	1,28346	8,05571	0,028054	7,02017	1,04428	1,04346	0,873189
39	17	0,1291	0,0562	1,2671	0,01179	3121,047	3121,047	3144,757	3128,364	3132,902	1,28322	8,06163	0,02358	6,94081	1,04571	1,04499	0,901243
40	18	0,1324	0,063	1,2991	0,00966	3144,757	3144,757	3158,27	3152,09	3151,514	1,28308	8,06518	0,019318	6,83014	1,0469	1,0463	0,924823
41	19	0,1358	0,07	1,3327	0,0077	3158,27	3158,27	3162,876	3165,588	3160,573	1,28302	8,06675	0,015406	6,69317	1,04788	1,04739	0,944141
42	20	0,1394	0,0775	1,3681	0,00597	3162,876	3162,876	3159,967	3170,154	3161,422	1,28302	8,06669	0,011943	6,5351	1,04866	1,04827	0,959547
43	21	0,1432	0,0853	1,4051	0,00449	3159,967	3159,967	3150,938	3167,183	3155,453	1,28307	8,06531	0,008987	6,36106	1,04927	1,04897	0,97149
44	22	0,1471	0,0934	1,4438	0,00328	3150,938	3150,938	3137,11	3158,075	3144,024	1,28317	8,06289	0,006555	6,17581	1,04972	1,0495	0,980478
45	23	0,1513	0,1019	1,4842	0,00231	3137,11	3137,11	3119,664	3144,155	3128,387	1,2833	8,05968	0,004626	5,98361	1,05006	1,04989	0,987032
46	24	0,1555	0,1108	1,5262	0,00158	3119,664	3119,664	3099,609	3126,608	3109,637	1,28345	8,05588	0,003154	5,78803	1,05029	1,05017	0,991658
47	25	0,16	0,12	1,5698	0,00104	3099,609	3099,609	3077,764	3106,445	3088,687	1,28362	8,05164	0,002074	5,59198	1,05045	1,05037	0,994813
48	26	0,1646	0,1295	1,615	0,00066	3077,764	3077,764	3054,765	3084,488	3066,264	1,28381	8,04709	0,001314	5,39772	1,05056	1,0505	0,996887
49	27	0,1694	0,1393	1,6618	0,0004	3054,765	3054,765	3031,082	3061,372	3042,923	1,284	8,04232	0,000799	5,20691	1,05062	1,05059	0,998201
50	28	0,1743	0,1495	1,7101	0,00023	3031,082	3031,082	3007,054	3037,573	3019,068	1,2842	8,03739	0,000467	5,0207	1,05066	1,05064	0,999

Таблица А4 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

					ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ												
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
25	56	1	10,5	1,052	1,142	669,167	1,074	0,97	50,697	0,030	0,293	3,6					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-25	0,1606	0,12	1,5698	3,1E-08	669,167	669,1669	676,24	669,167	672,705			6,28E-08	1,14246	1	1	0
1	-24	0,1561	0,1108	1,5262	7,3E-07	676,243	676,2434	683,33	676,244	679,785	1,37302	6,361683	1,46E-06	1,18753	1	1	6,28E-08

2	-23	0,1518	0,1019	1,4842	4,2E-06	683,326	683,3264	690,44	683,328	686,884	1,37183	6,378807	8,31E-06	1,23393	1	1	1,52E-06
3	-22	0,1477	0,0934	1,4438	1,4E-05	690,441	690,441	697,64	690,445	694,041	1,37066	6,395734	2,71E-05	1,28164	1	1	9,83E-06
4	-21	0,1437	0,0853	1,4051	3,3E-05	697,64	697,64	705,01	697,647	701,324	1,36951	6,41256	6,61E-05	1,33069	1	1,000001	3,69E-05
5	-20	0,14	0,0775	1,3681	6,8E-05	705,009	705,0085	712,67	705,02	708,839	1,36836	6,429445	0,000135	1,38117	1,00001	1,000004	0,000103
6	-19	0,1363	0,07	1,3327	0,00012	712,669	712,669	720,78	712,686	716,727	1,3672	6,446622	0,000246	1,43323	1,00001	1,000009	0,000238
7	-18	0,1329	0,063	1,2991	0,00021	720,785	720,785	729,56	720,81	725,174	1,36601	6,464394	0,000411	1,48713	1,00002	1,000018	0,000484
8	-17	0,1296	0,0562	1,2671	0,00032	729,564	729,5639	739,26	729,598	734,412	1,36475	6,483141	0,000643	1,54321	1,00005	1,000035	0,000895
9	-16	0,1265	0,0499	1,237	0,00048	739,26	739,2599	750,17	739,306	744,717	1,36342	6,503311	0,000958	1,60194	1,00008	1,000062	0,001538
10	-15	0,1236	0,0439	1,2085	0,00069	750,175	750,1748	762,66	750,236	756,416	1,36196	6,525413	0,00137	1,66393	1,00013	1,000103	0,002495
11	-14	0,1209	0,0383	1,1819	0,00095	762,658	762,6582	777,11	762,74	769,882	1,36036	6,550004	0,001897	1,72992	1,0002	1,000162	0,003866
12	-13	0,1184	0,0331	1,157	0,00128	777,106	777,1057	793,96	777,213	785,531	1,35857	6,577665	0,002555	1,80081	1,00029	1,000245	0,005763
13	-12	0,116	0,0282	1,1339	0,00168	793,955	793,9554	813,68	794,096	803,819	1,35657	6,608969	0,003359	1,8776	1,00042	1,000358	0,008318
14	-11	0,1138	0,0237	1,1126	0,00216	813,682	813,6818	836,79	813,866	825,235	1,35433	6,644451	0,004326	1,96144	1,00059	1,000509	0,011677
15	-10	0,1118	0,0196	1,0932	0,00274	836,788	836,7877	863,79	837,028	850,291	1,35183	6,684558	0,005472	2,05359	1,00081	1,000705	0,016003
16	-9	0,11	0,0159	1,0755	0,0034	863,794	863,7942	895,23	864,108	879,511	1,34906	6,729611	0,006809	2,15534	1,00109	1,000954	0,021475
17	-8	0,1084	0,0126	1,0597	0,00417	895,227	895,2272	931,6	895,635	913,415	1,34604	6,77976	0,008348	2,26801	1,00144	1,001267	0,028284
18	-7	0,107	0,0096	1,0457	0,00505	931,604	931,6035	973,41	932,13	952,509	1,34276	6,834956	0,010099	2,39287	1,00187	1,001653	0,036632
19	-6	0,1057	0,0071	1,0336	0,00603	973,415	973,4145	1021,1	974,09	997,262	1,33927	6,894929	0,012063	2,53109	1,00238	1,002122	0,046731
20	-5	0,1047	0,0049	1,0234	0,00712	1021,11	1021,109	1075,1	1021,97	1048,09	1,33562	6,959194	0,014241	2,68364	1,00299	1,002686	0,058794
21	-4	0,1038	0,0031	1,015	0,00831	1075,07	1075,073	1135,6	1076,16	1105,34	1,33184	7,027067	0,016624	2,85124	1,00372	1,003356	0,073035
22	-3	0,1032	0,0018	1,0084	0,0096	1135,61	1135,615	1202,9	1136,97	1169,28	1,32799	7,097705	0,019196	3,03427	1,00457	1,004142	0,089659
23	-2	0,1027	0,0008	1,0037	0,01097	1202,94	1202,943	1277,1	1204,61	1240,04	1,32414	7,170155	0,021935	3,23269	1,00554	1,005054	0,108855
24	-1	0,1024	0,0002	1,0009	0,0124	1277,15	1277,146	1358,2	1279,17	1317,66	1,32034	7,243412	0,024807	3,446	1,00666	1,006101	0,130791
25	0	0,1023	0	1	0,01388	1358,18	1358,177	1445,8	1360,61	1402	1,31663	7,316474	0,027769	3,67316	1,00792	1,007291	0,155598
26	1	0,1024	0,0002	1,0009	0,01538	1445,83	1445,833	1539,7	1448,71	1492,79	1,31307	7,388392	0,030767	3,91255	1,00934	1,008629	0,183367
27	2	0,1027	0,0008	1,0037	0,01687	1539,74	1539,74	1639,3	1543,11	1589,54	1,30968	7,458307	0,033738	4,16197	1,0109	1,01012	0,214134
28	3	0,1032	0,0018	1,0084	0,0183	1639,34	1639,342	1743,9	1643,23	1691,62	1,30649	7,525477	0,03661	4,41864	1,01262	1,011762	0,247872
29	4	0,1038	0,0031	1,015	0,01965	1743,89	1743,891	1852,4	1748,32	1798,17	1,30352	7,589289	0,039302	4,67919	1,01448	1,013553	0,284482
30	5	0,1047	0,0049	1,0234	0,02086	1852,45	1852,447	1963,9	1857,42	1908,17	1,30079	7,649264	0,041729	4,93977	1,01649	1,015485	0,323783
31	6	0,1057	0,0071	1,0336	0,0219	1963,89	1963,889	2076,9	1969,42	2020,41	1,29828	7,70505	0,043804	5,19614	1,01861	1,017548	0,365512
32	7	0,107	0,0096	1,0457	0,02272	2076,93	2076,928	2190,1	2083	2133,53	1,29602	7,756413	0,045444	5,44375	1,02084	1,019726	0,409316
33	8	0,1084	0,0126	1,0597	0,02328	2190,14	2190,138	2302	2196,73	2246,07	1,29398	7,803222	0,04657	5,67794	1,02315	1,021998	0,45476
34	9	0,11	0,0159	1,0755	0,02356	2301,99	2301,993	2410,9	2309,08	2356,45	1,29217	7,845436	0,047117	5,89408	1,02553	1,02434	0,501329

35	10	0,1118	0,0196	1,0932	0,02352	2410,92	2410,915	2515,3	2418,46	2463,13	1,29057	7,883092	0,047037	6,0878	1,02792	1,026725	0,548446
36	11	0,1138	0,0237	1,1126	0,02315	2515,33	2515,335	2613,7	2523,29	2564,54	1,28917	7,916286	0,046305	6,25513	1,03032	1,029122	0,595484
37	12	0,116	0,0282	1,1339	0,02246	2613,75	2613,747	2704,8	2622,07	2659,26	1,28797	7,945173	0,044921	6,39274	1,03268	1,031498	0,641789
38	13	0,1184	0,0331	1,157	0,02146	2704,78	2704,778	2787,2	2713,42	2746,01	1,28695	7,969946	0,042911	6,49805	1,03496	1,033821	0,68671
39	14	0,1209	0,0383	1,1819	0,02017	2787,25	2787,246	2860,2	2796,15	2823,73	1,28609	7,990836	0,040334	6,56939	1,03715	1,036057	0,729621
40	15	0,1236	0,0439	1,2085	0,01864	2860,21	2860,213	2923	2869,34	2891,62	1,28538	8,008104	0,037272	6,6061	1,0392	1,038176	0,769955
41	16	0,1265	0,0499	1,237	0,01692	2923,03	2923,025	2975,3	2932,32	2949,18	1,28482	8,022029	0,033832	6,60849	1,0411	1,040152	0,807227
42	17	0,1296	0,0562	1,2671	0,01507	2975,34	2975,344	3017,1	2984,75	2996,25	1,28438	8,032909	0,030138	6,57787	1,04282	1,041962	0,841059
43	18	0,1329	0,063	1,2991	0,01316	3017,15	3017,147	3048,7	3026,63	3032,93	1,28405	8,041049	0,026322	6,51643	1,04436	1,043591	0,871197
44	19	0,1363	0,07	1,3327	0,01126	3048,72	3048,721	3070,6	3058,24	3059,68	1,28382	8,046759	0,022517	6,42709	1,0457	1,045028	0,89752
45	20	0,14	0,0775	1,3681	0,00942	3070,63	3070,63	3083,7	3080,15	3077,15	1,28367	8,050344	0,018845	6,31336	1,04684	1,046271	0,920036
46	21	0,1437	0,0853	1,4051	0,00771	3083,67	3083,665	3088,8	3093,16	3086,23	1,2836	8,0521	0,015415	6,17909	1,0478	1,047324	0,938882
47	22	0,1477	0,0934	1,4438	0,00615	3088,79	3088,79	3087,1	3098,23	3087,93	1,2836	8,052309	0,012309	6,02828	1,04859	1,048196	0,954297
48	23	0,1518	0,1019	1,4842	0,00479	3087,07	3087,073	3079,6	3096,43	3083,35	1,28364	8,051233	0,009583	5,86486	1,04922	1,048902	0,966605
49	24	0,1561	0,1108	1,5262	0,00363	3079,62	3079,62	3067,5	3088,88	3073,57	1,28372	8,049111	0,007265	5,69258	1,0497	1,04946	0,976188
50	25	0,1606	0,12	1,5698	0,00268	3067,51	3067,513	3051,8	3076,66	3059,64	1,28384	8,046155	0,005357	5,51479	1,05007	1,049888	0,983453
51	26	0,1652	0,1295	1,615	0,00192	3051,76	3051,763	3033,3	3060,79	3042,52	1,28399	8,042548	0,003836	5,33441	1,05035	1,05021	0,98881
52	27	0,17	0,1393	1,6618	0,00133	3033,27	3033,27	3012,8	3042,17	3023,04	1,28415	8,038444	0,002664	5,15387	1,05054	1,050444	0,992646
53	28	0,1749	0,1495	1,7101	0,0009	3012,8	3012,802	2991	3021,57	3001,89	1,28433	8,033972	0,001792	4,9751	1,05068	1,050609	0,99531
54	29	0,18	0,16	1,7599	0,00058	2990,99	2990,988	2968,3	2999,61	2979,65	1,28453	8,029231	0,001166	4,7996	1,05077	1,050723	0,997102
55	30	0,1853	0,1708	1,8113	0,00037	2968,32	2968,321	2945,2	2976,8	2956,75	1,28473	8,024299	0,000732	4,62842	1,05083	1,050798	0,998268

Таблица А5 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 6200 \text{ мин}^{-1}$

					ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ												
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
28	65	1	10,5	1,0524	0,9774	648,9263	1,1175	0,94	47,2320	0,0296	0,2933884	3,8					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-28	0,18203	0,14954	1,71031	6,86E-09	648,93	648,93	655,97	648,93	652,45			1,37E-08	0,977444	1	1	0
1	-27	0,17689	0,13936	1,66198	1,84E-07	655,97	655,97	663,05	655,97	659,51	1,377	6,31	3,68E-07	1,016792	1	1	1,37E-08
2	-26	0,17191	0,12951	1,61519	1,15E-06	663,05	663,05	670,15	663,05	666,60	1,375	6,33	2,29E-06	1,057533	1	1	3,82E-07

3	-25	0,16709	0,11999	1,56997	3,99E-06	670,15	670,15	677,30	670,16	673,73	1,374	6,35	7,97E-06	1,099656	1	1	2,68E-06
4	-24	0,16245	0,11081	1,52635	1,02E-05	677,30	677,30	684,51	677,31	680,90	1,373	6,36	2,04E-05	1,143154	1,000001	1	1,06E-05
5	-23	0,15798	0,10197	1,48433	2,17E-05	684,51	684,51	691,81	684,52	688,16	1,372	6,38	4,35E-05	1,188028	1,000002	1,000001	3,11E-05
6	-22	0,15368	0,09346	1,44396	4,08E-05	691,81	691,81	699,26	691,83	695,53	1,370	6,40	8,17E-05	1,234292	1,000004	1,000003	7,46E-05
7	-21	0,14956	0,08531	1,40523	7,02E-05	699,26	699,26	706,92	699,29	703,09	1,369	6,42	0,00014	1,281981	1,000008	1,000006	0,000156
8	-20	0,14562	0,07751	1,36818	0,000113	706,92	706,92	714,89	706,96	710,90	1,368	6,43	0,000225	1,331157	1,000015	1,000012	0,000297
9	-19	0,14185	0,07007	1,33281	0,000172	714,89	714,89	723,27	714,94	719,08	1,367	6,45	0,000343	1,381914	1,000027	1,000021	0,000522
10	-18	0,13827	0,06298	1,29916	0,000251	723,27	723,27	732,21	723,34	727,74	1,366	6,47	0,000502	1,434387	1,000044	1,000035	0,000865
11	-17	0,13487	0,05626	1,26723	0,000354	732,21	732,21	741,85	732,29	737,03	1,364	6,49	0,000708	1,488757	1,00007	1,000057	0,001367
12	-16	0,13166	0,0499	1,23703	0,000485	741,85	741,85	752,38	741,95	747,11	1,363	6,51	0,00097	1,545261	1,000106	1,000088	0,002075
13	-15	0,12863	0,04392	1,2086	0,000649	752,38	752,38	764,02	752,51	758,20	1,362	6,53	0,001298	1,604192	1,000155	1,00013	0,003045
14	-14	0,12579	0,0383	1,18193	0,00085	764,02	764,02	776,99	764,17	770,50	1,360	6,55	0,0017	1,665907	1,000221	1,000188	0,004343
15	-13	0,12315	0,03306	1,15704	0,001093	776,99	776,99	791,55	777,17	784,27	1,359	6,58	0,002186	1,730828	1,000308	1,000264	0,006044
16	-12	0,12069	0,0282	1,13395	0,001382	791,55	791,55	807,99	791,77	799,77	1,357	6,61	0,002764	1,799437	1,000419	1,000363	0,008229
17	-11	0,11842	0,02372	1,11266	0,001723	807,99	807,99	826,60	808,25	817,29	1,355	6,64	0,003445	1,872275	1,00056	1,000489	0,010993
18	-10	0,11635	0,01962	1,09319	0,002119	826,60	826,60	847,69	826,92	837,14	1,353	6,67	0,004238	1,949929	1,000735	1,000648	0,014438
19	-9	0,11447	0,0159	1,07554	0,002576	847,69	847,69	871,59	848,07	859,64	1,351	6,71	0,005151	2,033021	1,000951	1,000843	0,018677
20	-8	0,11279	0,01257	1,05973	0,003096	871,59	871,59	898,63	872,04	885,11	1,348	6,75	0,006193	2,122186	1,001213	1,001082	0,023828
21	-7	0,1113	0,00963	1,04576	0,003684	898,63	898,63	929,12	899,16	913,87	1,346	6,79	0,007369	2,218048	1,001529	1,001371	0,030021
22	-6	0,11001	0,00708	1,03364	0,004342	929,12	929,12	963,39	929,74	946,25	1,343	6,84	0,008685	2,321195	1,001904	1,001716	0,037389
23	-5	0,10892	0,00492	1,02337	0,005072	963,39	963,39	1001,72	964,11	982,55	1,340	6,89	0,010144	2,432141	1,002346	1,002125	0,046074
24	-4	0,10802	0,00315	1,01496	0,005873	1001,72	1001,72	1044,38	1002,56	1023,05	1,337	6,94	0,011747	2,551299	1,002863	1,002605	0,056218
25	-3	0,10733	0,00177	1,00842	0,006745	1044,38	1044,38	1091,61	1045,35	1068,00	1,334	6,99	0,013491	2,67894	1,003461	1,003162	0,067965
26	-2	0,10683	0,00079	1,00374	0,007685	1091,61	1091,61	1143,58	1092,71	1117,60	1,330	7,05	0,015369	2,815162	1,004148	1,003805	0,081456
27	-1	0,10653	0,0002	1,00094	0,008687	1143,58	1143,58	1200,42	1144,82	1172,00	1,327	7,11	0,017374	2,959857	1,004931	1,004539	0,096825
28	0	0,10643	0	1	0,009744	1200,42	1200,42	1262,18	1201,81	1231,30	1,324	7,17	0,019488	3,112681	1,005816	1,005373	0,114199
29	1	0,10653	0,0002	1,00094	0,010847	1262,18	1262,18	1328,84	1263,72	1295,51	1,321	7,23	0,021694	3,273033	1,006808	1,006312	0,133687
30	2	0,10683	0,00079	1,00374	0,011983	1328,84	1328,84	1400,29	1330,54	1364,56	1,318	7,30	0,023965	3,440039	1,007913	1,00736	0,155381
31	3	0,10733	0,00177	1,00842	0,013136	1400,29	1400,29	1476,32	1402,16	1438,30	1,315	7,36	0,026272	3,612544	1,009133	1,008523	0,179346
32	4	0,10802	0,00315	1,01496	0,014289	1476,32	1476,32	1556,63	1478,36	1516,47	1,312	7,42	0,028579	3,78911	1,010471	1,009802	0,205618
33	5	0,10892	0,00492	1,02337	0,015422	1556,63	1556,63	1640,80	1558,83	1598,71	1,309	7,47	0,030844	3,968032	1,011926	1,011199	0,234197
34	6	0,11001	0,00708	1,03364	0,016511	1640,80	1640,80	1728,30	1643,17	1684,55	1,306	7,53	0,033022	4,147358	1,013497	1,012712	0,265041
35	7	0,1113	0,00963	1,04576	0,017531	1728,30	1728,30	1818,50	1730,83	1773,40	1,304	7,58	0,035063	4,324921	1,015179	1,014338	0,298063

36	8	0,11279	0,01257	1,05973	0,018458	1818,50	1818,50	1910,64	1821,19	1864,57	1,301	7,63	0,036915	4,498384	1,016964	1,016072	0,333126
37	9	0,11447	0,0159	1,07554	0,019263	1910,64	1910,64	2003,91	1913,50	1957,27	1,299	7,68	0,038525	4,665295	1,018844	1,017904	0,370041
38	10	0,11635	0,01962	1,09319	0,019921	2003,91	2003,91	2097,36	2006,91	2050,63	1,297	7,73	0,039842	4,823148	1,020806	1,019825	0,408566
39	11	0,11842	0,02372	1,11266	0,020408	2097,36	2097,36	2190,03	2100,51	2143,69	1,296	7,77	0,040816	4,969458	1,022835	1,021821	0,448408
40	12	0,12069	0,0282	1,13395	0,020703	2190,03	2190,03	2280,87	2193,31	2235,45	1,294	7,80	0,041405	5,101831	1,024914	1,023874	0,489224
41	13	0,12315	0,03306	1,15704	0,020788	2280,87	2280,87	2368,87	2284,29	2324,87	1,292	7,84	0,041575	5,218049	1,027022	1,025968	0,53063
42	14	0,12579	0,0383	1,18193	0,020651	2368,87	2368,87	2452,99	2372,40	2410,93	1,291	7,87	0,041302	5,316142	1,029139	1,028081	0,572205
43	15	0,12863	0,04392	1,2086	0,020287	2452,99	2452,99	2532,27	2456,63	2492,63	1,290	7,90	0,040574	5,394464	1,031243	1,030191	0,613507
44	16	0,13166	0,0499	1,23703	0,019698	2532,27	2532,27	2605,82	2536,01	2569,04	1,289	7,92	0,039396	5,451754	1,033309	1,032276	0,654081
45	17	0,13487	0,05626	1,26723	0,018894	2605,82	2605,82	2672,87	2609,64	2639,34	1,288	7,94	0,037788	5,487187	1,035315	1,034312	0,693478
46	18	0,13827	0,06298	1,29916	0,017892	2672,87	2672,87	2732,79	2676,76	2702,83	1,287	7,96	0,035784	5,500411	1,03724	1,036277	0,731266
47	19	0,14185	0,07007	1,33281	0,016717	2732,79	2732,79	2785,13	2736,74	2758,96	1,287	7,98	0,033434	5,491563	1,039062	1,038151	0,767049
48	20	0,14562	0,07751	1,36818	0,015401	2785,13	2785,13	2829,59	2789,12	2807,36	1,286	7,99	0,030802	5,461261	1,040764	1,039913	0,800483
49	21	0,14956	0,08531	1,40523	0,013982	2829,59	2829,59	2866,10	2833,61	2847,84	1,286	8,00	0,027963	5,41058	1,042333	1,041549	0,831285
50	22	0,15368	0,09346	1,44396	0,012498	2866,10	2866,10	2894,75	2870,13	2880,42	1,285	8,01	0,024997	5,341005	1,043757	1,043045	0,859248
51	23	0,15798	0,10197	1,48433	0,010993	2894,75	2894,75	2915,81	2898,79	2905,28	1,285	8,01	0,021986	5,254368	1,04503	1,044393	0,884245
52	24	0,16245	0,11081	1,52635	0,009507	2915,81	2915,81	2929,73	2919,85	2922,77	1,285	8,02	0,019014	5,152764	1,04615	1,04559	0,906231
53	25	0,16709	0,11999	1,56997	0,008077	2929,73	2929,73	2937,08	2933,76	2933,41	1,285	8,02	0,016154	5,03847	1,047118	1,046634	0,925245
54	26	0,17191	0,12951	1,61519	0,006736	2937,08	2937,08	2938,52	2941,08	2937,80	1,285	8,02	0,013471	4,913842	1,04794	1,047529	0,941398
55	27	0,17689	0,13936	1,66198	0,005509	2938,52	2938,52	2934,78	2942,49	2936,65	1,285	8,02	0,011018	4,781234	1,048627	1,048284	0,95487
56	28	0,18203	0,14954	1,71031	0,004415	2934,78	2934,78	2926,62	2938,71	2930,70	1,285	8,02	0,00883	4,64291	1,049188	1,048907	0,965887
57	29	0,18734	0,16004	1,76017	0,003464	2926,62	2926,62	2914,80	2930,51	2920,71	1,285	8,02	0,006927	4,500976	1,049637	1,049412	0,974717
58	30	0,1928	0,17085	1,81153	0,002658	2914,80	2914,80	2900,03	2918,64	2907,41	1,285	8,01	0,005315	4,357325	1,04999	1,049814	0,981644
59	31	0,19843	0,18197	1,86436	0,001992	2900,03	2900,03	2882,97	2903,82	2891,50	1,285	8,01	0,003984	4,213599	1,050261	1,050125	0,986959
60	32	0,2042	0,1934	1,91864	0,001458	2882,97	2882,97	2864,20	2886,71	2873,58	1,285	8,01	0,002915	4,071178	1,050464	1,050362	0,990944
61	33	0,21013	0,20512	1,97434	0,00104	2864,195	2864,195	2844,212	2867,88	2854,204	1,286	8,00	0,002079	3,931172	1,050612	1,050538	0,993859
62	34	0,21621	0,21715	2,03144	0,000722	2844,21	2844,21	2823,43	2847,85	2833,82	1,286	8,00	0,001445	3,794438	1,050718	1,050665	0,995938
63	35	0,22243	0,22946	2,08991	0,000488	2823,43	2823,43	2802,16	2827,01	2812,79	1,286	7,99	0,000976	3,661603	1,050791	1,050755	0,997383
64	36	0,2288	0,24205	2,14972	0,000321	2802,16	2802,16	2780,68	2805,69	2791,42	1,286	7,99	0,000641	3,533094	1,050841	1,050816	0,998359
65	37	0,2353	0,25492	2,21085	0,000204	2780,68	2780,68	2759,16	2784,15	2769,92	1,286	7,98	0,000408	3,409174	1,050874	1,050858	0,999

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное)

Таблица Б1 - расчетные значения перемещения, скорости и ускорения поршня.

$\varphi_{\text{кв}}, \text{град}$	$\varphi_{\text{кв}}, \text{рад}$	$S_X, \text{мм}$	$V_X, \text{м/с}$	$W_{X1}, \text{м/с}^2$	$W_{X2}, \text{м/с}^2$	$W_X, \text{м/с}^2$
0	0	0	0	14964,7	2459,482	17424,2
10	0,175	0,627	4,65	14737,4	2311,157	17048,5
20	0,349	2,482	9,101	14062,2	1884,072	15946,3
30	0,524	5,485	13,16	12959,8	1229,741	14189,6
40	0,698	9,511	16,68	11463,7	427,0845	11890,7
50	0,873	14,39	19,52	9619,14	-427,084	9192,06
60	1,047	19,94	21,6	7482,37	-1229,74	6252,63
70	1,222	25,93	22,88	5118,24	-1884,07	3234,17
80	1,396	32,16	23,35	2598,6	-2311,16	287,442
90	1,571	38,42	23,05	9,2E-13	-2459,48	-2459,5
100	1,745	44,49	22,05	-2598,6	-2311,16	-4909,8
110	1,92	50,22	20,44	-5118,24	-1884,07	-7002,3
120	2,094	55,44	18,32	-7482,37	-1229,74	-8712,1
130	2,269	60,03	15,79	-9619,14	-427,084	-10046
140	2,443	63,9	12,95	-11463,7	427,0845	-11037
150	2,618	66,97	9,884	-12959,8	1229,741	-11730
160	2,793	69,2	6,666	-14062,2	1884,072	-12178
170	2,967	70,55	3,355	-14737,4	2311,157	-12426
180	3,142	71	2E-15	-14964,7	2459,482	-12505
190	3,316	70,55	-3,35	-14737,4	2311,157	-12426
200	3,491	69,2	-6,67	-14062,2	1884,072	-12178
210	3,665	66,97	-9,88	-12959,8	1229,741	-11730
220	3,84	63,9	-13	-11463,7	427,0845	-11037
230	4,014	60,03	-15,8	-9619,14	-427,084	-10046
240	4,189	55,44	-18,3	-7482,37	-1229,74	-8712,1
250	4,363	50,22	-20,4	-5118,24	-1884,07	-7002,3
260	4,538	44,49	-22,1	-2598,6	-2311,16	-4909,8
270	4,712	38,42	-23	-2,8E-12	-2459,48	-2459,5
280	4,887	32,16	-23,3	2598,6	-2311,16	287,442
290	5,061	25,93	-22,9	5118,24	-1884,07	3234,17
300	5,236	19,94	-21,6	7482,37	-1229,74	6252,63
310	5,411	14,39	-19,5	9619,14	-427,084	9192,06
320	5,585	9,511	-16,7	11463,7	427,0845	11890,7
330	5,76	5,485	-13,2	12959,8	1229,741	14189,6
340	5,934	2,482	-9,1	14062,2	1884,072	15946,3
350	6,109	0,627	-4,65	14737,4	2311,157	17048,5
360	6,283	2E-31	-0	14964,7	2459,482	17424,2
370	6,458	0,627	4,65	14737,4	2311,157	17048,5
380	6,632	2,482	9,101	14062,2	1884,072	15946,3
390	6,807	5,485	13,16	12959,8	1229,741	14189,6
400	6,981	9,511	16,68	11463,7	427,0845	11890,7
410	7,156	14,39	19,52	9619,14	-427,084	9192,06
420	7,33	19,94	21,6	7482,37	-1229,74	6252,63
430	7,505	25,93	22,88	5118,24	-1884,07	3234,17
440	7,679	32,16	23,35	2598,6	-2311,16	287,442
450	7,854	38,42	23,05	4,6E-12	-2459,48	-2459,5
460	8,029	44,49	22,05	-2598,6	-2311,16	-4909,8
470	8,203	50,22	20,44	-5118,24	-1884,07	-7002,3
480	8,378	55,44	18,32	-7482,37	-1229,74	-8712,1

490	8,552	60,03	15,79	-9619,14	-427,084	-10046
500	8,727	63,9	12,95	-11463,7	427,0845	-11037
510	8,901	66,97	9,884	-12959,8	1229,741	-11730
520	9,076	69,2	6,666	-14062,2	1884,072	-12178
530	9,25	70,55	3,355	-14737,4	2311,157	-12426
540	9,425	71	7E-15	-14964,7	2459,482	-12505
550	9,599	70,55	-3,35	-14737,4	2311,157	-12426
560	9,774	69,2	-6,67	-14062,2	1884,072	-12178
570	9,948	66,97	-9,88	-12959,8	1229,741	-11730
580	10,12	63,9	-13	-11463,7	427,0845	-11037
590	10,3	60,03	-15,8	-9619,14	-427,084	-10046
600	10,47	55,44	-18,3	-7482,37	-1229,74	-8712,1
610	10,65	50,22	-20,4	-5118,24	-1884,07	-7002,3
620	10,82	44,49	-22,1	-2598,6	-2311,16	-4909,8
630	11	38,42	-23	-6,4E-12	-2459,48	-2459,5
640	11,17	32,16	-23,3	2598,6	-2311,16	287,442
650	11,34	25,93	-22,9	5118,24	-1884,07	3234,17
660	11,52	19,94	-21,6	7482,37	-1229,74	6252,63
670	11,69	14,39	-19,5	9619,14	-427,084	9192,06
680	11,87	9,511	-16,7	11463,7	427,0845	11890,7
690	12,04	5,485	-13,2	12959,8	1229,741	14189,6
700	12,22	2,482	-9,1	14062,2	1884,072	15946,3
710	12,39	0,627	-4,65	14737,4	2311,157	17048,5
720	12,57	7E-31	-0	14964,7	2459,482	17424,2

ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)

Таблица В1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя.

φ°	Δp_r , МПа	W , м/с ²	p_j , МПа	p , МПа	$\operatorname{tg}\beta$	p_N , МПа	$1/\cos\beta$	p_s , МПа	$\cos(\beta+\varphi)/\cos\beta$	p_k , МПа	$\sin(\beta+\varphi)/\cos\beta$	p_T , МПа	T , кН	$M_{кр.п.}$, Нм
0	0,0065	15648	-1,846	-1,84	0	0	1	-1,84	1	-1,84	0	0	0	0
10	-0,0035	15256	-1,8	-1,8037	0,049	-0,088	1,0012	-1,806	0,976301	-1,761	0,221887	-0,40023	-2,48987	-88,3902
20	-0,0135	14108	-1,665	-1,6783	0,0968	-0,162	1,0047	-1,686	0,906571	-1,522	0,43299	-0,7267	-4,52092	-160,493
30	-0,0155	12294	-1,451	-1,4663	0,1423	-0,209	1,01	-1,481	0,794839	-1,165	0,623197	-0,91379	-5,68483	-201,811
40	-0,0185	9952	-1,174	-1,1929	0,1841	-0,22	1,0167	-1,213	0,647586	-0,772	0,783744	-0,93491	-5,81618	-206,475
50	-0,0215	7253	-0,856	-0,8774	0,221	-0,194	1,0238	-0,898	0,473327	-0,415	0,907868	-0,79658	-4,95562	-175,925
60	-0,0245	4388	-0,518	-0,5423	0,2515	-0,136	1,0307	-0,559	0,281972	-0,153	0,99136	-0,53764	-3,34473	-118,738
70	-0,0275	1545	-0,182	-0,2098	0,2744	-0,058	1,0363	-0,217	0,08397	-0,018	1,032913	-0,21673	-1,34832	-47,8653
80	-0,0295	-1108	0,1307	0,1011	0,2886	0,0292	1,04	0,1052	-0,110681	-0,011	1,034129	0,104594	0,650696	23,0997
90	-0,0295	-3434	0,4053	0,3757	0,2934	0,1102	1,0413	0,3912	-0,293391	-0,11	0,999146	0,375387	2,335337	82,90445
100	-0,0194	-5346	0,6309	0,6114	0,2886	0,1764	1,04	0,6359	-0,457699	-0,28	0,933908	0,57103	3,552459	126,1123
110	-0,0194	-6804	0,8029	0,7834	0,2744	0,215	1,0363	0,8119	-0,599619	-0,47	0,845232	0,662195	4,119611	146,2462
120	-0,0194	-7817	0,9224	0,903	0,2515	0,2271	1,0307	0,9307	-0,717557	-0,648	0,739875	0,668093	4,156301	147,5487
130	-0,0194	-8437	0,9956	0,9762	0,221	0,2157	1,0238	0,9994	-0,811883	-0,793	0,623785	0,608909	3,788105	134,4777
140	-0,0184	-8747	1,0321	1,0137	0,1841	0,1866	1,0167	1,0306	-0,88429	-0,896	0,501652	0,508517	3,163552	112,3061
150	-0,0174	-8844	1,0436	1,0262	0,1423	0,146	1,01	1,0365	-0,937124	-0,962	0,376753	0,386618	2,405204	85,38476
160	-0,0164	-8828	1,0417	1,0253	0,0968	0,0993	1,0047	1,03	-0,972794	-0,997	0,251043	0,257383	1,601218	56,84324
170	-0,0144	-8781	1,0361	1,0217	0,049	0,05	1,0012	1,0229	-0,993313	-1,015	0,125409	0,12813	0,797116	28,29763
180	-0,0124	-8758	1,0335	1,021	3E-17	4E-17	1	1,021	-1	-1,021	1,23E-16	1,25E-16	7,78E-16	2,76E-14
190	-0,0104	-8780	1,036	1,0256	-0,049	-0,05	1,0012	1,0268	-0,993313	-1,019	-0,125409	-0,12861	-0,80013	-28,4046
200	-0,0084	-8825	1,0414	1,033	-0,097	-0,1	1,0047	1,0378	-0,972794	-1,005	-0,251043	-0,25932	-1,61328	-57,2714
210	-0,0064	-8841	1,0432	1,0368	-0,142	-0,148	1,01	1,0472	-0,937124	-0,972	-0,376753	-0,39061	-2,43001	-86,2653
220	-0,0044	-8742	1,0316	1,0271	-0,184	-0,189	1,0167	1,0443	-0,88429	-0,908	-0,501652	-0,51526	-3,20551	-113,796
230	-0,0036	-8431	0,9949	0,9913	-0,221	-0,219	1,0238	1,0149	-0,811883	-0,805	-0,623785	-0,61834	-3,84676	-136,56
240	0,0051	-7810	0,9216	0,9267	-0,251	-0,233	1,0307	0,9551	-0,717557	-0,665	-0,739875	-0,68561	-4,26526	-151,417
250	0,0171	-6796	0,8019	0,819	-0,274	-0,225	1,0363	0,8487	-0,599619	-0,491	-0,845232	-0,69222	-4,30643	-152,878

260	0,0337	-5337	0,6298	0,6635	-0,289	-0,191	1,04	0,69	-0,457699	-0,304	-0,933908	-0,61961	-3,85469	-136,842
270	0,0571	-3424	0,404	0,4611	-0,293	-0,135	1,0413	0,4801	-0,293391	-0,135	-0,999146	-0,46068	-2,86597	-101,742
280	0,0905	-1096	0,1293	0,2198	-0,289	-0,063	1,04	0,2286	-0,110681	-0,024	-1,034129	-0,22734	-1,41433	-50,2088
290	0,1397	1558	-0,184	-0,0441	-0,274	0,0121	1,0363	-0,046	0,08397	-0,004	-1,032913	0,045583	0,28358	10,0671
300	0,2139	4402	-0,519	-0,3056	-0,251	0,0768	1,0307	-0,315	0,281972	-0,086	-0,99136	0,302912	1,884459	66,89829
310	0,3293	7268	-0,858	-0,5284	-0,221	0,1168	1,0238	-0,541	0,473327	-0,25	-0,907868	0,479693	2,984237	105,9404
320	0,5128	9968	-1,176	-0,6635	-0,184	0,1222	1,0167	-0,675	0,647586	-0,43	-0,783744	0,520024	3,235144	114,8476
330	0,8031	12312	-1,453	-0,6497	-0,142	0,0924	1,01	-0,656	0,794839	-0,516	-0,623197	0,404892	2,518891	89,42063
331	0,8396	12520	-1,477	-0,6378	-0,138	0,0879	1,0094	-0,644	0,807736	-0,515	-0,60538	0,386109	2,402036	85,27228
332	0,8774	12722	-1,501	-0,6238	-0,133	0,0832	1,0088	-0,629	0,820267	-0,512	-0,587273	0,366345	2,279084	80,90749
333	0,9168	12919	-1,524	-0,6077	-0,129	0,0784	1,0082	-0,613	0,832427	-0,506	-0,568884	0,3457	2,150647	76,34798
334	0,9575	13110	-1,547	-0,5895	-0,124	0,0734	1,0077	-0,594	0,844208	-0,498	-0,550221	0,324344	2,017791	71,63157
335	0,9997	13295	-1,569	-0,5692	-0,12	0,0683	1,0071	-0,573	0,855604	-0,487	-0,531293	0,302411	1,88134	66,78758
336	1,0432	13474	-1,59	-0,5468	-0,115	0,0631	1,0066	-0,55	0,866607	-0,474	-0,512109	0,280034	1,742132	61,84568
337	1,0880	13647	-1,61	-0,5223	-0,111	0,0579	1,0061	-0,526	0,877211	-0,458	-0,492677	0,257348	1,600997	56,83541
338	1,1343	13814	-1,63	-0,4957	-0,106	0,0526	1,0056	-0,499	0,88741	-0,44	-0,473007	0,234483	1,458753	51,78571
339	1,1820	13974	-1,649	-0,4669	-0,101	0,0474	1,0051	-0,469	0,897199	-0,419	-0,453109	0,211567	1,316187	46,72462
340	1,2312	14127	-1,667	-0,4359	-0,097	0,0422	1,0047	-0,438	0,906571	-0,395	-0,43299	0,18872	1,174056	41,67899
341	1,2819	14274	-1,684	-0,4024	-0,092	0,0371	1,0042	-0,404	0,91552	-0,368	-0,412662	0,16606	1,033084	36,67448
342	1,3344	14414	-1,701	-0,3665	-0,087	0,032	1,0038	-0,368	0,924043	-0,339	-0,392133	0,143697	0,893962	31,73564
343	1,3888	14547	-1,717	-0,3278	-0,083	0,0271	1,0034	-0,329	0,932133	-0,306	-0,371413	0,12174	0,757359	26,88626
344	1,4453	14673	-1,731	-0,2861	-0,078	0,0223	1,003	-0,287	0,939787	-0,269	-0,350513	0,100294	0,623942	22,14995
345	1,5042	14792	-1,745	-0,2412	-0,073	0,0176	1,0027	-0,242	0,946999	-0,228	-0,329442	0,07947	0,494394	17,551
346	1,5659	14903	-1,759	-0,1927	-0,068	0,0132	1,0023	-0,193	0,953765	-0,184	-0,308211	0,059386	0,369451	13,11552
347	1,6308	15008	-1,771	-0,1401	-0,064	0,0089	1,002	-0,14	0,960082	-0,134	-0,28683	0,040176	0,249939	8,872848
348	1,6994	15105	-1,782	-0,0829	-0,059	0,0049	1,0017	-0,083	0,965946	-0,08	-0,265308	0,021993	0,136821	4,857144
349	1,7723	15194	-1,793	-0,0206	-0,054	0,0011	1,0014	-0,021	0,971353	-0,02	-0,243657	0,005023	0,031246	1,109232
350	1,8499	15276	-1,803	0,0474	-0,049	-0,002	1,0012	0,0474	0,976301	0,046	-0,221887	-0,01051	-0,0654	-2,32157
351	1,9330	15350	-1,811	0,1217	-0,044	-0,005	1,001	0,1218	0,980786	0,119	-0,200009	-0,02434	-0,15143	-5,37566
352	2,0222	15417	-1,819	0,203	-0,039	-0,008	1,0008	0,2032	0,984806	0,2	-0,178033	-0,03614	-0,22483	-7,98159
353	2,1180	15476	-1,826	0,2919	-0,034	-0,01	1,0006	0,2921	0,988359	0,289	-0,15597	-0,04553	-0,28324	-10,0549
354	2,2212	15527	-1,832	0,389	-0,029	-0,011	1,0004	0,3892	0,991442	0,386	-0,13383	-0,05206	-0,32388	-11,4978

355	2,3321	15570	-1,837	0,4948	-0,025	-0,012	1,0003	0,495	0,994054	0,492	-0,111625	-0,05524	-0,34363	-12,199
356	2,4513	15606	-1,841	0,6098	-0,02	-0,012	1,0002	0,6099	0,996193	0,607	-0,089366	-0,0545	-0,33902	-12,0353
357	2,5789	15634	-1,845	0,7342	-0,015	-0,011	1,0001	0,7343	0,997858	0,733	-0,067063	-0,04924	-0,3063	-10,8737
358	2,7152	15653	-1,847	0,8681	-0,01	-0,009	1	0,8681	0,999048	0,867	-0,044727	-0,03883	-0,24154	-8,57459
359	2,8599	15665	-1,849	1,0113	-0,005	-0,005	1	1,0114	0,999762	1,011	-0,022369	-0,02262	-0,14074	-4,99621
360	3,0127	15669	-1,849	1,1637	-7E-17	-8E-17	1	1,1637	1	1,164	-2,45E-16	-2,9E-16	-1,8E-15	-6,3E-14
361	3,1730	15665	-1,849	1,3245	0,0049	0,0065	1	1,3245	0,999762	1,324	0,022369	0,029628	0,184318	6,543289
362	3,3400	15654	-1,847	1,4929	0,0098	0,0147	1	1,493	0,999048	1,491	0,044727	0,066773	0,415403	14,74681
363	3,5125	15634	-1,845	1,6677	0,0147	0,0246	1,0001	1,6679	0,997858	1,664	0,067063	0,111843	0,69579	24,70055
364	3,6891	15606	-1,842	1,8476	0,0197	0,0363	1,0002	1,8479	0,996193	1,841	0,089366	0,165109	1,027163	36,4643
365	3,8680	15571	-1,837	2,0307	0,0246	0,0499	1,0003	2,0313	0,994054	2,019	0,111625	0,226673	1,410166	50,06088
366	4,0474	15528	-1,832	2,2151	0,0295	0,0653	1,0004	2,2161	0,991442	2,196	0,13383	0,296446	1,844234	65,4703
367	4,2249	15477	-1,826	2,3987	0,0344	0,0824	1,0006	2,4001	0,988359	2,371	0,15597	0,374121	2,327461	82,62488
368	4,3984	15418	-1,819	2,5791	0,0392	0,1012	1,0008	2,5811	0,984806	2,54	0,178033	0,459162	2,856509	101,4061
369	4,5653	15351	-1,811	2,7538	0,0441	0,1215	1,001	2,7565	0,980786	2,701	0,200009	0,550794	3,426566	121,6431
370	4,7231	15277	-1,803	2,9205	0,049	0,1431	1,0012	2,924	0,976301	2,851	0,221887	0,648012	4,031372	143,1137
371	4,8695	15195	-1,793	3,0764	0,0538	0,1656	1,0014	3,0809	0,971353	2,988	0,243657	0,749591	4,663311	165,5475
372	5,0018	15106	-1,782	3,2193	0,0587	0,1889	1,0017	3,2249	0,965946	3,11	0,265308	0,854115	5,313568	188,6317
373	5,1180	15009	-1,771	3,347	0,0635	0,2126	1,002	3,3537	0,960082	3,213	0,28683	0,960011	5,972361	212,0188
374	5,2161	14905	-1,759	3,4574	0,0683	0,2362	1,0023	3,4654	0,953765	3,298	0,308211	1,065597	6,629227	235,3376
375	5,2945	14793	-1,746	3,5488	0,0731	0,2595	1,0027	3,5583	0,946999	3,361	0,329442	1,169138	7,273371	258,2047
376	5,3518	14675	-1,732	3,6201	0,0779	0,282	1,003	3,6311	0,939787	3,402	0,350513	1,268906	7,894041	280,2385
377	5,3872	14549	-1,717	3,6704	0,0827	0,3034	1,0034	3,6829	0,932133	3,421	0,371413	1,363243	8,480927	301,0729
378	5,4004	14416	-1,701	3,6993	0,0874	0,3233	1,0038	3,7134	0,924043	3,418	0,392133	1,450627	9,024552	320,3716
379	5,3916	14276	-1,685	3,707	0,0921	0,3415	1,0042	3,7226	0,91552	3,394	0,412662	1,529726	9,516641	337,8408
380	5,3613	14130	-1,667	3,694	0,0968	0,3576	1,0047	3,7112	0,906571	3,349	0,43299	1,599454	9,950429	353,2402
381	5,3106	13976	-1,649	3,6614	0,1015	0,3716	1,0051	3,6801	0,897199	3,285	0,453109	1,659005	10,3209	366,3921
382	5,2410	13816	-1,63	3,6107	0,1061	0,3832	1,0056	3,6309	0,88741	3,204	0,473007	1,707879	10,62495	377,1858
383	5,1544	13650	-1,611	3,5437	0,1108	0,3925	1,0061	3,5653	0,877211	3,109	0,492677	1,745888	10,86141	385,5802
384	5,0528	13477	-1,59	3,4625	0,1154	0,3994	1,0066	3,4853	0,866607	3,001	0,512109	1,773152	11,03103	391,6015
385	4,9385	13298	-1,569	3,3693	0,1199	0,404	1,0071	3,3933	0,855604	2,883	0,531293	1,790069	11,13627	395,3376
386	4,8138	13113	-1,547	3,2665	0,1245	0,4065	1,0077	3,2916	0,844208	2,758	0,550221	1,797279	11,18113	396,93

387	4,6812	12922	-1,525	3,1564	0,129	0,4071	1,0082	3,1824	0,832427	2,627	0,568884	1,795617	11,17079	396,563
388	4,5429	12726	-1,502	3,0413	0,1334	0,4058	1,0088	3,0681	0,820267	2,495	0,587273	1,786057	11,11131	394,4515
389	4,4010	12523	-1,478	2,9232	0,1379	0,4031	1,0094	2,9507	0,807736	2,361	0,60538	1,769653	11,00926	390,8287
390	4,2573	12316	-1,453	2,8041	0,1423	0,399	1,01	2,8322	0,794839	2,229	0,623197	1,747492	10,87139	385,9344
391	4,1136	12103	-1,428	2,6855	0,1467	0,3938	1,0106	2,7141	0,781586	2,099	0,640716	1,72064	10,70434	380,0041
392	3,9712	11884	-1,402	2,5688	0,151	0,3879	1,0113	2,5978	0,767984	1,973	0,657929	1,690105	10,51438	373,2605
393	3,8312	11661	-1,376	2,4552	0,1553	0,3812	1,0119	2,4844	0,754041	1,851	0,674828	1,656812	10,30726	365,9078
394	3,6944	11433	-1,349	2,3453	0,1595	0,3742	1,0126	2,3748	0,739764	1,735	0,691405	1,621582	10,08809	358,1271
395	3,5616	11200	-1,322	2,24	0,1637	0,3668	1,0132	2,2696	0,725162	1,624	0,707655	1,585123	9,861275	350,0753
396	3,4331	10963	-1,294	2,1394	0,1679	0,3592	1,0139	2,1692	0,710245	1,52	0,723569	1,548038	9,630563	341,885
397	3,3092	10722	-1,265	2,044	0,172	0,3516	1,0146	2,0738	0,695019	1,421	0,739142	1,510824	9,399046	333,6661
398	3,2347	10476	-1,236	1,9986	0,1761	0,352	1,0153	2,0291	0,679495	1,358	0,754366	1,507663	9,379381	332,968
399	3,1281	10226	-1,207	1,9214	0,1801	0,3461	1,016	1,9521	0,663681	1,275	0,769235	1,478018	9,19496	326,4211
400	3,0258	9973	-1,177	1,849	0,1841	0,3404	1,0167	1,8798	0,647586	1,197	0,783744	1,449105	9,015082	320,0354
410	2,2055	7274	-0,858	1,3471	0,221	0,2977	1,0238	1,3793	0,473327	0,638	0,907868	1,223017	7,608562	270,1039
420	1,6637	4409	-0,52	1,1435	0,2515	0,2876	1,0307	1,1786	0,281972	0,322	0,99136	1,133593	7,052241	250,3545
430	1,3003	1566	-0,185	1,1155	0,2744	0,3061	1,0363	1,156	0,08397	0,094	1,032913	1,152207	7,168039	254,4654
440	1,0507	-1086	0,1282	1,1789	0,2886	0,3402	1,04	1,2261	-0,110681	-0,13	1,034129	1,219157	7,584546	269,2514
450	0,8755	-3413	0,4028	1,2782	0,2934	0,375	1,0413	1,331	-0,293391	-0,375	0,999146	1,277126	7,945178	282,0538
460	0,7499	-5325	0,6284	1,3783	0,2886	0,3977	1,04	1,4335	-0,457699	-0,631	0,933908	1,287188	8,007777	284,2761
470	0,6586	-6783	0,8004	1,459	0,2744	0,4003	1,0363	1,512	-0,599619	-0,875	0,845232	1,233191	7,671855	272,3508
480	0,5916	-7796	0,9199	1,5115	0,2515	0,3801	1,0307	1,5579	-0,717557	-1,085	0,739875	1,118342	6,957365	246,9865
490	0,5424	-8416	0,9931	1,5354	0,221	0,3393	1,0238	1,572	-0,811883	-1,247	0,623785	0,957782	5,958493	211,5265
500	0,5065	-8726	1,0296	1,5361	0,1841	0,2828	1,0167	1,5617	-0,88429	-1,358	0,501652	0,770571	4,79383	170,181
510	0,4065	-8823	1,0411	1,4476	0,1423	0,206	1,01	1,4621	-0,937124	-1,357	0,376753	0,545375	3,392855	120,4464
520	0,3065	-8807	1,0392	1,3456	0,0968	0,1303	1,0047	1,3519	-0,972794	-1,309	0,251043	0,337813	2,101584	74,60625
530	0,2965	-8760	1,0336	1,3301	0,049	0,0652	1,0012	1,3317	-0,993313	-1,321	0,125409	0,166804	1,037714	36,83885
540	0,1965	-8737	1,031	1,2274	1E-16	1E-16	1	1,2274	-1	-1,227	3,68E-16	4,51E-16	2,81E-15	9,96E-14
550	0,1765	-8758	1,0335	1,2099	-0,049	-0,059	1,0012	1,2114	-0,993313	-1,202	-0,125409	-0,15174	-0,94398	-33,5115
560	0,1565	-8804	1,0389	1,1954	-0,097	-0,116	1,0047	1,2009	-0,972794	-1,163	-0,251043	-0,30009	-1,86689	-66,2746
570	0,1365	-8820	1,0407	1,1772	-0,142	-0,167	1,01	1,189	-0,937124	-1,103	-0,376753	-0,4435	-2,75905	-97,9464
580	0,1165	-8721	1,0291	1,1455	-0,184	-0,211	1,0167	1,1646	-0,88429	-1,013	-0,501652	-0,57465	-3,57498	-126,912

590	0,0965	-8410	0,9924	1,0888	-0,221	-0,241	1,0238	1,1148	-0,811883	-0,884	-0,623785	-0,67921	-4,22543	-150,003
600	0,0765	-7789	0,9191	0,9955	-0,251	-0,25	1,0307	1,0261	-0,717557	-0,714	-0,739875	-0,73657	-4,58233	-162,673
610	0,0565	-6775	0,7994	0,8559	-0,274	-0,235	1,0363	0,887	-0,599619	-0,513	-0,845232	-0,72341	-4,50041	-159,765
620	0,0465	-5316	0,6273	0,6737	-0,289	-0,194	1,04	0,7007	-0,457699	-0,308	-0,933908	-0,62919	-3,91431	-138,958
630	0,0365	-3403	0,4015	0,438	-0,293	-0,128	1,0413	0,4561	-0,293391	-0,128	-0,999146	-0,4376	-2,72237	-96,644
640	0,0265	-1075	0,1268	0,1533	-0,289	-0,044	1,04	0,1594	-0,110681	-0,017	-1,034129	-0,1585	-0,98606	-35,005
650	0,0165	1579	-0,186	-0,1698	-0,274	0,0466	1,0363	-0,176	0,08397	-0,014	-1,032913	0,175426	1,09135	38,74291
660	0,0065	4423	-0,522	-0,5155	-0,251	0,1296	1,0307	-0,531	0,281972	-0,145	-0,99136	0,51102	3,179127	112,859
670	0,0065	7289	-0,86	-0,8537	-0,221	0,1886	1,0238	-0,874	0,473327	-0,404	-0,907868	0,775049	4,821688	171,1699
680	0,0065	9989	-1,179	-1,1723	-0,184	0,2158	1,0167	-1,192	0,647586	-0,759	-0,783744	0,91878	5,715862	202,9131
690	0,0065	12333	-1,455	-1,4489	-0,142	0,2062	1,01	-1,463	0,794839	-1,152	-0,623197	0,902924	5,617218	199,4112
700	0,0065	14148	-1,669	-1,663	-0,097	0,161	1,0047	-1,671	0,906571	-1,508	-0,43299	0,720078	4,479704	159,0295
710	0,0065	15297	-1,805	-1,7986	-0,049	0,0881	1,0012	-1,801	0,976301	-1,756	-0,221887	0,399081	2,482739	88,13723
720	0,0065	15690	-1,851	-1,845	-1E-16	3E-16	1	-1,845	1	-1,845	-4,9E-16	9,04E-16	5,62E-15	2E-13

Таблица В2 – Суммирование значений крутящих моментов всех четырех цилиндров.

φ°	Цилиндры								$M_{кр},$ Нм
	1-й		2-й		3-й		4-й		
	φ° кровошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	φ° кровошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	φ° кровошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	φ° кровошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	
0	0	0	180	2E-14	360	6E-14	540	-6E-14	0
10	10	-54,39	190	-17,46	370	-21,28	550	116,7	23,6
20	20	-98,87	200	-35,22	380	-41,97	560	280,8	104,8
30	30	-124,4	210	-53,07	390	-61,86	570	310,1	70,78
40	40	-127,4	220	-70,05	400	-79,94	580	262	-15,42
50	50	-108,7	230	-84,1	410	-94,28	590	221,2	-65,87
60	60	-73,68	240	-93,45	420	-102,1	600	199,5	-69,67
70	70	-30,17	250	-94,69	430	-100,1	610	193,8	-31,24
80	80	13,46	260	-85,33	440	-87,27	620	195,9	36,74
90	90	50,32	270	-64,45	450	-61,08	630	198	122,8
100	100	77,23	280	-33,74	460	-22,92	640	194,5	215,1
110	110	89,65	290	1,97	470	22,75	650	183,2	297,6

120	120	90,49	300	35,09	480	68,662	660	164,3	358,5
130	130	82,49	310	56,75	490	104,58	670	139,7	383,5
140	140	68,9	320	59,44	500	124,19	680	111,9	364,4
150	150	52,4	330	41,14	510	122,15	690	78,45	294,1
160	160	34,89	340	10,94	520	97,459	700	48,12	191,4
170	170	17,38	350	-12,71	530	54,026	710	23,74	82,43
180	180	2E-14	360	-6E-14	540	1E-13	720	6E-14	1E-13

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г1- Силы, действующих на шатунную шейку коленчатого вала.

φ, град	K, Н	T, Н	P _к , Н	R _{ш.ш.} , Н	K _{рк} , Н	R _к , Н
0	0	-7,03614465	-14,4814	14,4814	-26,4624	26,4624
10	-1,532063	-6,74106009	-14,1864	14,2689	-26,1673	26,21213
20	-2,785128	-5,8313444	-13,2766	13,5656	-25,2576	25,41069
30	-3,503867	-4,46890939	-11,9142	12,4188	-23,8952	24,15069
40	-3,588381	-2,96498164	-10,4103	11,0114	-22,3912	22,67695
50	-3,062914	-1,59688359	-9,04219	9,5469	-21,0231	21,24509
60	-2,075458	-0,59032098	-8,03563	8,2993	-20,0166	20,12389
70	-0,849876	-0,06909045	-7,5144	7,5623	-19,4953	19,51386
80	0,379242	-0,04058957	-7,48589	7,4955	-19,4668	19,47054
90	1,417358	-0,41619549	-7,8615	7,9882	-19,8425	19,89301
100	2,175391	-1,06613731	-8,51144	8,7850	-20,4924	20,60754
110	2,525483	-1,79160973	-9,23691	9,5759	-21,2179	21,36764
120	2,549048	-2,47215793	-9,91746	10,2398	-21,8984	22,04627
130	2,323561	-3,02421221	-10,4695	10,7243	-22,4505	22,57039
140	1,94093	-3,42138071	-10,8667	11,0387	-22,8476	22,92993
150	1,475969	-3,67128673	-11,1166	11,2141	-23,0975	23,14465
160	0,982817	-3,80843166	-11,2537	11,2966	-23,2347	23,25546
170	0,489483	-3,87699213	-11,3223	11,3329	-23,3032	23,30839
180	4,78E-16	-3,90236379	-11,3477	11,3477	-23,3286	23,32862
190	-0,491788	-3,89525321	-11,3406	11,3512	-23,3215	23,32669
200	-0,992047	-3,84419974	-11,2895	11,3330	-23,2705	23,29159
210	-1,495017	-3,71866637	-11,164	11,2636	-23,1449	23,19316
220	-1,973213	-3,47828735	-10,9236	11,1004	-22,9045	22,98938
230	-2,368902	-3,08322579	-10,5285	10,7917	-22,5095	22,63379
240	-2,632421	-2,5530166	-9,99832	10,3391	-21,9793	22,13635
250	-2,667373	-1,89226833	-9,33757	9,7111	-21,3185	21,48475
260	-2,403632	-1,17799566	-8,6233	8,9520	-20,6043	20,74398
270	-1,815465	-0,53309627	-7,9784	8,1823	-19,9594	20,04175
280	-0,950464	-0,10172636	-7,54703	7,6066	-19,528	19,5511
290	0,055492	-0,00451121	-7,44982	7,4500	-19,4308	19,43085
300	0,988536	-0,28116849	-7,72647	7,7895	-19,7074	19,7322
310	1,598552	-0,8334224	-8,27873	8,4316	-20,2597	20,32265
320	1,674304	-1,38343158	-8,82874	8,9861	-20,8097	20,87693
330	1,158873	-1,47805279	-8,92336	8,9983	-20,9043	20,93641
340	0,308108	-0,64509968	-8,0904	8,0963	-20,0714	20,07372
350	-0,358103	1,57564878	-5,86966	5,8806	-17,8506	17,8542
360	-1,66E-15	6,78048473	-0,66482	0,6648	-12,6458	12,64577
363	3,288195	14,4680231	7,022718	7,7544	-4,95823	5,949479
370	7,910983	16,5635727	9,118267	12,0717	-2,86268	8,413003
380	8,735172	11,1410312	3,695726	9,4848	-8,28523	12,03944
390	7,379066	6,09712166	-1,34818	7,5012	-13,3291	15,23537
400	6,232221	3,24923616	-4,19607	7,5132	-16,177	17,33599
410	5,620539	1,59864546	-5,84666	8,1101	-17,8276	18,69262
420	5,45779	0,44368957	-7,00162	8,8775	-18,9826	19,75159
430	5,517767	-0,59055642	-8,03586	9,7479	-20,0168	20,76339
440	5,576773	-1,63757334	-9,08288	10,6583	-21,0638	21,78957
450	5,480221	-2,68580104	-10,1311	11,5183	-22,1121	22,78104
460	5,161217	-3,66143291	-11,1067	12,2474	-23,0877	23,65755
470	4,627859	-4,488264	-11,9336	12,7995	-23,9145	24,35819

480	3,934593	-5,12103765	-12,5663	13,1679	-24,5473	24,86062
490	3,151251	-5,55487932	-13,0002	13,3767	-24,9811	25,17911
500	2,209972	-5,49702641	-12,9423	13,1297	-24,9233	25,02107
510	1,355354	-5,25201794	-12,6973	12,7695	-24,6783	24,71546
520	0,668666	-5,29622918	-12,7415	12,7591	-24,7225	24,73153
530	1,79E-15	-4,86236227	-12,3077	12,3077	-24,2886	24,28862
540	-0,5995	-4,74839685	-12,1937	12,2084	-24,1747	24,18209
550	-1,182283	-4,58136635	-12,0267	12,0846	-24,0076	24,03672
560	-1,742429	-4,33407167	-11,7794	11,9076	-23,7603	23,82413
570	-2,251945	-3,9696231	-11,4149	11,6349	-23,3959	23,50401
580	-2,655865	-3,45672007	-10,902	11,2209	-22,883	23,03658
590	-2,875227	-2,78849884	-10,2338	10,6300	-22,2148	22,40005
600	-2,820436	-2,00085306	-9,44616	9,8582	-21,4271	21,61194
610	-2,458378	-1,20482618	-8,65013	8,9927	-20,6311	20,77704
620	-1,720694	-0,5052676	-7,95057	8,1346	-19,9315	20,00566
630	-0,645615	-0,06909902	-7,5144	7,5421	-19,4954	19,50604
640	0,640858	-0,05209842	-7,4974	7,5247	-19,4784	19,48889
650	1,934147	-0,55012783	-7,99543	8,2260	-19,9764	20,0698
660	2,946049	-1,53595479	-8,98126	9,4521	-20,9622	21,16822
670	3,498316	-2,89056362	-10,3359	10,9118	-22,3168	22,58935
680	3,440851	-4,38853754	-11,8338	12,3239	-23,8148	24,06208
690	2,745327	-5,74801153	-13,1933	13,4759	-25,1743	25,32352
700	1,521865	-6,69618926	-14,1415	14,2231	-26,1224	26,16674
710	3,45E-15	-7,03614465	-14,4814	14,4814	-26,4624	26,4624
720	0	0	-7,44531	7,4453	-19,4263	19,42626

Таблица Г2 - Определение суммарных сил, действующих по каждому лучу диаграммы износа шатунной шейки.

Rш.ш i	Значения Rш.ш i, кН, для лучей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rш.ш 0	12298	12298	12298	0	0	0	0	0	0	0	12298	12298
Rш.ш 10	12100	12100	12100	0	0	0	0	0	0	0	12100	12100
Rш.ш 20	11438	11438	11438	0	0	0	0	0	0	0	11438	11438
Rш.ш 30	10342	10342	10342	0	0	0	0	0	0	0	0	10342
Rш.ш 40	8975,5	8975,5	8975,5	0	0	0	0	0	0	0	0	8975,5
Rш.ш 50	7511,7	7511,7	7511,7	0	0	0	0	0	0	0	0	7511,7
Rш.ш 60	6209,4	6209,4	6209,4	0	0	0	0	0	0	0	0	6209,4
Rш.ш 70	5398,4	5398,4	5398,4	0	0	0	0	0	0	0	5398,4	5398,4
Rш.ш 80	5316,1	5316,1	5316,1	0	0	0	0	0	0	0	5316,1	5316,1
Rш.ш 90	5852,4	5852,4	0	0	0	0	0	0	0	0	5852,4	5852,4
Rш.ш 100	6691,6	6691,6	0	0	0	0	0	0	0	0	6691,6	6691,6
Rш.ш 110	7492,1	7492,1	0	0	0	0	0	0	0	0	7492,1	7492,1
Rш.ш 120	8143,4	8143,4	0	0	0	0	0	0	0	0	8143,4	8143,4
Rш.ш 130	8605,8	8605,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8605,8	8605,8
Rш.ш 140	8897,6	8897,6	0	0	0	0	0	0	0	0	8897,6	8897,6
Rш.ш 150	9054,4	9054,4	0	0	0	0	0	0	0	0	9054,4	9054,4
Rш.ш 160	9123,5	9123,5	9123,5	0	0	0	0	0	0	0	9123,5	9123,5
Rш.ш 170	9152,1	9152,1	9152,1	0	0	0	0	0	0	0	9152,1	9152,1
Rш.ш 180	9164,3	9164,3	9164,3	0	0	0	0	0	0	0	9164,3	9164,3
Rш.ш 190	9170,4	9170,4	9170,4	0	0	0	0	0	0	0	9170,4	9170,4
Rш.ш 200	9160,1	9160,1	9160,1	0	0	0	0	0	0	0	9160,1	9160,1
Rш.ш 210	9104,2	9104,2	9104,2	0	0	0	0	0	0	0	0	9104,2
Rш.ш 220	8960,2	8960,2	8960,2	0	0	0	0	0	0	0	0	8960,2
Rш.ш 230	8674,9	8674,9	8674,9	0	0	0	0	0	0	0	0	8674,9
Rш.ш 240	8246,4	8246,4	8246,4	0	0	0	0	0	0	0	0	8246,4
Rш.ш 250	7635,3	7635,3	7635,3	0	0	0	0	0	0	0	0	7635,3
Rш.ш 260	6873,9	6873,9	6873,9	0	0	0	0	0	0	0	0	6873,9
Rш.ш 270	6072,8	6072,8	6072,8	0	0	0	0	0	0	0	0	6072,8
Rш.ш 280	5447,3	5447,3	5447,3	0	0	0	0	0	0	0	5447,3	5447,3
Rш.ш 290	5266,8	5266,8	5266,8	0	0	0	0	0	0	0	5266,8	5266,8
Rш.ш 300	5630,6	5630,6	0	0	0	0	0	0	0	0	5630,6	5630,6
Rш.ш 310	6301,5	6301,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6301,5	6301,5
Rш.ш 320	6853,1	6853,1	0	0	0	0	0	0	0	0	6853,1	6853,1
Rш.ш 330	6838,9	6838,9	0	0	0	0	0	0	0	0	6838,9	6838,9

RIII. III 340	5915,1	5915,1	5915,1	0	0	0	0	0	0	0	5915,1	5915,1
RIII. III 350	3703,7	3703,7	3703,7	0	0	0	0	0	0	0	3703,7	3703,7
RIII. III 360	1518,5	1518,5	1518,5	0	0	0	0	0	0	0	1518,5	1518,5
RIII. III 370	9775,7	9775,7	9775,7	0	0	0	0	0	0	0	9775,7	9775,7
RIII. III 380	13795	13795	13795	0	0	13795,3	13795	13795	0	0	13795	13795
RIII. III 390	0	0	0	0	0	0	0	0	10529	10529	10529	10529
RIII. III 400	7426,2	7426,2	0	0	0	0	0	0	0	0	7426,2	7426,2
RIII. III 410	6549,2	6549,2	0	0	0	0	0	0	0	0	6549,2	6549,2
RIII. III 420	6709	6709	0	0	0	0	0	0	0	0	6709	6709
RIII. III 430	7280,3	7280,3	0	0	0	0	0	0	0	0	7280,3	7280,3
RIII. III 440	8043,5	8043,5	0	0	0	0	0	0	0	0	8043,5	8043,5
RIII. III 450	8871,5	0	0	0	0	0	0	0	0	8871,5	8871,5	8871,5
RIII. III 460	9654	9654	0	0	0	0	0	0	0	0	9654	9654
RIII. III 470	10309	10309	0	0	0	0	0	0	0	0	10309	10309
RIII. III 480	10793	10793	0	0	0	0	0	0	0	0	10793	10793
RIII. III 490	11104	11104	0	0	0	0	0	0	0	0	11104	11104
RIII. III 500	11267	11267	0	0	0	0	0	0	0	0	11267	11267
RIII. III 510	10984	10984	0	0	0	0	0	0	0	0	10984	10984
RIII. III 520	10601	10601	10601	0	0	0	0	0	0	0	10601	10601
RIII. III 530	10579	10579	10579	0	0	0	0	0	0	0	10579	10579
RIII. III 540	10124	10124	10124	0	0	0	0	0	0	0	10124	10124
RIII. III 550	10028	10028	10028	0	0	0	0	0	0	0	10028	10028
RIII. III 560	9914,1	9914,1	9914,1	0	0	0	0	0	0	0	9914,1	9914,1
RIII. III 570	9753	9753	9753	0	0	0	0	0	0	0	0	9753
RIII. III 580	9502,3	9502,3	9502,3	0	0	0	0	0	0	0	0	9502,3
RIII. III 590	9114,2	9114,2	9114,2	0	0	0	0	0	0	0	0	9114,2
RIII. III 600	8548,5	8548,5	8548,5	0	0	0	0	0	0	0	0	8548,5
RIII. III 610	7791,2	7791,2	7791,2	0	0	0	0	0	0	0	0	7791,2
RIII. III 620	6918,3	6918,3	6918,3	0	0	0	0	0	0	0	0	6918,3
RIII. III 630	6018,5	6018,5	6018,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6018,5
RIII. III 640	5370	5370	5370	0	0	0	0	0	0	0	5370	5370
RIII. III 650	5352,6	5352,6	5352,6	0	0	0	0	0	0	0	5352,6	5352,6
RIII. III 660	6125,5	6125,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6125,5	6125,5
RIII. III 670	7408,8	7408,8	0	0	0	0	0	0	0	0	7408,8	7408,8
RIII. III 680	8871,4	8871,4	0	0	0	0	0	0	0	0	8871,4	8871,4
RIII. III 690	10246	10246	0	0	0	0	0	0	0	0	10246	10246
RIII. III 700	11347	11347	0	0	0	0	0	0	0	0	11347	11347

Rш.ш 710	12055	12055	0	0	0	0	0	0	0	0	12055	12055
ΣRш.ш i	12298	12298	0	0	0	0	0	0	0	0	12298	12298

Таблица Г3 – Расчет сил, действующих на коренные шейки коленчатого вала.

1-я коренная шейка	1-й кривошип				2-я коренная шейка			2-й кривошип			3-я коренная шейка			3-й кривошип		
	jkв, град	Rк1, Н	T1, Н	Kрк1, Н	Tк2, Н	Kк2, Н	Rк.ш2, Н	jkв, град	T2, Н	Kрк2, Н	Tк3, Н	Kк3, Н	Rк.ш3, Н	jkв, град	T3, Н	Kрк3, Н
10448	0	20895,4	0	-20895,4	2Е-13	1566,9	1566,9	180	5Е-13	-17761,6	1Е-12	-18241,6	18241,6	540	1,8Е-12	-18721,6
10329	10	20657,2	-1532,1	-20600,3	520,14	1422,9	1515	190	-491,79	-17754,5	-545,64	-18181	18189,2	550	-599,5	-18607,6
9943,3	20	19886,6	-2785,1	-19690,6	896,54	993,57	1338,3	200	-992,05	-17703,4	-1087,2	-18072	18104,7	560	-1182,3	-18440,6
9330	30	18660	-3503,9	-18328,1	1004,4	375,12	1072,2	210	-1495	-17577,9	-1618,7	-17885,6	17958,7	570	-1742,4	-18193,3
8601,3	40	17202,6	-3588,4	-16824,2	807,58	-256,7	847,39	220	-1973,2	-17337,5	-2112,6	-17583,2	17709,6	580	-2251,9	-17828,8
7878,3	50	15756,7	-3062,9	-15456,1	347,01	-743,2	820,19	230	-2368,9	-16942,4	-2512,4	-17129,2	17312,5	590	-2655,9	-17315,9
7298,9	60	14597,8	-2075,5	-14449,5	-278,48	-981,3	1020,1	240	-2632,4	-16412,2	-2753,8	-16530	16757,8	600	-2875,2	-16647,7
6977,1	70	13954,2	-849,88	-13928,3	-908,75	-911,6	1287,2	250	-2667,4	-15751,5	-2743,9	-15805,8	16042,2	610	-2820,4	-15860,1
6952,5	80	13905	379,242	-13899,8	-1391,4	-568,7	1503,2	260	-2403,6	-15037,2	-2431	-15050,6	15245,7	620	-2458,4	-15064
7172,8	90	14345,6	1417,36	-14275,4	-1616,4	-58,45	1617,5	270	-1815,5	-14392,3	-1768,1	-14378,4	14486,7	630	-1720,7	-14364,5
7541,5	100	15083,1	2175,39	-14925,4	-1562,9	482,21	1635,6	280	-950,46	-13960,9	-798,04	-13944,6	13967,4	640	-645,62	-13928,3
7926,6	110	15853,3	2525,48	-15650,8	-1235	893,55	1524,4	290	55,492	-13863,7	348,18	-13887,5	13891,9	650	640,858	-13911,3
8264,6	120	16529,1	2549,05	-16331,4	-780,26	1095,5	1345	300	988,54	-14140,4	1461,3	-14274,9	14349,5	660	1934,15	-14409,3
8521,3	130	17042,6	2323,56	-16883,4	-362,5	1095,4	1153,8	310	1598,6	-14692,6	2272,3	-15043,9	15214,5	670	2946,05	-15395,2
8694,6	140	17389,3	1940,93	-17280,6	-133,31	1019	1027,7	320	1674,3	-15242,6	2586,3	-15996,2	16203,9	680	3498,32	-16749,8
8796,3	150	17592,5	1475,97	-17530,5	-158,55	1096,6	1108	330	1158,9	-15337,3	2299,9	-16792,5	16949,3	690	3440,85	-18247,8
8847,5	160	17695	982,817	-17667,6	-337,35	1581,7	1617,2	340	308,11	-14504,3	1526,7	-17055,8	17124	700	2745,33	-19607,2
8871,5	170	17743	489,483	-17736,2	-423,79	2726,3	2759,1	350	-358,1	-12283,6	581,88	-16419,5	16429,8	710	1521,87	-20555,4
8880,8	180	17761,6	4,8Е-13	-17761,6	-1Е-12	5341,4	5341,4	360	-2Е-12	-7078,73	9Е-13	-13987	13987	720	3,4Е-12	-20895,4
8880,6	190	17761,3	-491,79	-17754,5	1890	9181,6	9374,1	370	3288,2	608,81	1644,1	-10143,3	10275,7	0	0	-20895,4

8865,6	200	17731,2	-992,05	-17703,4	4451,5	10204	11133	380	7911	2704,36	3189,5	-8947,96	9499,4	10	-1532,1	-20600,3
8820,7	210	17641,3	-1495	-17577,9	5115,1	7429,8	9020,4	390	8735,2	-2718,18	2975	-11204,4	11592,6	20	-2785,1	-19690,6
8724,7	220	17449,4	-1973,2	-17337,5	4676,1	4787,7	6692,4	400	7379,1	-7762,09	1937,6	-13045,1	13188,2	30	-3503,9	-18328,1
8553,6	230	17107,2	-2368,9	-16942,4	4300,6	3166,2	5340,4	410	6232,2	-10610	1321,9	-13717,1	13780,6	40	-3588,4	-16824,2
8311	240	16622	-2632,4	-16412,2	4126,5	2075,8	4619,2	420	5620,5	-12260,6	1278,8	-13858,3	13917,2	50	-3062,9	-15456,1
7987,9	250	15975,7	-2667,4	-15751,5	4062,6	1168	4227,1	430	5457,8	-13415,5	1691,2	-13932,5	14034,8	60	-2075,5	-14449,5
7614,1	260	15228,1	-2403,6	-15037,2	3960,7	293,72	3971,6	440	5517,8	-14449,8	2333,9	-14189	14379,7	70	-849,88	-13928,3
7253,2	270	14506,4	-1815,5	-14392,3	3696,1	-552,2	3737,1	450	5576,8	-15496,8	2978	-14698,3	14996,9	80	379,242	-13899,8
6996,6	280	13993,3	-950,46	-13960,9	3215,3	-1292	3465,2	460	5480,2	-16545	3448,8	-15410,2	15791,4	90	1417,36	-14275,4
6931,9	290	13863,8	55,4921	-13863,7	2552,9	-1828	3140,1	470	5161,2	-17520,6	3668,3	-16223	16632,6	100	2175,39	-14925,4
7087,4	300	14174,9	988,536	-14140,4	1819,7	-2104	2781,4	480	4627,9	-18347,5	3576,7	-16999,2	17371,3	110	2525,48	-15650,8
7389,7	310	14779,3	1598,55	-14692,6	1168	-2144	2441,3	490	3934,6	-18980,3	3241,8	-17655,8	17951	120	2549,05	-16331,4
7667,2	320	15334,3	1674,3	-15242,6	738,47	-2086	2212,6	500	3151,3	-19414,1	2737,4	-18148,8	18354	130	2323,56	-16883,4
7690,5	330	15381	1158,87	-15337,3	525,55	-2009	2077,1	510	2210	-19356,2	2075,5	-18318,4	18435,6	140	1940,93	-17280,6
7253,8	340	14507,6	308,108	-14504,3	523,62	-2303	2362,2	520	1355,4	-19111,2	1415,7	-18320,9	18375,5	150	1475,97	-17530,5
6144,4	350	12288,8	-358,1	-12283,6	513,38	-3436	3474,1	530	668,67	-19155,4	825,74	-18411,5	18430,1	160	982,817	-17667,6
3539,4	360	7078,73	-2E-12	-7078,73	2E-12	-5821	5821,4	540	2E-12	-18721,6	244,74	-18228,9	18230,5	170	489,483	-17736,2
1672	370	3344,08	3288,2	608,81	-1943,8	-9608	9802,9	550	-599,5	-18607,6	-299,75	-18184,6	18187,1	180	4,8E-13	-17761,6
4180,2	380	8360,46	7910,98	2704,36	-4546,6	-10572	11509	560	-1182,3	-18440,6	-837,04	-18097,5	18116,9	190	-491,79	-17754,5
4574,2	390	9148,32	8735,17	-2718,18	-5238,8	-7738	9344,2	570	-1742,4	-18193,3	-1367,2	-17948,3	18000,3	200	-992,05	-17703,4
5354,9	400	10709,8	7379,07	-7762,09	-4815,5	-5033	6965,9	580	-2251,9	-17828,8	-1873,5	-17703,4	17802,2	210	-1495	-17577,9
6152,5	410	12305	6232,22	-10610	-4444	-3353	5567	590	-2655,9	-17315,9	-2314,5	-17326,7	17480,6	220	-1973,2	-17337,5
6743,7	420	13487,5	5620,54	-12260,6	-4247,9	-2194	4780,8	600	-2875,2	-16647,7	-2622,1	-16795,1	16998,5	230	-2368,9	-16942,4
7241,6	430	14483,2	5457,79	-13415,5	-4139,1	-1222	4315,8	610	-2820,4	-15860,1	-2726,4	-16136,1	16364,9	240	-2632,4	-16412,2
7733,7	440	15467,4	5517,77	-14449,8	-3988,1	-307,1	3999,9	620	-2458,4	-15064	-2562,9	-15407,8	15619,5	250	-2667,4	-15751,5
8234,8	450	16469,7	5576,77	-15496,8	-3648,7	566,15	3692,4	630	-1720,7	-14364,5	-2062,2	-14700,8	14844,8	260	-2403,6	-15037,2
8714,5	460	17429	5480,22	-16545	-3062,9	1308,4	3330,7	640	-645,62	-13928,3	-1230,5	-14160,3	14213,7	270	-1815,5	-14392,3
9132,5	470	18265	5161,22	-17520,6	-2260,2	1804,7	2892,3	650	640,86	-13911,3	-154,8	-13936,1	13937	280	-950,46	-13960,9
9461,1	480	18922,1	4627,86	-18347,5	-1346,9	1969,1	2385,6	660	1934,1	-14409,3	994,82	-14136,5	14171,5	290	55,4921	-13863,7

9691,9	490	19383,8	3934,59	-18980,3	-494,27	1792,5	1859,4	670	2946	-15395,2	1967,3	-14767,8	14898,2	300	988,536	-14140,4
9834,1	500	19668,2	3151,25	-19414,1	173,53	1332,2	1343,4	680	3498,3	-16749,8	2548,4	-15721,2	15926,4	310	1598,55	-14692,6
9741	510	19482	2209,97	-19356,2	615,44	554,24	828,22	690	3440,9	-18247,8	2557,6	-16745,2	16939,4	320	1674,3	-15242,6
9579,6	520	19159,2	1355,35	-19111,2	694,99	-248	737,91	700	2745,3	-19607,2	1952,1	-17472,2	17581	330	1158,87	-15337,3
9583,6	530	19167,1	668,666	-19155,4	426,6	-700	819,73	710	1521,9	-20555,4	914,99	-17529,9	17553,7	340	308,108	-14504,3
9360,8	540	18721,6	1,8E-12	-18721,6	8E-13	-1087	1086,9	720	3E-12	-20895,4	-179,05	-16589,5	16590,4	350	-358,1	-12283,6
9308,6	550	18617,3	-599,5	-18607,6	299,75	-1144	1182,5	0	0	-20895,4	-8E-13	-13987	13987	360	-2E-12	-7078,73
9239,2	560	18478,4	-1182,3	-18440,6	-174,89	-1080	1093,9	10	-1532,1	-20600,3	878,07	-9995,73	10034,2	370	3288,2	608,8099
9138,3	570	18276,5	-1742,4	-18193,3	-521,35	-748,6	912,28	20	-2785,1	-19690,6	2562,9	-8493,1	8871,38	380	7910,98	2704,359
8985,2	580	17970,5	-2251,9	-17828,8	-625,96	-249,6	673,91	30	-3503,9	-18328,1	2615,7	-10523,2	10843,4	390	8735,17	-2718,18
8759,2	590	17518,4	-2655,9	-17315,9	-466,26	245,87	527,11	40	-3588,4	-16824,2	1895,3	-12293,1	12438,4	400	7379,07	-7762,09
8447,1	600	16894,2	-2875,2	-16647,7	-93,843	595,81	603,15	50	-3062,9	-15456,1	1584,7	-13033	13129	410	6232,22	-10610
8054,4	610	16108,9	-2820,4	-15860,1	372,49	705,27	797,59	60	-2075,5	-14449,5	1772,5	-13355,1	13472,2	420	5620,54	-12260,6
7631,7	620	15263,3	-2458,4	-15064	804,25	567,87	984,53	70	-849,88	-13928,3	2304	-13671,9	13864,7	430	5457,79	-13415,5
7233,6	630	14467,2	-1720,7	-14364,5	1050	232,34	1075,4	80	379,24	-13899,8	2948,5	-14174,8	14478,2	440	5517,77	-14449,8
6971,6	640	13943,3	-645,62	-13928,3	1031,5	-173,5	1046	90	1417,4	-14275,4	3497,1	-14886,1	15291,3	450	5576,77	-15496,8
6963	650	13926,1	640,858	-13911,3	767,27	-507	919,66	100	2175,4	-14925,4	3827,8	-15735,2	16194,1	460	5480,22	-16545
7269,3	660	14538,6	1934,15	-14409,3	295,67	-620,7	687,56	110	2525,5	-15650,8	3843,3	-16585,7	17025,2	470	5161,22	-17520,6
7837,3	670	15674,5	2946,05	-15395,2	-198,5	-468,1	508,45	120	2549	-16331,4	3588,5	-17339,4	17706,9	480	4627,86	-18347,5
8555,6	680	17111,2	3498,32	-16749,8	-587,38	-66,82	591,17	130	2323,6	-16883,4	3129,1	-17931,8	18202,8	490	3934,59	-18980,3
9284,7	690	18569,3	3440,85	-18247,8	-749,96	483,58	892,35	140	1940,9	-17280,6	2546,1	-18347,3	18523,2	500	3151,25	-19414,1
9899,2	700	19798,5	2745,33	-19607,2	-634,68	1038,4	1217	150	1476	-17530,5	1843	-18443,4	18535,2	510	2209,97	-19356,2
10306	710	20611,7	1521,87	-20555,4	-269,52	1443,9	1468,8	160	982,82	-17667,6	1169,1	-18389,4	18426,6	520	1355,35	-19111,2
10448	720	20895,4	3,4E-12	-20895,4	244,74	1579,6	1598,4	170	489,48	-17736,2	579,07	-18445,8	18454,9	530	668,666	-19155,4

Таблица Г4 – Силы действующие на колено вала.

Крк, Н	Рк, Н	Тк1, Н	Тк3, Н	Тк4, Н	Тк2, Н	Крк1, Н	Крк3, Н	Крк4, Н	Крк2, Н	Тк2=Тк4, Н	Тк3, Н	Кк2,4, Н	Кк3, Н	φ _{КВ} , град
-20895,4	20895,4	0	1,787E-12	-1,661E-12	4,78097E-13	-20895,358	-18721,5755	-7078,7285	-17761,577	4,781E-13	1,1326E-12	-3133,7809	-18241,576	0

-20600,3	20657,2	-1532,063	-599,5002	3288,1954	-491,788094	-20600,273	-18607,6101	608,80986	-17754,466	1040,2749	-545,64414	-2845,8069	-18181,038	10
-19690,6	19886,6	-2785,1279	-1182,283	7910,9833	-992,047429	-19690,558	-18440,5796	2704,3595	-17703,413	1793,0805	-1087,1653	-1987,1447	-18071,996	20
-18328,1	18660	-3503,8669	-1742,429	8735,1716	-1495,01741	-18328,123	-18193,2849	-2718,182	-17577,88	2008,8495	-1618,7233	-750,24302	-17885,582	30
-16824,2	17202,6	-3588,3812	-2251,945	7379,0665	-1973,2126	-16824,195	-17828,8363	-7762,0915	-17337,501	1615,1686	-2112,5786	513,30571	-17583,168	40
-15456,1	15756,7	-3062,914	-2655,865	6232,2206	-2368,90246	-15456,097	-17315,9333	-10609,977	-16942,439	694,01151	-2512,3839	1486,3422	-17129,186	50
-14449,5	14597,8	-2075,4582	-2875,227	5620,5385	-2632,42119	-14449,534	-16647,712	-12260,568	-16412,23	-556,96299	-2753,8243	1962,6956	-16529,971	60
-13928,3	13954,2	-849,87617	-2820,436	5457,7901	-2667,37287	-13928,304	-15860,0663	-13415,524	-15751,482	-1817,4967	-2743,9043	1823,1779	-15805,774	70
-13899,8	13905	379,24194	-2458,378	5517,7667	-2403,63189	-13899,803	-15064,0394	-14449,77	-15037,209	-2782,8738	-2431,005	1137,4061	-15050,624	80
-14275,4	14345,6	1417,358	-1720,694	5576,7729	-1815,46485	-14275,409	-14364,4808	-15496,787	-14392,309	-3232,8229	-1768,0794	116,90079	-14378,395	90
-14925,4	15083,1	2175,3914	-645,6154	5480,2214	-950,46353	-14925,351	-13928,3122	-16545,014	-13960,94	-3125,8549	-798,03945	-964,41094	-13944,626	100
-15650,8	15853,3	2525,4828	640,85848	5161,2166	55,49206468	-15650,823	-13911,3116	-17520,646	-13863,724	-2469,9908	348,175271	-1787,0985	-13887,518	110
-16331,4	16529,1	2549,0476	1934,1466	4627,8592	988,5358575	-16331,371	-14409,341	-18347,477	-14140,382	-1560,5118	1461,34123	-2190,9894	-14274,861	120
-16883,4	17042,6	2323,5612	2946,0491	3934,593	1598,55178	-16883,425	-15395,168	-18980,251	-14692,636	-725,0094	2272,30042	-2190,7898	-15043,902	130
-17280,6	17389,3	1940,9298	3498,3165	3151,2514	1674,303732	-17280,594	-16749,7768	-19414,093	-15242,645	-266,62606	2586,3101	-2037,9491	-15996,211	140
-17530,5	17592,5	1475,9693	3440,851	2209,9724	1158,873401	-17530,5	-18247,7507	-19356,24	-15337,266	-317,09595	2299,86221	-2193,2339	-16792,508	150
-17667,6	17695	982,81699	2745,327	1355,3538	308,1082145	-17667,645	-19607,2247	-19111,231	-14504,313	-674,70878	1526,71761	-3163,332	-17055,769	160
-17736,2	17743	489,48258	1521,8651	668,66576	-358,102904	-17736,205	-20555,4025	-19155,442	-12283,564	-847,58548	581,881075	-5452,6409	-16419,483	170
-17761,6	17761,6	4,781E-13	3,448E-12	1,787E-12	-1,6614E-12	-17761,577	-20895,3579	-18721,575	-7078,7285	-2,14E-12	8,9335E-13	-10682,849	-13987,043	180
-17754,5	17761,3	-491,78809	0	-599,50019	3288,195397	-17754,466	-20895,3579	-18607,61	608,80986	3779,9835	1644,0977	-18363,276	-10143,274	190
-17703,4	17731,2	-992,04743	-1532,063	-1182,2832	7910,983327	-17703,413	-20600,2733	-18440,58	2704,3595	8903,0308	3189,46016	-20407,772	-8947,9569	200
-17577,9	17641,3	-1495,0174	-2785,128	-1742,4291	8735,171561	-17577,88	-19690,5576	-18193,285	-2718,182	10230,189	2975,02183	-14859,698	-11204,37	210
-17337,5	17449,4	-1973,2126	-3503,867	-2251,9446	7379,066464	-17337,501	-18328,1226	-17828,836	-7762,0915	9352,2791	1937,59979	-9575,409	-13045,107	220
-16942,4	17107,2	-2368,9025	-3588,381	-2655,8654	6232,220606	-16942,439	-16824,1948	-17315,933	-10609,977	8601,1231	1321,91971	-6332,4619	-13717,086	230
-16412,2	16622	-2632,4212	-3062,914	-2875,2275	5620,538545	-16412,23	-15456,0968	-16647,712	-12260,568	8252,9597	1278,81229	-4151,6621	-13858,332	240
-15751,5	15975,7	-2667,3729	-2075,458	-2820,4357	5457,790078	-15751,482	-14449,5342	-15860,066	-13415,524	8125,1629	1691,16594	-2335,9579	-13932,529	250
-15037,2	15228,1	-2403,6319	-849,8762	-2458,378	5517,766704	-15037,209	-13928,3037	-15064,039	-14449,77	7921,3986	2333,94527	-587,43924	-14189,037	260
-14392,3	14506,4	-1815,4648	379,24194	-1720,694	5576,772887	-14392,309	-13899,8028	-14364,481	-15496,787	7392,2377	2978,00741	1104,4771	-14698,295	270
-13960,9	13993,3	-950,46353	1417,358	-645,61536	5480,221416	-13960,94	-14275,4087	-13928,312	-16545,014	6430,6849	3448,78972	2584,0747	-15410,211	280

-13863,7	13863,8	55,492065	2175,3914	640,85848	5161,216647	-13863,724	-14925,3505	-13911,312	-17520,646	5105,7246	3668,30403	3656,9217	-16222,998	290
-14140,4	14174,9	988,53586	2525,4828	1934,1466	4627,859161	-14140,382	-15650,8229	-14409,341	-18347,477	3639,3233	3576,671	4207,0955	-16999,15	300
-14692,6	14779,3	1598,5518	2549,0476	2946,0491	3934,593033	-14692,636	-16331,3711	-15395,168	-18980,251	2336,0413	3241,82033	4287,6153	-17655,811	310
-15242,6	15334,3	1674,3037	2323,5612	3498,3165	3151,251403	-15242,645	-16883,4254	-16749,777	-19414,093	1476,9477	2737,40629	4171,4477	-18148,759	320
-15337,3	15381	1158,8734	1940,9298	3440,851	2209,972435	-15337,266	-17280,5939	-18247,751	-19356,24	1051,099	2075,45112	4018,9736	-18318,417	330
-14504,3	14507,6	308,10821	1475,9693	2745,327	1355,353842	-14504,313	-17530,4999	-19607,225	-19111,231	1047,2456	1415,6616	4606,9183	-18320,866	340
-12283,6	12288,8	-358,1029	982,81699	1521,8651	668,6657619	-12283,564	-17667,6449	-20555,402	-19155,442	1026,7687	825,741378	6871,878	-18411,544	350
-7078,73	7078,73	-1,661E-12	489,48258	3,448E-12	1,78713E-12	-7078,7285	-17736,2053	-20895,358	-18721,575	3,449E-12	244,741288	11642,847	-18228,89	360
608,81	3344,08	3288,1954	4,781E-13	-1532,063	-599,50019	608,80986	-17761,577	-20600,273	-18607,61	-3887,6956	-299,75009	19216,42	-18184,594	370
2704,36	8360,46	7910,9833	-491,7881	-2785,1279	-1182,28318	2704,3595	-17754,4664	-19690,558	-18440,58	-9093,2665	-837,03564	21144,939	-18097,523	380
-2718,18	9148,32	8735,1716	-992,0474	-3503,8669	-1742,42913	-2718,182	-17703,4129	-18328,123	-18193,285	-10477,601	-1367,2383	15475,103	-17948,349	390
-7762,09	10709,8	7379,0665	-1495,017	-3588,3812	-2251,94458	-7762,0915	-17577,8796	-16824,195	-17828,836	-9631,011	-1873,481	10066,745	-17703,358	400
-10610	12305	6232,2206	-1973,213	-3062,914	-2655,8654	-10609,977	-17337,5006	-15456,097	-17315,933	-8888,086	-2314,539	6705,9562	-17326,717	410
-12260,6	13487,5	5620,5385	-2368,902	-2075,4582	-2875,22746	-12260,568	-16942,439	-14449,534	-16647,712	-8495,766	-2622,065	4387,1443	-16795,076	420
-13415,5	14483,2	5457,7901	-2632,421	-849,87617	-2820,43572	-13415,524	-16412,2298	-13928,304	-15860,066	-8278,2258	-2726,4285	2444,5426	-16136,148	430
-14449,8	15467,4	5517,7667	-2667,373	379,24194	-2458,37802	-14449,77	-15751,4815	-13899,803	-15064,039	-7976,1447	-2562,8754	614,26976	-15407,76	440
-15496,8	16469,7	5576,7729	-2403,632	1417,358	-1720,69402	-15496,787	-15037,2089	-14275,409	-14364,481	-7297,4669	-2062,163	-1132,3057	-14700,845	450
-16545	17429	5480,2214	-1815,465	2175,3914	-645,615365	-16545,014	-14392,3095	-14925,351	-13928,312	-6125,8368	-1230,5401	-2616,702	-14160,311	460
-17520,6	18265	5161,2166	-950,4635	2525,4828	640,8584776	-17520,646	-13960,9396	-15650,823	-13911,312	-4520,3582	-154,80253	-3609,3345	-13936,126	470
-18347,5	18922,1	4627,8592	55,492065	2549,0476	1934,146608	-18347,477	-13863,7244	-16331,371	-14409,341	-2693,7126	994,819336	-3938,1362	-14136,533	480
-18980,3	19383,8	3934,593	988,53586	2323,5612	2946,049051	-18980,251	-14140,3817	-16883,425	-15395,168	-988,54398	1967,29245	-3585,0829	-14767,775	490
-19414,1	19668,2	3151,2514	1598,5518	1940,9298	3498,316458	-19414,093	-14692,6356	-17280,594	-16749,777	347,06506	2548,43412	-2664,3157	-15721,206	500
-19356,2	19482	2209,9724	1674,3037	1475,9693	3440,851013	-19356,24	-15242,6448	-17530,5	-18247,751	1230,8786	2557,57737	-1108,4889	-16745,198	510
-19111,2	19159,2	1355,3538	1158,8734	982,81699	2745,327002	-19111,231	-15337,266	-17667,645	-19607,225	1389,9732	1952,1002	495,99358	-17472,245	520
-19155,4	19167,1	668,66576	308,10821	489,48258	1521,865054	-19155,442	-14504,3129	-17736,205	-20555,402	853,19929	914,986634	1399,9601	-17529,858	530
-18721,6	18721,6	1,787E-12	-358,1029	4,781E-13	3,44813E-12	-18721,575	-12283,5644	-17761,577	-20895,358	1,661E-12	-179,05145	2173,7824	-16589,461	540
-18607,6	18617,3	-599,50019	-1,66E-12	-491,78809	0	-18607,61	-7078,72848	-17754,466	-20895,358	599,50019	-8,307E-13	2287,7478	-13987,043	550
-18440,6	18478,4	-1182,2832	3288,1954	-992,04743	-1532,063	-18440,58	608,809856	-17703,413	-20600,273	-349,77981	878,0662	2159,6937	-9995,7317	560

-18193,3	18276,5	-1742,4291	7910,9833	-1495,0174	-2785,1279	-18193,285	2704,35948	-17577,88	-19690,558	-1042,6988	2562,92771	1497,2727	-8493,0991	570
-17828,8	17970,5	-2251,9446	8735,1716	-1973,2126	-3503,86689	-17828,836	-2718,18205	-17337,501	-18328,123	-1251,9223	2615,65233	499,28629	-10523,152	580
-17315,9	17518,4	-2655,8654	7379,0665	-2368,9025	-3588,38118	-17315,933	-7762,09155	-16942,439	-16824,195	-932,51578	1895,34264	-491,73843	-12293,143	590
-16647,7	16894,2	-2875,2275	6232,2206	-2632,4212	-3062,91397	-16647,712	-10609,977	-16412,23	-15456,097	-187,68651	1584,65332	-1191,6153	-13033,037	600
-15860,1	16108,9	-2820,4357	5620,5385	-2667,3729	-2075,4582	-15860,066	-12260,5677	-15751,482	-14449,534	744,97752	1772,54017	-1410,5321	-13355,051	610
-15064	15263,3	-2458,378	5457,7901	-2403,6319	-849,876168	-15064,039	-13415,5236	-15037,209	-13928,304	1608,5019	2303,95696	-1135,7357	-13671,914	620
-14364,5	14467,2	-1720,694	5517,7667	-1815,4648	379,2419384	-14364,481	-14449,7696	-14392,309	-13899,803	2099,936	2948,50432	-464,67803	-14174,786	630
-13928,3	13943,3	-645,61536	5576,7729	-950,46353	1417,358018	-13928,312	-15496,7865	-13960,94	-14275,409	2062,9734	3497,06545	347,09646	-14886,098	640
-13911,3	13926,1	640,85848	5480,2214	55,492065	2175,391407	-13911,312	-16545,0142	-13863,724	-14925,351	1534,5329	3827,80641	1014,0389	-15735,182	650
-14409,3	14538,6	1934,1466	5161,2166	988,53586	2525,482835	-14409,341	-17520,6461	-14140,382	-15650,823	591,33623	3843,34974	1241,4819	-16585,735	660
-15395,2	15674,5	2946,0491	4627,8592	1598,5518	2549,047628	-15395,168	-18347,4772	-14692,636	-16331,371	-397,00142	3588,45339	936,20313	-17339,424	670
-16749,8	17111,2	3498,3165	3934,593	1674,3037	2323,561184	-16749,777	-18980,2509	-15242,645	-16883,425	-1174,7553	3129,07711	133,6486	-17931,838	680
-18247,8	18569,3	3440,851	3151,2514	1158,8734	1940,929795	-18247,751	-19414,0925	-15337,266	-17280,594	-1499,9212	2546,0906	-967,15683	-18347,343	690
-19607,2	19798,5	2745,327	2209,9724	308,10821	1475,969348	-19607,225	-19356,2396	-14504,313	-17530,5	-1269,3577	1842,97089	-2076,7248	-18443,37	700
-20555,4	20611,7	1521,8651	1355,3538	-358,1029	982,8169938	-20555,402	-19111,2311	-12283,564	-17667,645	-539,04806	1169,08542	-2887,7576	-18389,438	710
-20895,4	20895,4	3,448E-12	668,66576	-1,661E-12	489,4825752	-20895,358	-19155,4424	-7078,7285	-17736,205	489,48258	579,074169	-3159,1525	-18445,824	720

Таблица Г5 – Силы действующие на шатунную шейку

$K_{Rш}, Н$	$P_k, Н$	$P_k, Н$	$\psi, рад$	$\psi, град$	$R_{ш.ш.}, Н$	$\varphi_{кв}, град$
-5261,9742	-12298,1	12298,11883	0	0	12298	0
-5261,9742	-12003	12003,03428	0,1269532	7,2738812	12100	10
-5261,9742	-11093,3	11093,31859	0,2459794	14,093581	11438	20
-5261,9742	-9730,88	9730,883575	0,3456237	19,802779	10342	30
-5261,9742	-8226,96	8226,955826	0,4112966	23,56556	8975,5	40
-5261,9742	-6858,86	6858,857778	0,4199923	24,063784	7511,7	50
-5261,9742	-5852,3	5852,295166	0,3408025	19,526544	6209,4	60
-5261,9742	-5331,06	5331,064639	0,1580893	9,0578493	5398,4	70
-5261,9742	-5302,56	5302,563753	-0,0713989	-4,0908563	5316,1	80
-5261,9742	-5678,17	5678,169671	-0,2446166	-14,015496	5852,4	90
-5261,9742	-6328,11	6328,111493	-0,3311106	-18,971242	6691,6	100
-5261,9742	-7053,58	7053,583915	-0,3438216	-19,699526	7492,1	110
-5261,9742	-7734,13	7734,132112	-0,3183725	-18,241403	8143,4	120
-5261,9742	-8286,19	8286,1864	-0,2733924	-15,664231	8605,8	130
-5261,9742	-8683,35	8683,354899	-0,2199082	-12,599812	8897,6	140
-5261,9742	-8933,26	8933,26092	-0,1637425	-9,3817554	9054,4	150
-5261,9742	-9070,41	9070,405846	-0,1079332	-6,1841145	9123,5	160
-5261,9742	-9138,97	9138,966319	-0,0535088	-3,0658297	9152,1	170
-5261,9742	-9164,34	9164,337978	-5,217E-17	-2,989E-15	9164,3	180
-5261,9742	-9157,23	9157,227397	0,0536534	3,0741116	9170,4	190
-5261,9742	-9106,17	9106,17393	0,1085143	6,2174138	9160,1	200
-5261,9742	-8980,64	8980,640558	0,1649584	9,4514214	9104,2	210
-5261,9742	-8740,26	8740,261533	0,2220389	12,721893	8960,2	220
-5261,9742	-8345,2	8345,199973	0,2765883	15,847339	8674,9	230
-5261,9742	-7814,99	7814,990784	0,3249055	18,615713	8246,4	240
-5261,9742	-7154,24	7154,242514	0,3568738	20,447362	7635,3	250
-5261,9742	-6439,97	6439,969845	0,3572237	20,467411	6873,9	260
-5261,9742	-5795,07	5795,070456	0,303593	17,394597	6072,8	270
-5261,9742	-5363,7	5363,700549	0,1753823	10,048668	5447,3	280
-5261,9742	-5266,49	5266,485398	-0,0105364	-0,6036936	5266,8	290
-5261,9742	-5543,14	5543,14268	-0,1764796	-10,111538	5630,6	300
-5261,9742	-6095,4	6095,396585	-0,2564797	-14,695202	6301,5	310
-5261,9742	-6645,41	6645,405761	-0,2468122	-14,141299	6853,1	320
-5261,9742	-6740,03	6740,026972	-0,1702741	-9,7559858	6838,9	330
-5261,9742	-5907,07	5907,073865	-0,052112	-2,985796	5915,1	340
-5261,9742	-3686,33	3686,325405	0,0968397	5,5485082	3703,7	350
-5261,9742	1518,511	-1518,51054	-1,094E-15	-6,269E-14	1518,5	360
-5261,9742	9206,049	-9206,04887	0,3430548	19,655595	9775,7	370
-5261,9742	11301,6	-11301,5985	0,6107179	34,991559	13795	380
-5261,9742	5879,057	-5879,05697	0,9783993	56,058153	10529	390
-5261,9742	835,1475	-835,14747	1,458098	83,542859	7426,2	400
-5261,9742	-2012,74	2012,738025	-1,2584135	-72,101785	6549,2	410

-5261,9742	-3663,33	3663,328726	-0,993174	-56,904681	6709	420
-5261,9742	-4818,28	4818,284618	-0,8475505	-48,561065	7280,3	430
-5261,9742	-5852,53	5852,530605	-0,7559647	-43,313587	8043,5	440
-5261,9742	-6899,55	6899,547522	-0,67977	-38,947949	8871,5	450
-5261,9742	-7947,78	7947,775227	-0,6036638	-34,587389	9654	460
-5261,9742	-8923,41	8923,407093	-0,5243788	-30,044694	10309	470
-5261,9742	-9750,24	9750,238187	-0,4431551	-25,390916	10793	480
-5261,9742	-10383	10383,01184	-0,362225	-20,753965	11104	490
-5261,9742	-10816,9	10816,8535	-0,2834819	-16,242316	11267	500
-5261,9742	-10759	10759,00059	-0,202589	-11,607495	10984	510
-5261,9742	-10514	10513,99213	-0,1282025	-7,3454629	10601	520
-5261,9742	-10558,2	10558,20337	-0,0632469	-3,6237821	10579	530
-5261,9742	-10124,3	10124,33646	-1,765E-16	-1,011E-14	10124	540
-5261,9742	-10010,4	10010,37104	0,0598165	3,427231	10028	550
-5261,9742	-9843,34	9843,340539	0,1195373	6,8489838	9914,1	560
-5261,9742	-9596,05	9596,045858	0,1796208	10,291515	9753	570
-5261,9742	-9231,6	9231,597285	0,2392659	13,708926	9502,3	580
-5261,9742	-8718,69	8718,694251	0,2956875	16,941645	9114,2	590
-5261,9742	-8050,47	8050,47303	0,3430304	19,654193	8548,5	600
-5261,9742	-7262,83	7262,82725	0,3704131	21,22311	7791,2	610
-5261,9742	-6466,8	6466,800368	0,3632813	20,814485	6918,3	620
-5261,9742	-5767,24	5767,241784	0,2899483	16,612814	6018,5	630
-5261,9742	-5331,07	5331,07321	0,1205173	6,9051332	5370	640
-5261,9742	-5314,07	5314,072602	-0,1200169	-6,876462	5352,6	650
-5261,9742	-5812,1	5812,102019	-0,3212517	-18,406369	6125,5	660
-5261,9742	-6797,93	6797,928978	-0,4089425	-23,430678	7408,8	670
-5261,9742	-8152,54	8152,537801	-0,4053447	-23,224542	8871,4	680
-5261,9742	-9650,51	9650,511728	-0,3424945	-19,623488	10246	690
-5261,9742	-11010	11009,98571	-0,2443657	-14,001123	11347	700
-5261,9742	-11958,2	11958,16345	-0,1265853	-7,2528032	12055	710
-5261,9742	-12298,1	12298,11883	-2,804E-16	-1,606E-14	12298	720

Таблица Г6 – силы, действующие на 3-ю коренную шейку.

Рк.ш i	Значения Рк.ш i, Н, для лучей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рк.ш 0	18241,6	18241,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18241,6
Рк.ш 10	18189,2	18189,2	18189	0	0	0	0	0	0	0	0	18189,2
Рк.ш 20	18104,7	18104,7	18105	0	0	0	0	0	0	0	0	18104,7
Рк.ш 30	17958,7	17958,7	17959	0	0	0	0	0	0	0	0	17958,7
Рк.ш 40	17709,6	17709,6	17710	0	0	0	0	0	0	0	0	17709,6
Рк.ш 50	17312,5	17312,5	17312	0	0	0	0	0	0	0	0	17312,5
Рк.ш 60	16757,8	16757,8	16758	0	0	0	0	0	0	0	0	16757,8
Рк.ш 70	16042,2	16042,2	16042	0	0	0	0	0	0	0	0	16042,2
Рк.ш 80	15245,7	15245,7	0	0	0	0	0	0	0	0	15246	15245,7
Рк.ш 90	14486,7	14486,7	0	0	0	0	0	0	0	0	14487	14486,7
Рк.ш 100	13967,4	13967,4	0	0	0	0	0	0	0	0	13967	13967,4

Rk.III 110	13891,9	13891,9	0	0	0	0	0	0	0	0	13892	13891,9
Rk.III 120	14349,5	14349,5	0	0	0	0	0	0	0	0	14349	14349,5
Rk.III 130	15214,5	15214,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15215	15214,5
Rk.III 140	16203,9	16203,9	0	0	0	0	0	0	0	0	16204	16203,9
Rk.III 150	16949,3	16949,3	0	0	0	0	0	0	0	0	16949	16949,3
Rk.III 160	17124	17124	0	0	0	0	0	0	0	0	17124	17124
Rk.III 170	16429,8	16429,8	0	0	0	0	0	0	0	0	16430	16429,8
Rk.III 180	13987	13987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13987
Rk.III 190	10275,7	10275,7	10276	0	0	0	0	0	0	0	0	10275,7
Rk.III 200	9499,4	9499,4	9499,4	0	0	0	0	0	0	0	0	9499,4
Rk.III 210	11592,6	11592,6	11593	0	0	0	0	0	0	0	0	11592,6
Rk.III 220	13188,2	13188,2	13188	0	0	0	0	0	0	0	0	13188,2
Rk.III 230	13780,6	13780,6	13781	0	0	0	0	0	0	0	0	13780,6
Rk.III 240	13917,2	13917,2	13917	0	0	0	0	0	0	0	0	13917,2
Rk.III 250	14034,8	14034,8	14035	0	0	0	0	0	0	0	0	14034,8
Rk.III 260	14379,7	14379,7	14380	0	0	0	0	0	0	0	0	14379,7
Rk.III 270	14996,9	14996,9	14997	0	0	0	0	0	0	0	0	14996,9
Rk.III 280	15791,4	15791,4	15791	0	0	0	0	0	0	0	0	15791,4
Rk.III 290	16632,6	16632,6	0	0	0	0	0	0	0	0	16633	16632,6
Rk.III 300	17371,3	17371,3	0	0	0	0	0	0	0	0	17371	17371,3
Rk.III 310	17951	17951	0	0	0	0	0	0	0	0	17951	17951
Rk.III 320	18354	18354	0	0	0	0	0	0	0	0	18354	18354
Rk.III 330	18435,6	18435,6	0	0	0	0	0	0	0	0	18436	18435,6
Rk.III 340	18375,5	18375,5	0	0	0	0	0	0	0	0	18375	18375,5
Rk.III 350	18430,1	18430,1	18430	0	0	0	0	0	0	0	0	18430,1
Rk.III 360	18230,5	18230,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18230,5
Rk.III 370	18187,1	18187,1	18187	0	0	0	0	0	0	0	0	18187,1
Rk.III 380	18116,9	18116,9	18117	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 390	18000,3	18000,3	18000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 400	0	17802,2	17802	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17481	17480,6
Rk.III 420	16998,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16999	16998,5
Rk.III 430	16364,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16365	16364,9
Rk.III 440	15619,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15619	15619,5
Rk.III 450	14844,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14845	14844,8
Rk.III 460	14213,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14214	14213,7
Rk.III 470	13937	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13937	13937
Rk.III 480	14171,5	14171,5	0	0	0	0	0	0	0	0	14171	14171,5
Rk.III 490	14898,2	14898,2	0	0	0	0	0	0	0	0	14898	14898,2
Rk.III 500	15926,4	15926,4	0	0	0	0	0	0	0	0	15926	15926,4
Rk.III 510	16939,4	16939,4	0	0	0	0	0	0	0	0	16939	16939,4
Rk.III 520	17581	17581	0	0	0	0	0	0	0	0	17581	17581
Rk.III 530	17553,7	17553,7	0	0	0	0	0	0	0	0	17554	17553,7
Rk.III 540	16590,4	16590,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16590,4
Rk.III 550	13987	13987	13987	0	0	0	0	0	0	0	0	13987
Rk.III 560	10034,2	10034,2	10034	0	0	0	0	0	0	0	0	10034,2
Rk.III 570	8871,38	8871,38	8871,4	0	0	0	0	0	0	0	0	8871,38
Rk.III 580	10843,4	10843,4	10843	0	0	0	0	0	0	0	0	10843,4
Rk.III 590	12438,4	12438,4	12438	0	0	0	0	0	0	0	0	12438,4
Rk.III 600	13129	13129	13129	0	0	0	0	0	0	0	0	13129
Rk.III 610	13472,2	13472,2	13472	0	0	0	0	0	0	0	0	13472,2
Rk.III 620	13864,7	13864,7	13865	0	0	0	0	0	0	0	0	13864,7
Rk.III 630	14478,2	14478,2	14478	0	0	0	0	0	0	0	0	14478,2
Rk.III 640	15291,3	15291,3	15291	0	0	0	0	0	0	0	0	15291,3
Rk.III 650	16194,1	16194,1	0	0	0	0	0	0	0	0	16194	16194,1
Rk.III 660	17025,2	17025,2	0	0	0	0	0	0	0	0	17025	17025,2
Rk.III 670	17706,9	17706,9	0	0	0	0	0	0	0	0	17707	17706,9
Rk.III 680	18202,8	18202,8	0	0	0	0	0	0	0	0	18203	18202,8
Rk.III 690	18523,2	18523,2	0	0	0	0	0	0	0	0	18523	18523,2
Rk.III 700	18535,2	18535,2	0	0	0	0	0	0	0	0	18535	18535,2
Rk.III 710	18426,6	18426,6	0	0	0	0	0	0	0	0	18427	18426,6
ΣRk.III i	18454,9	18454,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18454,9

Таблица Г7 - Суммарные силы действующие на 1-ю коренную шейку

Рк.ш i	Значения Рк.ш i, Н, для лучей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рк.ш 0	10447,679	10447,679	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10447,679
Рк.ш 10	10328,583	10328,583	10328,583	0	0	0	0	0	0	0	0	10328,583
Рк.ш 20	9943,2766	9943,2766	9943,2766	0	0	0	0	0	0	0	0	9943,2766
Рк.ш 30	9330,0209	9330,0209	9330,0209	0	0	0	0	0	0	0	0	9330,0209
Рк.ш 40	8601,3082	8601,3082	8601,3082	0	0	0	0	0	0	0	0	8601,3082
Рк.ш 50	7878,3306	7878,3306	7878,3306	0	0	0	0	0	0	0	0	7878,3306
Рк.ш 60	7298,9137	7298,9137	7298,9137	0	0	0	0	0	0	0	0	7298,9137
Рк.ш 70	6977,1042	6977,1042	6977,1042	0	0	0	0	0	0	0	0	6977,1042
Рк.ш 80	6952,4877	6952,4877	0	0	0	0	0	0	0	0	6952,4877	6952,4877
Рк.ш 90	7172,7993	7172,7993	0	0	0	0	0	0	0	0	7172,7993	7172,7993
Рк.ш 100	7541,5253	7541,5253	0	0	0	0	0	0	0	0	7541,5253	7541,5253
Рк.ш 110	7926,6374	7926,6374	0	0	0	0	0	0	0	0	7926,6374	7926,6374
Рк.ш 120	8264,5527	8264,5527	0	0	0	0	0	0	0	0	8264,5527	8264,5527
Рк.ш 130	8521,282	8521,282	0	0	0	0	0	0	0	0	8521,282	8521,282
Рк.ш 140	8694,6267	8694,6267	0	0	0	0	0	0	0	0	8694,6267	8694,6267
Рк.ш 150	8796,2622	8796,2622	0	0	0	0	0	0	0	0	8796,2622	8796,2622
Рк.ш 160	8847,4799	8847,4799	0	0	0	0	0	0	0	0	8847,4799	8847,4799
Рк.ш 170	8871,4792	8871,4792	0	0	0	0	0	0	0	0	8871,4792	8871,4792
Рк.ш 180	8880,7885	8880,7885	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8880,7885
Рк.ш 190	8880,6381	8880,6381	8880,6381	0	0	0	0	0	0	0	0	8880,6381
Рк.ш 200	8865,5934	8865,5934	8865,5934	0	0	0	0	0	0	0	0	8865,5934
Рк.ш 210	8820,6707	8820,6707	8820,6707	0	0	0	0	0	0	0	0	8820,6707
Рк.ш 220	8724,7134	8724,7134	8724,7134	0	0	0	0	0	0	0	0	8724,7134
Рк.ш 230	8553,6241	8553,6241	8553,6241	0	0	0	0	0	0	0	0	8553,6241
Рк.ш 240	8311,0007	8311,0007	8311,0007	0	0	0	0	0	0	0	0	8311,0007
Рк.ш 250	7987,8666	7987,8666	7987,8666	0	0	0	0	0	0	0	0	7987,8666
Рк.ш 260	7614,0511	7614,0511	7614,0511	0	0	0	0	0	0	0	0	7614,0511
Рк.ш 270	7253,1801	7253,1801	7253,1801	0	0	0	0	0	0	0	0	7253,1801
Рк.ш 280	6996,628	6996,628	6996,628	0	0	0	0	0	0	0	0	6996,628
Рк.ш 290	6931,9177	6931,9177	0	0	0	0	0	0	0	0	6931,9177	6931,9177
Рк.ш 300	7087,4466	7087,4466	0	0	0	0	0	0	0	0	7087,4466	7087,4466
Рк.ш 310	7389,6703	7389,6703	0	0	0	0	0	0	0	0	7389,6703	7389,6703
Рк.ш 320	7667,1623	7667,1623	0	0	0	0	0	0	0	0	7667,1623	7667,1623
Рк.ш 330	7690,4928	7690,4928	0	0	0	0	0	0	0	0	7690,4928	7690,4928
Рк.ш 340	7253,7925	7253,7925	0	0	0	0	0	0	0	0	7253,7925	7253,7925
Рк.ш 350	6144,3916	6144,3916	6144,3916	0	0	0	0	0	0	0	0	6144,3916
Рк.ш 360	3539,3642	3539,3642	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3539,3642
Рк.ш 370	1672,0406	1672,0406	1672,0406	0	0	0	0	0	0	0	0	1672,0406
Рк.ш 380	4180,2278	4180,2278	4180,2278	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 390	4574,1594	4574,1594	4574,1594	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 400	0	5354,9203	5354,9203	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6152,483	6152,483
Рк.ш 420	6743,7374	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6743,7374	6743,7374
Рк.ш 430	7241,6115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7241,6115	7241,6115
Рк.ш 440	7733,7182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7733,7182	7733,7182
Рк.ш 450	8234,8465	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8234,8465	8234,8465
Рк.ш 460	8714,504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8714,504	8714,504
Рк.ш 470	9132,5133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9132,5133	9132,5133
Рк.ш 480	9461,065	9461,065	0	0	0	0	0	0	0	0	9461,065	9461,065
Рк.ш 490	9691,8902	9691,8902	0	0	0	0	0	0	0	0	9691,8902	9691,8902
Рк.ш 500	9834,0909	9834,0909	0	0	0	0	0	0	0	0	9834,0909	9834,0909
Рк.ш 510	9740,9957	9740,9957	0	0	0	0	0	0	0	0	9740,9957	9740,9957
Рк.ш 520	9579,6156	9579,6156	0	0	0	0	0	0	0	0	9579,6156	9579,6156
Рк.ш 530	9583,5548	9583,5548	0	0	0	0	0	0	0	0	9583,5548	9583,5548
Рк.ш 540	9360,7877	9360,7877	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9360,7877
Рк.ш 550	9308,6325	9308,6325	9308,6325	0	0	0	0	0	0	0	0	9308,6325
Рк.ш 560	9239,2203	9239,2203	9239,2203	0	0	0	0	0	0	0	0	9239,2203
Рк.ш 570	9138,2667	9138,2667	9138,2667	0	0	0	0	0	0	0	0	9138,2667
Рк.ш 580	8985,2471	8985,2471	8985,2471	0	0	0	0	0	0	0	0	8985,2471
Рк.ш 590	8759,2118	8759,2118	8759,2118	0	0	0	0	0	0	0	0	8759,2118
Рк.ш 600	8447,089	8447,089	8447,089	0	0	0	0	0	0	0	0	8447,089
Рк.ш 610	8054,4485	8054,4485	8054,4485	0	0	0	0	0	0	0	0	8054,4485
Рк.ш 620	7631,6595	7631,6595	7631,6595	0	0	0	0	0	0	0	0	7631,6595

РК.ІІІ 630	7233,5865	7233,5865	7233,5865	0	0	0	0	0	0	0	0	7233,5865
РК.ІІІ 640	6971,6336	6971,6336	6971,6336	0	0	0	0	0	0	0	0	6971,6336
РК.ІІІ 650	6963,0326	6963,0326	0	0	0	0	0	0	0	0	6963,0326	6963,0326
РК.ІІІ 660	7269,2853	7269,2853	0	0	0	0	0	0	0	0	7269,2853	7269,2853
РК.ІІІ 670	7837,2572	7837,2572	0	0	0	0	0	0	0	0	7837,2572	7837,2572
РК.ІІІ 680	8555,6011	8555,6011	0	0	0	0	0	0	0	0	8555,6011	8555,6011
РК.ІІІ 690	9284,6629	9284,6629	0	0	0	0	0	0	0	0	9284,6629	9284,6629
РК.ІІІ 700	9899,2434	9899,2434	0	0	0	0	0	0	0	0	9899,2434	9899,2434
РК.ІІІ 710	10305,831	10305,831	0	0	0	0	0	0	0	0	10305,831	10305,831
ΣРК.ІІІ і	10447,679	10447,679	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10447,679

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Д.1 Расчет элементов системы смазки

Д.1.1 Расчет масляного насоса

Общее количество тепла, выделяемого в течении 1 с, определяется по данным теплового расчета $Q_0=215,88$ кДж/с. [1]

Количество тепла, отводимого маслом от двигателя:

$$Q_m=0,021 \cdot Q_0=0,021 \cdot 215,88=4,53 \text{ кДж/с.} \quad (\text{Д.1})$$

Теплоемкость масла $c_m=2,094$ кДж/(кг·К).

Плотность масла $\rho_m=900$ кг/м³.

Температура нагрева масла в двигателе $\Delta T_m=10$ К.

Циркуляционный расход масла

$$V_u = Q_m / (\rho_m c_m \Delta T_m) = 4,53 / (900 \cdot 2,094 \cdot 10) = 0,000238 \text{ м}^3 / \text{с.} \quad (\text{Д.2})$$

Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе

$$V' = 2V_u = 2 \cdot 0,000238 = 0,000478 \text{ м}^3 / \text{с.} \quad (\text{Д.3})$$

Объемный коэффициент подачи $\eta_n=0,7$.

Расчетная производительность насоса

$$V_p = V' / \eta_n = 0,000478 / 0,7 = 0,000682 \text{ м}^3 / \text{с.} \quad (\text{Д.4})$$

Модуль зацепления зуба $m=4,5$ мм.

Высота зуба $h=2m=2 \cdot 4,5=9$ мм.

Число зубьев шестерен $z=7$.

Диаметр начальной окружности шестерни

$$D_0 = zm = 7 \cdot 4,5 = 31,5 \text{ мм} = 0,0315 \text{ м.} \quad (\text{Д.5})$$

Диаметр внешней окружности шестерни

$$D = m(z+2) = 4,5(7+2) = 40,5 \text{ мм} = 0,0405 \text{ м.} \quad (\text{Д.6})$$

Окружная частота на внешнем диаметре шестерни $u_n = 6,36 \text{ м/с}$.

Частота вращения шестерни (насоса)

$$n_n = u_n 60 / (\pi D) = 6,36 \cdot 60 / (3,14 \cdot 0,0405) = 3000 \text{ об/мин.} \quad (\text{Д.7})$$

$$b = \frac{60 \cdot V_p}{2\pi m^2 z n_n} = \frac{60 \cdot 0,000682}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,5^2 \cdot 7 \cdot 3000} = 0,015 \text{ м.} \quad (\text{Д.8})$$

Длина зуба шестерни

Рабочее давление масла в системе $p = 40 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Механический к.п.д. масляного насоса $\eta_{м.н} = 0,87$.

Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_n = V_p \cdot p / (\eta_{м.н} \cdot 10^3) = 0,000682 \cdot 40 \cdot 10^4 / (0,87 \cdot 10^3) = 0,31 \text{ кВт.} \quad (\text{Д.9})$$

Д.1.2 Расчет масляного радиатора

Количество тепла, отводимого маслом от двигателя $Q_m = 4530 \text{ кДж/с}$.

Коэффициент теплоотдачи от масла к стенке радиатора $\alpha_1 = 250 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Толщина стенки радиатора $\delta = 0,2 \text{ мм} = 0,0002 \text{ м}$.

Коэффициент теплопроводности стенки $\lambda_{\text{теп}} = 100 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Коэффициент теплоотдачи от стенки радиатора к воде $\alpha_2 = 3200 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Коэффициент теплопередачи от масла к воде

$$K_m = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda_{мен} + 1/\alpha_2} = \frac{1}{1/250 + 0,0002/100 + 1/3200} = 232 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (\text{Д.10})$$

Средняя температура масла в радиаторе $T_{м.ср}=358 \text{ К}$.

Средняя температура воды в радиаторе $T_{вод.ср}=348 \text{ К}$.

Поверхность охлаждения масляного радиатора, омываемая водой:

$$F_m = \frac{Q_m}{K_m(T_{м.ср} - T_{вод.ср})} = \frac{4530}{232(358 - 348)} = 2,01 \text{ м}^2. \quad (\text{Д.11})$$

Д.2 Расчет элементов системы охлаждения

Д.2.1 Расчет водяного насоса

Циркуляционный расход воды в системе охлаждения

$$G_{жс} = Q_{в}/(c_{жс}\rho_{жс}\Delta T_{жс}) = 69730/(4187 \cdot 1000 \cdot 9,6) = 0,00173 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (\text{Д.12})$$

где $\Delta T_{жс}=9,6 \text{ К}$ – температурный перепад воды при принудительной циркуляции.

Расчетная производительность насоса

$$G_{жс.р} = G_{жс}/\eta = 0,00173/0,82 = 0,00212 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (\text{Д.13})$$

где $\eta=0,82$ – коэффициент подачи насоса.

Радиус входного отверстия крыльчатки

$$r_1 = \sqrt{G_{жс.р}/(\pi c_1) + r_0^2} = \sqrt{0,00212/(3,14 \cdot 1,8) + 0,01} = 0,0193 \text{ м}, \quad (\text{Д.14})$$

где $c_1=1,8$ – скорость воды на входе в насос, м/с; $r_0=0,01$ – радиус ступицы крыльчатки, м.

Окружная скорость потока воды на выходе из колеса

$$u_2 = \sqrt{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2} \sqrt{p_{\text{жс}} / (\rho_{\text{жс}} \eta_h)} = \sqrt{1 + \operatorname{tg} 10^\circ \operatorname{ctg} 45^\circ} \sqrt{120000 / (1000 \cdot 0,65)} = 14,7 \text{ м/с}, \quad (\text{Д.15})$$

где угол $\alpha_1=10^\circ$, а угол $\beta_2=45^\circ$; $\eta_h=0,65$ – гидравлический к.п.д. насоса.

Радиус крыльчатки колеса на выходе

$$r_2 = 30u_2 / (\pi m_{\text{в.н}}) = 30 \cdot 14,7 / (3,14 \cdot 4600) = 0,0305 \text{ м}. \quad (\text{Д.16})$$

Окружная скорость входа потока

$$u_1 = u_2 r_1 / r_2 = 14,7 \cdot 0,0193 / 0,0305 = 9,32 \text{ м/с}. \quad (\text{Д.17})$$

Угол между скоростями c_1 и u_1 принимается $\alpha_1=90^\circ$, при этом

$$\operatorname{tg} \beta_1 = c_1 / u_1 = 1,8 / 9,32 = 0,1956, \text{ откуда } \beta_1 = 10^\circ 15'. \quad (\text{Д.18})$$

Ширина лопатки на входе

$$b_1 = \frac{G_{\text{жс.р}}}{(2\pi r_1 - z\delta_1 / \sin \beta_1) \cdot 1,8} = \frac{0,00212}{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0193 - 4 \cdot 0,003 / \sin 10^\circ 15') \cdot 1,8} = 0,0596 \text{ м}, \quad (\text{Д.19})$$

где $z=4$ – число лопаток на крыльчатке насоса; $\delta_1=0,003$ – толщина лопаток у входа, м.

Радиальная скорость потока на входе из колеса

$$c_r = \frac{p_{\text{жс}} \operatorname{tg} \alpha_2}{\rho_{\text{жс}} \eta_h u_2} = \frac{120000 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ}{1000 \cdot 0,65 \cdot 14,7} = 2,2 \text{ м/с}. \quad (\text{Д.20})$$

Ширина лопатки на выходе

$$b_2 = \frac{G_{\text{жс.р}}}{(2\pi r_2 - z\delta_2 / \sin \beta_2) c_r} = \frac{0,00212}{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0305 - 4 \cdot 0,003 / \sin 45^\circ) \cdot 2,2} = 0,0037 \text{ м} \quad (\text{Д.21})$$

где $\delta_2=0,003$ – толщина лопаток на выходе, м.

Мощность, потребляемая водяным насосом:

$$N_{в.н} = G_{ж.п} p_{ж} / (1000 \eta_m) = 0,00212 \cdot 120000 / (1000 \cdot 0,82) = 0,34 \text{ кВт}, \quad (\text{Д.22})$$

где $\eta_m=0,82$ – механический к.п.д. водяного насоса.

Д.2.2 Расчет поверхности охлаждения водяного радиатора

Количество воздуха, проходящего через радиатор:

$$G'_{возд} = Q_{возд} / (c_{возд} \Delta T_{возд}) = 69730 / (1000 \cdot 24) = 2,9 \text{ кг/с}, \quad (\text{Д.23})$$

где $\Delta T_{возд}=24$ – температурный перепад воздуха в решетке радиатора, К.

Массовый расход воды, проходящей через радиатор:

$$G'_{ж} = G_{ж.п} \rho_{ж} = 0,00173 \cdot 1000 = 1,73 \text{ кг/с}. \quad (\text{Д.24})$$

Средняя температура охлаждающего воздуха, проходящего через радиатор:

$$T_{ср.возд} = \frac{T_{возд.вх} + (T_{возд.вх} + \Delta T_{возд})}{2} = \frac{313 + (313 + 24)}{2} = 325 \text{ К}. \quad (\text{Д.25})$$

где $T_{возд.вх}=313$ – расчетная температура воздуха перед радиатором, К.

Средняя температура воды в радиаторе

$$T_{ср.вод} = \frac{T_{вод.вх} + (T_{вод.вх} - \Delta T_{в})}{2} = 358,2 \text{ К}, \quad (\text{Д.26})$$

где $T_{вод.вх}=363$ – температура воды перед радиатором, К; $\Delta T_{в}=9,6$ – температурный перепад воды в радиаторе, К.

Поверхность охлаждения радиатора

$$F = \frac{Q_{\text{вод}}}{K(T_{\text{ср.вод}} - T_{\text{ср.возд}})} = \frac{69730}{160(358,2 - 325)} = 11,51 \text{ м}^2, \quad (\text{Д.27})$$

где $K=160$ – коэффициент теплопередачи для радиаторов легковых автомобилей, Вт/(м²·К).

Д.2.3 Расчет вентилятора

Плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе

$$\rho_{\text{возд}} = p_0 \cdot 10^6 / (R_g T_{\text{ср.возд}}) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 325) = 1,07 \text{ кг/м}^3. \quad (\text{Д.30})$$

Производительность вентилятора

$$G_{\text{возд}} = G'_{\text{возд}} / \rho_{\text{возд}} = 2,9 / 1,07 = 2,71 \text{ м}^3/\text{с} \quad (\text{Д.31})$$

Фронтальная поверхность радиатора

$$F_{\text{фр.рад}} = G_{\text{возд}} / \omega_{\text{возд}} = 2,71 / 20 = 0,135 \text{ м}^2, \quad (\text{Д.32})$$

где $\omega_{\text{возд}}=20$ – скорость воздуха перед фронтом радиатора без учета скорости движения автомобиля, м/с.

Диаметр вентилятора

$$D_{\text{вент}} = 2 \sqrt{F_{\text{фр.рад}} / \pi} = 2 \sqrt{0,135 / 3,14} = 0,415 \text{ м}. \quad (\text{Д.33})$$

Окружная скорость вентилятора

$$u = \psi_{\text{л}} \sqrt{\Delta p_{\text{тр}} / \rho_{\text{возд}}} = 3,41 \sqrt{800 / 1,07} = 93,4 \text{ м/с}, \quad (\text{Д.34})$$

где $\psi_{\text{л}}=3,41$ – безразмерный коэффициент для плоских лопастей.

Частота вращения вентилятора

$$n_{\text{вент}} = 60u / (\pi D_{\text{вент}}) = 60 \cdot 93,4 / (3,14 \cdot 0,415) = 4600 \text{ об/мин.} \quad (\text{Д.35})$$

Таким образом, выполнено условие $n_{\text{вент}} = n_{\text{в.н}} = 4600$ об/мин (вентилятор и водяной насос имеют общий привод).

Мощность, затрачиваемая на привод осевого вентилятора,

$$N_{\text{вент}} = G_{\text{возд}} \Delta p_{\text{тр}} / (1000 \eta_v) = 2,71 \cdot 800 / (1000 \cdot 0,38) = 5,7 \text{ кВт,} \quad (\text{Д.36})$$

где $\eta_v = 0,38$ – к.п.д. клепанного вентилятора.

Д.3 Расчет механизма газораспределения

Д.3.1 Основные размеры проходных сечений в горловине и в клапане

Площадь проходного сечения при максимальном подъеме

$$F_{\text{кл}} = v_{\text{н.ср}} F_n / \omega_{\text{вн}} = 17,9 \cdot 54,5 / 140 = 5,85 \text{ см}^2 \quad (\text{Д.37})$$

диаметр горловины клапана

$$d_{\text{гор}} = \sqrt{4F_{\text{гор}} / \pi} = \sqrt{4 \cdot 11,026 / 3,14} = 3,75 \text{ см,} \quad (\text{Д.38})$$

где $F_{\text{гор}} = 1,12 F_{\text{кл}} = 1,12 \cdot 5,85 = 7,026 \text{ см}^2$.

Из условия возможного размещения клапанов в головке при верхнем расположении диаметр горловины может достигать $d_{\text{гор}} = 0,54D = 0,54 \cdot 82 = 34,23 \text{ мм}$.

Максимальная высота подъема клапана при угле фаски клапана $\alpha = 45^\circ$.

$$h_{\text{кл макс}} = \sqrt{4,93 d_{\text{гор}}^2 + 4,44 F_{\text{кл}} / 2,22} - d_{\text{гор}} = \sqrt{4,93 \cdot 34,23^2 + 4,44 \cdot 9,85 / 2,22} - 34,23 = 10,6 \text{ мм} \quad (\text{Д.39})$$

Д.3.2 Основные размеры впускного кулачка

Радиус начальной окружности $r_0 = (1,3 \dots 2,0)h_{кл\ max} = 1,9 \cdot 10,6 = 20,1$ мм; принимаем $r_0 = 20$ мм; максимальный подъем толкателя $h_{т\ max} = h_{кл\ max} = 10,6$ мм, в данном механизме роль толкателя выполняет гидравлический толкатель, находящийся непосредственно в контакте с кулачком.

Д.3.3 Профилирование безударного кулачка с плоским толкателем

Температурный зазор между клапаном и толкателем принимаем $\Delta s = 0,2$ мм, а затем определяем радиус окружности тыльной части кулачка

Протяженность участка сбег

$$\Phi_0 = \frac{\pi^2 \Delta s}{2 \cdot 180 \omega_{ток}} = \frac{3,14 \cdot 0,2}{2 \cdot 180 \cdot 0,02} = 0,27416 \text{ рад} = 15^\circ 42', \quad (\text{Д.40})$$

где $\omega_{ток} = 0,02$ мм/° – скорость толкателя в конце сбег, принята в пределах, рекомендованных для безударных кулачков.

Протяженность других участков ускорения толкателя:

$$\Phi_1 = 24^\circ; \Phi_2 = 5^\circ 7'; \Phi_3 = 42^\circ 23'.$$

В ДВС кулачки с приводом клапанного механизма через толкатель, штангу и коромысло должны профилироваться таким образом, чтобы закон движения толкателя обеспечивал коррекцию колебаний привода и необходимые для этого параметры кинематики клапана. Наибольшее распространение в практике двигателестроения для решения этой задачи получил метод профилирования кулачка, называемый методом "полидайн".

В этом случае перемещение толкателя задается полиномом

$$h_T = h_{T\max} \left[1 + C_2 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^2 + C_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^p + C_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^q + C_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^r + C_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^s \right]. \quad (\text{Д.41})$$

В соответствии с этим определяют его скорость и ускорение:

$$V_T = h_{T\max} \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right) \left[2C_2 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right) + pC_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{p-1} + qC_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{q-1} + rC_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{r-1} + sC_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{s-1} \right] \cdot 10^{-3}$$

$$j_T = h_{T\max} \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right) \left[2C_2 + p(p-1)C_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{p-2} + q(q-1)C_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{q-2} + r(r-1)C_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{r-2} + s(s-1)C_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{s-2} \right] \cdot 10^{-3}$$

Угол φ_k в интервале $\varphi_{p0} \leq \varphi_k \leq 0$ отсчитывается от вершины кулачка.

Постоянные коэффициенты C_2 , C_p , C_r , C_s определяются следующим образом:

$$C_2 = -\frac{pqrs}{(p-2)(q-2)(r-2)(s-2)}; \quad C_2 = \frac{2qrs}{(p-2)(q-p)(r-p)(s-p)}; \quad (\text{Д.42})$$

$$C_2 = -\frac{2prs}{(q-2)(q-p)(r-q)(s-q)}; \quad C_2 = \frac{2pqs}{(r-2)(r-p)(r-q)(s-r)}; \quad (\text{Д.43})$$

$$C_2 = -\frac{2pqr}{(s-2)(s-p)(s-q)(s-r)}. \quad (\text{Д.44})$$

Параметры p , q , r , s обычно выбирают по закону возрастающей арифметической прогрессии с разностью $p-2$.

Радиус кривизны профиля кулачка при плоском толкателе.

$$\rho = r_k - h_T + j_T \quad (\text{Д.45})$$

Показатель смазочного числа, характеризует устойчивость к износу, не должен превышать значения 0,15.

$$\rho_1 = 1/\rho \quad (\text{Д.46})$$

Данные расчета представлены в таблице Д.1.

Таблица Д.1 - Профилирование безударного кулачка с плоским толкателем

φ^0 г.п.р.в.	hт, мм	Vт, м/с	jт, м/с ²	ρ	ρ	φ^0 п.р.в.	hт, мм	Vт, м/с	jт, м/с ²	ρ	ρ
-72	0,0000	0,0000	0,0000	19,8000	0,0505	-2	10,5415	0,0039	-0,5658	8,6927	0,1150
-70	0,0003	0,0002	0,1178	19,9175	0,0502	0	10,5547	0,0000	-0,5658	8,6795	0,1152
-66	0,0410	0,0081	1,1026	20,8616	0,0479	4	10,5019	-0,0077	-0,5658	8,7322	0,1145
-62	0,2799	0,0284	1,7249	21,2450	0,0471	8	10,3438	-0,0154	-0,5658	8,8904	0,1125
-60	0,5140	0,0402	1,7071	20,9931	0,0476	10	10,2251	-0,0193	-0,5658	9,0090	0,1110
-58	0,8270	0,0513	1,5285	20,5016	0,0488	12	10,0801	-0,0232	-0,5658	9,1541	0,1092
-56	1,2108	0,0608	1,2569	19,8461	0,0504	14	9,9087	-0,0270	-0,5658	9,3255	0,1072
-54	1,6531	0,0684	0,9499	19,0968	0,0524	16	9,7110	-0,0309	-0,5657	9,5233	0,1050
-52	2,1397	0,0738	0,6482	18,3085	0,0546	20	9,2365	-0,0386	-0,5651	9,9984	0,1000
-50	2,6565	0,0773	0,3759	17,5194	0,0571	22	8,9597	-0,0425	-0,5643	10,2760	0,0973
-48	3,1911	0,0791	0,1444	16,7533	0,0597	24	8,6566	-0,0463	-0,5627	10,5806	0,0945
-46	3,7325	0,0794	-0,0437	16,0238	0,0624	26	8,3274	-0,0502	-0,5600	10,9127	0,0916
-44	4,2721	0,0786	-0,1910	15,3369	0,0652	28	7,9720	-0,0540	-0,5552	11,2728	0,0887
-42	4,8029	0,0768	-0,3030	14,6941	0,0681	30	7,5908	-0,0577	-0,5474	11,6618	0,0857
-40	5,3197	0,0745	-0,3857	14,0946	0,0709	32	7,1841	-0,0614	-0,5350	12,0809	0,0828
-38	5,8186	0,0716	-0,4453	13,5361	0,0739	34	6,7525	-0,0650	-0,5158	12,5317	0,0798
-36	6,2969	0,0684	-0,4872	13,0160	0,0768	36	6,2969	-0,0684	-0,4872	13,0160	0,0768
-34	6,7525	0,0650	-0,5158	12,5317	0,0798	38	5,8186	-0,0716	-0,4453	13,5361	0,0739
-32	7,1841	0,0614	-0,5350	12,0809	0,0828	40	5,3197	-0,0745	-0,3857	14,0946	0,0709
-30	7,5908	0,0577	-0,5474	11,6618	0,0857	42	4,8029	-0,0768	-0,3030	14,6941	0,0681
-28	7,9720	0,0540	-0,5552	11,2728	0,0887	44	4,2721	-0,0786	-0,1910	15,3369	0,0652
-26	8,3274	0,0502	-0,5600	10,9127	0,0916	46	3,7325	-0,0794	-0,0437	16,0238	0,0624
-24	8,6566	0,0463	-0,5627	10,5806	0,0945	48	3,1911	-0,0791	0,1444	16,7533	0,0597
-22	8,9597	0,0425	-0,5643	10,2760	0,0973	50	2,6565	-0,0773	0,3759	17,5194	0,0571
-20	9,2365	0,0386	-0,5651	9,9984	0,1000	52	2,1397	-0,0738	0,6482	18,3085	0,0546
-16	9,7110	0,0309	-0,5657	9,5233	0,1050	56	1,2108	-0,0608	1,2569	19,8461	0,0504
-14	9,9087	0,0270	-0,5658	9,3255	0,1072	58	0,8270	-0,0513	1,5285	20,5016	0,0488
-12	10,0801	0,0232	-0,5658	9,1541	0,1092	60	0,5140	-0,0402	1,7071	20,9931	0,0476
-10	10,2251	0,0193	-0,5658	9,0090	0,1110	62	0,2799	-0,0284	1,7249	21,2450	0,0471
-8	10,3438	0,0154	-0,5658	8,8904	0,1125	66	0,0410	-0,0081	1,1026	20,8616	0,0479
-6	10,4360	0,0116	-0,5658	8,7981	0,1137	70	0,0003	-0,0002	0,1178	19,9175	0,0502
-4	10,5019	0,0077	-0,5658	8,7322	0,1145	72	0,0000	0,0000	0,0000	19,8000	0,0505

Д.3.4 Время сечения клапана

Диаграммы подъема толкателя, построенные в масштабе по оси абсцисс $M_{\text{фр}}=1^0/\text{мм}$, по оси ординат $M_{\text{лт}}=0,1 \text{ мм/мм}$, являются диаграммами подъема клапана если изменить масштаб по оси ординат на

$$M_{h_{\text{кл}}} = h_{\text{кл max}} M_{hm} / h_{m \text{ max}} = 0,1 \text{ мм/мм}. \quad (\text{Д.47})$$

Время – сечения клапана

$$\int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt = M_t M_F F_{abcd} \quad (\text{Д.48})$$

где $M_t = M_{\text{фр}} / (6n_p) = 1 / (6 \cdot 2800) = 5,952 \cdot 10^{-5} \text{ с/мм}$;

$M_F = M_{h_{\text{кл}}} \cdot 2,22 d_{\text{зоп}} = 0,1 \cdot 2,22 \cdot 34,23 = 7,60 \text{ мм}^2/\text{мм}$;

$$\int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt = 5,952 \cdot 7,60 \cdot 5129 = 2,32 \text{ мм}^2 \cdot \text{с},$$

где $F_{abcd} = 5129 \text{ мм}^2$ – площадь под кривой подъема толкателя за такт впуска без учета площади, соответствующей выбору зазора 0,2 мм.

Средняя площадь проходного сечения клапана.

$$F_{\text{кл ср}} = \int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt / (t_2 - t_1) = M_F F_{abcd} / l_{ad}, \quad (\text{Д.49})$$

где $l_{ad} = 90 \text{ мм}$ – продолжительность такта впуска по диаграммам:

$$F_{\text{кл.ср}} = 7,6 \cdot 5129 / 90 = 4,33 \text{ см}^2.$$

Средняя скорость потока смеси в седле клапана:

$$\omega_{\text{вн}} = v_{n.\text{ср}} \cdot F_n / F_{\text{кл.ср}} = 17,952 \cdot 53,5 / 4,33 = 220 \text{ м/с}; \quad (\text{Д.50})$$

Полное время-сечение клапана

$$\int_{t_{nn}}^{t_x} F_{кл} dt = M_t M_F F_{en} = 5,952 \cdot 7,6 \cdot 5648 = 2,7 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}. \quad (\text{Д.51})$$

где $t_{пр}$ – момент начала открытия впускного клапана; t_x и F_x – текущие значения времени и площади под кривой подъема толкателя.

Д.3.5 Расчет пружины клапана

Максимальная сила упругости пружин

$$P_{прmax} = K \cdot M_{кл} \cdot r_k \cdot \omega_p^2 / l m = 309 \text{ Н} \quad (\text{Д.52})$$

где $K=1,4$ – коэффициент запаса; $M_{кл} = m_{кл} + (m_{пр}/3) + m_{тол} = 130 \text{ г}$ – суммарная масса клапанного механизма.

Минимальная сила упругости пружины

$$P_{прmin} = K \cdot M_{кл} \cdot \omega_p^2 / l m = 156 \text{ Н} \quad (\text{Д.53})$$

Жесткость пружины

$$c = K \cdot M_{кл} \cdot \omega_p^2 = 15,6 \text{ кН/м}. \quad (\text{Д.54})$$

Деформация пружины:

- предварительная

$$f_{min} = 1,14 r_0 - r_0 = 2,8 \text{ мм} \quad (\text{Д.55})$$

- полная

$$f_{max} = f_{min} + h_{клmax} = 13,35 \text{ мм}. \quad (\text{Д.56})$$

Размеры пружины (приняты по конструктивным соображениям):

- диаметр проволоки $\delta_{пр}=3,6$ мм
- диаметр пружины $D_{пр}=25,7$ мм.

Число рабочих витков пружины

$$i_p = \frac{G_2 \cdot \delta_{пр} \cdot f_{max} \cdot 10^{-2}}{8 \cdot P_{пр max} \cdot 10^{-6} \cdot D_{пр}^3} = 4,8 \quad (Д.57)$$

где $G_2=8,9$ – модуль упругости второго рода, МН/см².

Полное число витков

$$i_n = i_p + 2 = 4,8 + 2 = 6,8 \quad (Д.58)$$

Шаг витка

$$t = \delta_{пр} + (f_{max}/i_p) + \Delta_{min} = 6,71 \text{ мм.} \quad (Д.59)$$

где $\Delta_{min}=0,3$ наименьший зазор между витками пружины при полностью закрытом клапане, мм.

Длина пружины при полностью открытом клапане

$$L_{min} = i_n \cdot \delta_{пр} + i_p \cdot \Delta_{min} = 25,73 \text{ мм.} \quad (Д.60)$$

Длина пружины при полностью закрытом клапане

$$L_0 = L_{min} + h_{кл max} = 25,73 + 10,6 = 36,29 \text{ мм.} \quad (Д.61)$$

Длина свободной пружины

$$L_{св} = L_{min} + f_{max} = 25,73 + 13,35 = 39,09 \text{ мм.} \quad (Д.62)$$

Максимальные и минимальные напряжения в пружине

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &:= k'_B \cdot \frac{8 \cdot P_{\text{прmax}} \cdot D_{\text{пр}}}{\pi \cdot \delta_{\text{пр}}^3} & \tau_{\max} &= 536 \text{ МПа} \\ \tau_{\min} &:= k'_B \cdot \frac{8 \cdot P_{\text{прmin}} \cdot D_{\text{пр}}}{\pi \cdot \delta_{\text{пр}}^3} & \tau_{\min} &= 271 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (\text{Д.63})$$

где $k_B=1,235$.

Средние напряжения и амплитуды напряжений

$$\begin{aligned}\tau_m &:= \frac{|\tau_{\max} + \tau_{\min}|}{2} & \tau_m &= 403.3 \text{ МПа} \\ \tau_a &:= \frac{|\tau_{\max} - \tau_{\min}|}{2} & \tau_a &= 132.6 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (\text{Д.64})$$

Так как концентрация напряжений в витках пружины учитывается коэффициентом k' , а $k'/(ε_M ε_π) \approx 1$, то

$$\tau_{\text{ак}} := \tau_a \cdot A \quad \tau_{\text{ак}} = 132.6 \text{ МПа} \quad (\text{Д.65})$$

Запас прочности пружины

$$n_\tau := \frac{\tau_1}{\tau_{\text{ак}} + \alpha_\tau \cdot \tau_m} \quad n_\tau = 1.64 \quad (\text{Д.66})$$

где $\alpha_\tau=0,2$ определяется по табл. 43 [1].

Расчет пружин на резонанс:

$$\begin{aligned}n_c &:= 2.17 \cdot 10^7 \cdot \frac{\delta_{\text{пр}}}{(i_p \cdot D_{\text{пр}}^2)} & n_c &= 24890 \\ \frac{n_c}{n_p} &= 8.89\end{aligned}\quad (\text{Д.67})$$

Д.3.6 Расчет распределительного вала

Максимальная сила от выпускного клапана, действующая на кулачок:

$$P_{\text{тmax}} := \left[P_{\text{прmax}} + \frac{\pi \cdot d_B^2 \cdot |p_\Gamma - p_0|}{4} \right] + M_T \cdot \omega_K^2 \cdot r_K \cdot 10^{-5} \quad P_{\text{тmax}} = 2846 \text{ Н} \quad (\text{Д.68})$$

$$M_T := \left(m_{\text{кл}} + \frac{m_{\text{пр}}}{3} \right) + m_{\text{тол}} \quad M_T = 130 \text{ г} \quad (\text{Д.69})$$

Стрела прогиба распределительного вала

$$y := 0.8 \cdot \frac{P_{T.\text{max}} \cdot a^2 \cdot b^2}{E \cdot l \cdot \left(d_p^4 - \delta_p^4 \right)} \quad y = 0.00155 \text{ мм} \quad (\text{Д.70})$$

где $E=2,2 \cdot 10^5$ Мпа – модуль упругости стали.

Напряжение смятия

$$\sigma_{\text{см}} := 0.418 \cdot \sqrt{P_{T.\text{max}} \cdot \frac{E}{b_k \cdot r_0}} \quad \sigma_{\text{см}} = 410 \text{ МПа} \quad (\text{Д.71})$$

где $b_k=14,8$ мм – ширина кулачка.

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
				<u>Документация</u>			
A4			16.БР.ЭМСУ.009.000.ПЗ	Пояснительная записка	108		
A1			16.БР.ЭМСУ.009.000.СБ	Сборочный чертеж	2		
				<u>Сборочные единицы</u>			
	5		16.БР.ЭМСУ.009.00.005	Насос водяной	1		
	9		16.БР.ЭМСУ.009.00.009	Форсунка	4		
	18		16.БР.ЭМСУ.009.00.018	Масляный насос	1		
	11		16.БР.ЭМСУ.009.00.011	Фильтр масляный	1		
	6		16.БР.ЭМСУ.009.00.006	Поршень в сборе	4		
				<u>Детали</u>			
	3		16.БР.ЭМСУ.009.00.003	Шкив привода			
				генератора	1		
	8		16.БР.ЭМСУ.009.00.008	Коленчатый вал	1		
	4		16.БР.ЭМСУ.009.00.004	Маховик	1		
	7		16.БР.ЭМСУ.009.00.007	Шатун	4		
	1		16.БР.ЭМСУ.009.00.001	Блок цилиндров	1		
	10		16.БР.ЭМСУ.009.00.010	Поддон	1		
	15		16.БР.ЭМСУ.009.00.015	Головка блока	1		
	17		16.БР.ЭМСУ.009.00.017	Кожух ГРМ	1		
	14		16.БР.ЭМСУ.009.00.014	Коллектор впускной	1		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	16.БР.ЭМСУ.009.000.СБ		
Разраб.	Порфирьев В.В.				Двигатель на базе ВАЗ-2112 с модернизированной камерой сгорания ТГУ ЭМСБ-1201		
Проверил	Смоленский В.В.						
Н. контр.	Егоров А.Г.						
Утвердил	Павлов Д.А.						
					Литера	Лист	Листов
						1	2

[illegible]