

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 Дизельный двигатель для легкового автомобиля с вихревой камерой сгорания

Студент(ка)	<u>Фрунтов Артем Игоревич</u> И.О. Фамилия	<u>(личная подпись)</u>
Руководитель	<u>В.В. Смоленский</u> (И.О. Фамилия)	<u>(личная подпись)</u>
Консультант	<u>М.И. Фесина</u> (И.О. Фамилия)	<u>(личная подпись)</u>
Нормоконтроль	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	<u>(личная подпись)</u>

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 Фрунтов Артем Игоревич

1. Тема работы Дизельный двигатель для легкового автомобиля с вихревой 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 $V_L = 1.52$ л; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $i = 4$ – число
цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 25$ – степень сжатия., частота вращения
 $n_{\min} = 700$ мин⁻¹; $n = 1500$ мин⁻¹; $n_M = 3500$ мин⁻¹; $n_N = 5200$ мин⁻¹; $n_{\max} = 6000$ мин⁻¹.

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

Введение;

Обзор применяемых технологий организации процесса сгорания в дизельном
двигателе

Тепловой расчет двигателя;

Тепловой баланс

Расчет кинематики двигателя;

Расчет динамики двигателя;

Описание конструкции спроектированного двигателя

Безопасность и экологичность объекта проектирования

Расчет основных деталей двигателя и 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)

А.И. Фрунтов

(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 Фрунтов Артем Игоревич
 по теме Дизельный двигатель для легкового автомобиля с вихревой камерой сгорания

№ этапов 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 _____ А.И. Фрунтов
 (подпись) (И.О. Фамилия)
 Руководитель _____ В.В. Смоленский
 (подпись) (И.О. Фамилия)
 « ____ » _____ 2016 г.

АННОТАЦИЯ

Выполненная бакалаврская работа состоит из восьми частей. В первой части работы представлен обзор способов смесеобразования в дизельном двигателе, показаны преимущества и недостатки каждого из способов, во второй части проведён тепловой расчет двигателя, в третьей части представлен кинематический расчет, в четвертой динамический расчет, в пятой прочностной расчет основных деталей двигателя, в, в седьмой проведен расчет электромагнитной форсунки, в восьмой проведен анализ безопасности и экологичности бакалаврской работы. В приложении приведен расчет систем двигателя

Пояснительная записка к бакалаврской работе состоит из 60 стр.

Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1. Продольный и поперечный разрез двигателя, чертеж форсунки, пять листов диаграмм.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Обзор применяемых технологий организации процесса сгорания в дизельном двигателе	9
2 Тепловой расчет двигателя.....	18
2.1 Топливо.....	18
2.2 Параметры рабочего тела.....	18
2.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы.....	20
2.4 Расчет процесса впуска.....	21
2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси	22
2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания.....	23
2.7 Расчет процессов расширения и выпуска.....	26
2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла.....	28
2.9 Расчет эффективных показатели двигателя.....	29
2.10 Тепловой баланс двигателя.....	31
3 Кинематический расчет.....	33
4 Динамический расчет.....	34
4.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма.....	34
4.2 Удельные и полные силы инерции.....	35
4.3 Удельные суммарные силы.....	35
4.4 Крутящие моменты	36
4.5 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала.....	37
4.6 Силы, действующие на колено вала	38
5 Спец. Часть.....	40
5.1 Расчет топливоподачи форсунки	40
5.2 Описание проектируемого двигателя	48
6 Безопасность и экологичность проекта.....	50
6.1 Нормы по ограничению токсичности отработавших газов	

автотранспортных ДВС	50
6.2 Нормы по ограничению шума автотранспортных ДВС.....	52
6.3 Выводы по разделу безопасность и экологичность	57
Заключение	58
Список использованных источников.....	59
Приложение А - Результаты теплового расчета.....	61
Приложение Б - Результаты кинематического расчета.....	72
Приложение В - Результаты динамического расчета.....	74
Приложение Г - Результаты расчетов сил действующих в КШМ.....	80
Приложение Д – Расчет основных систем двигателя	95
Приложение Е – Спецификация сборочного чертежа.....	119

ВВЕДЕНИЕ

Смесеобразование в дизельных двигателях протекает за очень короткий промежуток времени, примерно в десять раз меньший, чем в бензиновых. Поэтому получение однородной смеси в камере сгорания таких двигателей представляет значительно более трудную задачу, чем в бензиновых. Для обеспечения своевременного и полного сгорания топлива необходимо вводить значительный избыток воздуха ($\alpha = 1,25 - 1,75$) и применять ряд других мер, обеспечивающих хорошее перемешивание воздуха и топлива.

Чтобы уменьшить коэффициент избытка воздуха, α , следовательно, повысить среднее эффективное давление и литровую мощность, необходимо улучшить качество смесеобразования за счет: – согласования формы камеры сгорания с формой топливного факела, выбрасываемого из форсунки при подаче топлива; – создания в камере сгорания интенсивных воздушных потоков вихрей, которые способствуют перемешиванию топлива с воздухом; – осуществления тонкого и однородного распыливания топлива.

Выполнение первых двух условий обеспечивается применением камер сгорания специальных форм. Тонкость и однородность распыливания топлива улучшается с увеличением давления впрыска, уменьшением диаметра соплового отверстия форсунки и вязкости топлива.

По способу смесеобразования дизельные двигатели бывают с неразделенными и разделенными камерами сгорания.

Неразделенные камеры представляют собой единый объем, ограниченный днищем поршня и поверхностями головки и стенок цилиндра. В этот объем через форсунку впрыскивается топливо в виде одной или нескольких струй, и в нем происходят процессы смесеобразования и сгорания. Для улучшения смесеобразования форму камеры сгорания стремятся согласовать с формой струи топлива, подаваемого форсункой, а воздушный поток заставляют вращаться вокруг вертикальной оси цилиндра и образовывать дополнительно кольцевой вихрь.

1 Обзор применяемых технологий организации процесса сгорания в дизельном двигателе

Камеры сгорания дизельных двигателей

Для хорошего смесеобразования одновременно необходимо правильно сочетать распыливание топлива и движение воздуха в камере сгорания. Это позволит улучшить распределение топлива в камере и осуществить процесс сгорания при наименьшем количестве воздуха.

Форма камеры сгорания должна:

- соответствовать направлению и дальнобойности струи впрыскиваемого топлива;
- обеспечивать организованное движение потока воздуха, интенсивное перемешивание топлива и воздуха, полное сгорание топлива в короткий период при наименьшем количестве воздуха;
- плавное нарастание давления в цилиндре, умеренное максимальное давление при сгорании и минимальные тепловые потери;
- создавать условия для облегченного запуска двигателя.

По конструкции дизельные двигатели разделяются на две основные категории: с неразделенными и разделенными камерами сгорания. Неразделенные камеры имеют только одно отделение, в котором происходит и смесеобразование, и сгорание топлива. Разделенные камеры разделены на две части: основную и дополнительную, соединены между собой горловиной. При этом топливо впрыскивается в дополнительную камеру.

По способу различают объемное, пленочное и комбинированное смесеобразование. При объемном смесеобразовании топливо распыливается в объеме камеры сгорания и лишь небольшая часть его попадает в пристеночный слой. Объемное смесеобразование осуществляется в неразделенных камерах сгорания.

Пленочное смесеобразование применяется в ряде конструкций камер сгорания, когда почти все топливо направляется в пристеночную зону. В

центральную часть камеры сгорания попадает приблизительно 5–10% впрыскиваемого форсункой топлива. Остальная часть топлива распределяется на стенках камеры сгорания в виде тонкой пленки (10–15 мкм). Первоначально воспламеняется часть топлива, попавшая в центральную часть камеры сгорания, где обычно отсутствует движение заряда и устанавливается наиболее высокая температура. В дальнейшем, по мере испарения и смешения с воздухом, горение распространяется на основную часть топлива, направленную в пристеночный слой. При пленочном смесеобразовании требуется менее тонкое распыливание топлива. Применяют форсунки с одним сопловым отверстием. Давление впрыска топлива не превышает 17–20 МПа. Пленочное смесеобразование по сравнению с объемным обеспечивает лучшие экономические показатели двигателя, упрощает конструкцию топливной аппаратуры. Основным недостатком являются низкие пусковые свойства двигателя при низких температурах в связи с малым количеством топлива, участвующего в первоначальном сгорании. Этот недостаток устраняют путем подогрева воздуха на впуске или за счет увеличения количества топлива, участвующего в образовании начального очага сгорания.

Комбинированное смесеобразование получается при меньших диаметрах камеры сгорания, когда часть топлива достигает ее стенки и концентрируется в пристеночном слое. Другая часть капель топлива располагается во внутреннем объеме заряда. На поверхности камеры оседает примерно 50% топлива. При впуске в камере не создается вращательного движения заряда. Заряд приводится в движение при вытеснении его из надпоршневого пространства в камеру сгорания, и создается вихрь. Скорость движения заряда достигает 40–45 м/с. Отличительной особенностью от пленочного смесеобразования является встречное движение струй топлива и заряда, вытесняемого из надпоршневого пространства, что способствует увеличению количества топлива, взвешенного в объеме камеры сгорания, и сближает процесс с объемным смесеобразованием. Форсунки применяют с распылителями, имеющими 3–5 сопловых отверстий.

Камеры сгорания с непосредственным впрыском. В дизельных двигателях с такими камерами топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания форсункой с рабочим давлением 15–30 МПа, имеющей многодырчатые распылители (5–7 отверстий) с малым диаметром сопловых каналов (0.15–0.32 мм). Столь высокие давления впрыска применяются ввиду того, что в данном случае распыливание топлива и перемешивание его с воздухом достигается главным образом за счет кинетической энергии, сообщаемой топливу при впрыске. Для равномерного распределения топлива в камере форсунки таких двигателей часто выполняют с несколькими отверстиями.

На рисунке 1.1 показаны камеры сгорания двигателей с непосредственным впрыском, обеспечивающие объемное смесеобразование.

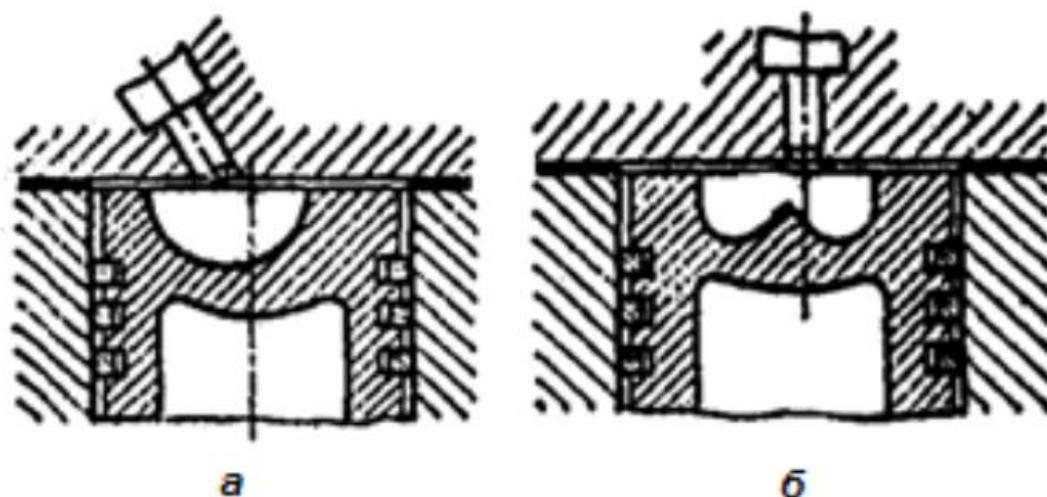


Рисунок 1.1 - Неразделенные камеры сгорания для объемного смесеобразования: а – полусферическая, б – тороидальная

Для улучшения смесеобразования здесь предусмотрено вихревое движение воздуха вокруг оси цилиндра за счет завихрителей, установленных во впускном коллекторе (рисунок 1.2).

Камера сгорания с непосредственным впрыском при пленочном смесеобразовании располагается соосно с цилиндром. Смещенная форсунка

направляет струю топлива под острым углом на стенку камеры сгорания, имеющей сферическую форму (рисунок 1.3а).

Заряд приводится в интенсивное вращательное движение (тангенциальная скорость движения заряда достигает 50–60 м/с), и топливные капли распространяются на стенке камеры сгорания.

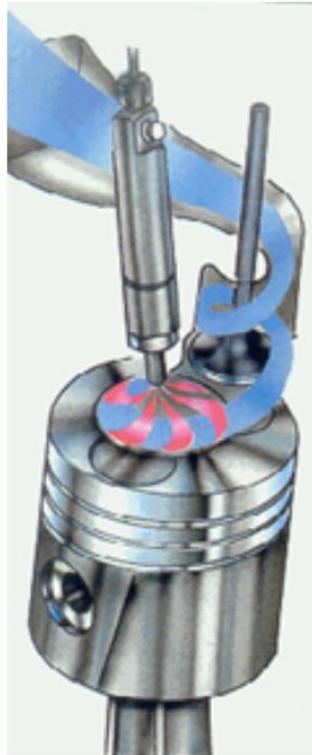


Рисунок 1.2 - Использование завихрителей

Кроме указанной выше, при пленочном смесеобразовании камеру сгорания выполняют тарелкообразной (рисунок 1.3б). Струя топлива из форсунки, ввиду малого расстояния, достигает дна камеры и оседает в виде пленки.

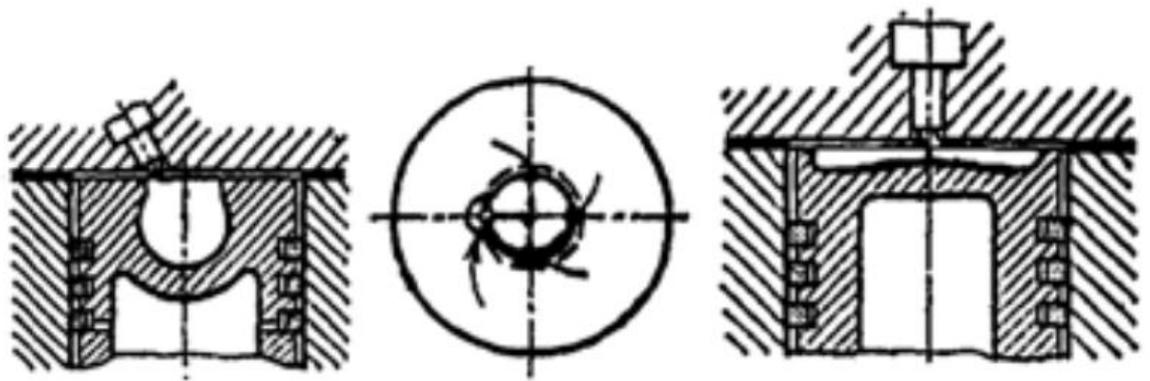


Рисунок 1.3 – Неразделенные камеры сгорания для пленочного смесеобразования:

а – типа дизелей МАН, б – типа “Гессельман”

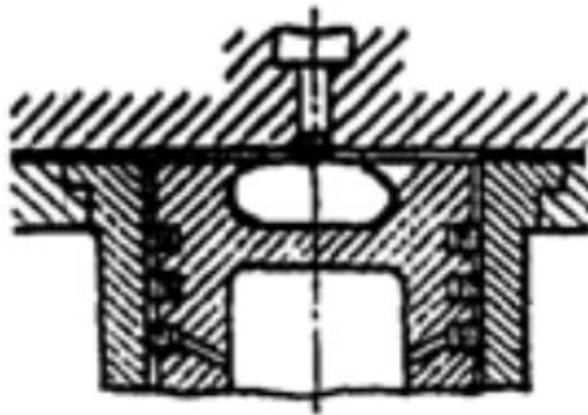


Рисунок 1.4 - Неразделенные камеры сгорания для комбинированного смесеобразования

Камеры сгорания ЦНИДИ (Центральный научно-исследовательский дизельный институт) относят к комбинированным камерам с объемно-пленочным смесеобразованием.

Камера сгорания выполняется в поршне, имеет форму усеченного конуса с основанием меньшего диаметра у входной горловины, диаметр которой составляет 0.35–0.37 диаметра цилиндра, и со скругленными стенками у нижнего основания (рисунок 1.4).

Струи топлива попадают на стенку под острым углом и совершают сравнительно малый путь. На конической поверхности камеры оседает примерно 50% топлива.

Основное достоинство камер сгорания с непосредственным впрыском по сравнению с камерами других разновидностей заключается в следующем.

1. Простая и компактная форма камеры сгорания обеспечивает меньшие тепловые потери в процессе сгорания и более высокий эффективный КПД.

2. Менее интенсивное охлаждение воздуха в период сжатия (компактность камеры и сравнительно небольшое вихревое движение воздуха) создает условия для облегчения пуска. Время для пуска двигателя с непосредственным впрыском в 1.8–3.6 раза меньше, чем для пуска двигателей с другими камерами сгорания.

3. Конструкция головки цилиндра упрощается.

Недостатки камер сгорания с непосредственным впрыском состоят в следующем.

1. Смесеобразование происходит при больших давлениях впрыска (до 30 МПа). Это повышает требования к топливоподающей аппаратуре.

2. Процесс сгорания характеризуется значительными давлениями. Скорость нарастания давления при этом высокая. В связи с увеличением нагрузки на кривошипно-шатунный механизм приходится увеличивать запас прочности узлов двигателя.

3. Малые сопловые отверстия распылителя форсунки (0.1–0.25 мм) требуют точного исполнения и при недостаточно очищенном топливе могут засоряться. Поэтому топливо должно очищаться с большой тщательностью. Незначительные отклонения в качестве топлива от нормы ухудшают работу двигателя.

Предкамеры. Предкамерные дизельные двигатели имеют камеру сгорания, разделенную на две части (рисунок 1.5). Основная камера размещается непосредственно над поршнем. Ее объем составляет 0.75–0.60 от всего объема камеры сгорания.

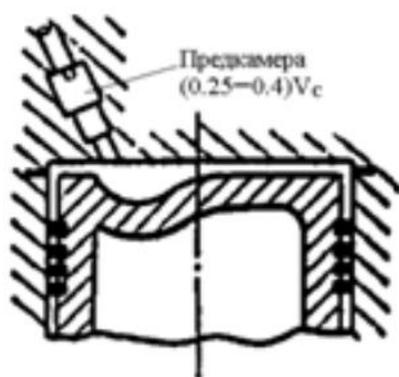


Рисунок 1.5 - Предкамера смесеобразования

Предкамера выполняется в головке цилиндра. Она занимает по объему 0.25–0.40 всего объема камеры. Предкамера соединяется с основной камерой одним или несколькими каналами. Смесеобразование у предкамерного двигателя протекает в такой последовательности. При сжатии часть сжатого воздуха поступает из цилиндра в предкамеру. В конце такта сжатия в предкамеру через форсунку впрыскивается топливо под давлением 8–12.5 МПа. Распыленное топливо, попадая в среду сжатого воздуха предкамеры, самовоспламеняется.

При этом сгорает от 20 до 30% впрыскиваемого топлива, что соответствует количеству кислорода воздуха, содержащегося в предкамере.

При сгорании части топлива температура и давление в предкамере повышаются. Горящие газы и несгоревшее топливо устремляются из предкамеры в основную камеру. Здесь сгорание топлива продолжается и заканчивается в процессе расширения.

В предкамерных двигателях интенсивное смесеобразование достигается главным образом за счет энергии топлива, частично сгоревшего в предкамере. Эта энергия вызывает перепад давления между предкамерой и основной камерой (обычно 1.5 МПа), что создает условия для интенсивного смесеобразования и более тонкого распыления топлива, предварительно распыленного в предкамере.

Смесеобразованию способствует образование вихревых движений воздуха при перемещении его в процессе сжатия из основной камеры в предкамеру. Форсунка таких двигателей обычно выполняется с одним отверстием.

Вихревые камеры. Двигатели с вихревыми камерами, как и предкамерные двигатели, имеют камеру, разделенную на две части (рис. 2.71). Основная камера расположена непосредственно над поршнем и имеет сравнительно небольшой объем. Вихревая камера выполнена в головке цилиндра, имеет обтекаемую форму (шара или сплющенного шара) и охлаждается водой.

Ее объем составляет от 50 до 75% всего объема камеры сгорания. Такой объем позволяет вовлечь в вихревое движение большое количество воздуха. Вихревая камера сообщается с основной посредством горловины. В период сжатия воздух вытесняется из основной камеры в вихревую. Взаиморасположение камер способствует смесеобразованию. Топливо впрыскивается форсункой в вихревую камеру. Здесь струя топлива увлекается воздушным потоком, интенсивно перемешивается с ним, самовоспламеняется и частично сгорает.



Рисунок 1.6 – Вихревая камера

В период сгорания в вихревой камере резко повышается давление. При этом продукты сгорания и несгоревшая часть топлива устремляются в основную камеру. Здесь процесс сгорания продолжается, заканчиваясь при расширении.

В двигателях с вихревыми камерами для смесеобразования используются главным образом вихревые потоки воздуха, создаваемые в процессе сжатия в вихревой камере. Перепад давлений между камерами сравнительно небольшой (обычно 0.6 МПа). Форсунки у таких двигателей применяются обычно с одним отверстием. Давление начала подачи составляет 8–10 МПа.

В дизельных двигателях с разделенными камерами сгорания достигается бездымная работа при малых значениях коэффициента избытка воздуха. Значительно снижаются требования к качеству распыливания топлива, и применяются форсунки закрытого типа с одним сопловым отверстием большого диаметра (1–2 мм). Давление впрыска топлива составляет 12–15 МПа, и обеспечивается мягкая работа двигателя. Эти дизельные двигатели являются наиболее быстроходными из всех дизелей.

Основные недостатки отдельных камер сгорания:

- низкие пусковые свойства в связи с интенсивным отводом тепла;
- высокий удельный расход топлива, большие потери тепла и значительные затраты энергии на перетекание газов из одной полости камеры сгорания в другую;
- сложная конструкция камеры сгорания и повышенные тепловые напряжения отдельных деталей.

2 Тепловой расчет двигателя

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

Исходные данные: $V_L = 1.52$ л; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $i = 4$ – число цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 25$ – степень сжатия., частота вращения $n_{\min} = 700$ мин⁻¹; $n = 1500$ мин⁻¹; $n_M = 3500$ мин⁻¹; $n_N = 5200$ мин⁻¹; $n_{\max} = 6000$ мин⁻¹.

2.1 Топливо

Средний элементарный состав дизельного топлива

$C = 0,870$; $H = 0,126$; $O = 0,004$. и $\mu_m = 190$ кг/моль.

Низшая теплота сгорания топлива

$$\begin{aligned} H_{и} &= 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9 \cdot H + W) = & (2.1) \\ &= 33,91 \cdot 0,87 + 125,6 \cdot 0,126 - 10,89 \cdot 0,004 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,126 = 42437 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

2.2 Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива

$$L_0 = 1/0,208 \cdot (C/12 + H/4 - O/32) \quad (2.2)$$

$L_0 = 1/0,208 \cdot (0,87/12 + 0,126/4 - 0,004/32) = 0,4994$ кмоль возд/кг топл ;

$$l_0 = 1/0,23 \cdot (8/3 \cdot C + 8 \cdot H - O) \quad (2.3)$$

$l_0 = 1/0,23 \cdot (8/3 \cdot 0,87 + 8 \cdot 0,126 - 0,004) = 14,452$ кг возд/кг топл

Применение вихревой камеры сгорания позволяет принять коэффициент избытка воздуха на основных режимах $\alpha = 1,17$ для $n_{\min} = 900$ мин⁻¹, $\alpha = 1,2$ для n

= 2000 мин⁻¹, α = 1,23 для n_M=3500 мин⁻¹, α = 1,3 для n_N=5200 мин⁻¹, α = 1,32 для n_{max}=6000 мин⁻¹.

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

Количество горючей смеси:

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

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} ; \text{ кмоль CO}_2/\text{кг топл;} \quad (2.5)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} ; \text{ кмоль H}_2\text{O/кг топл;} \quad (2.6)$$

$$M_{O_2} = 0,208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 ; \text{ кмоль O}_2/\text{кг топл;} \quad (2.7)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 ; \text{ кмоль N}_2/\text{кг топл.} \quad (2.8)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} ; \text{ кмоль пр.сг/кг топл.} \quad (2.9)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (2.10)$$

Результаты расчета параметров рабочего тела приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры рабочего тела

n , мин ⁻¹	α	M_1 , кмоль гор.см./кг топл.	M_{CO_2} , кмоль CO ₂ /кг топл.	M_{H_2O} , кмоль H ₂ O/кг топл.	M_{O_2} , кмоль O ₂ /кг топл.	M_{N_2} , кмоль N ₂ /кг топл.	M_2 , кмоль пр.сг./кг топл.	μ_0
900	1.17	0,58956	0,0725	0,063	0,0177	0,46276	0,615922	1,044714
2000	1,2	0,60454	0,0725	0,063	0,0208	0,47463	0,630904	1,043606
3500	1,23	0,61952	0,0725	0,063	0,0239	0,48649	0,645886	1,042552
5200	1,3	0,65448	0,0725	0,063	0,0312	0,51418	0,680844	1,040279
6000	1,32	0,66447	0,0725	0,063	0,0332	0,52209	0,690832	1,039673
Двигатель ВАЗ-341								
900	1,2	0,60454	0,0725	0,063	0,0208	0,47463	0,630904	1,043606
2000	1,25	0,62951	0,0725	0,063	0,026	0,49441	0,655874	1,041877
3000	1,3	0,65448	0,0725	0,063	0,0312	0,51418	0,680844	1,040279
4000	1,34	0,67446	0,0725	0,063	0,0353	0,53	0,70082	1,039086
4200	1,37	0,68944	0,0725	0,063	0,0384	0,54187	0,715802	1,038237

2.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы

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

Давление остаточных газов:

$$p_r = p_k(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (2.12)$$

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 , мин ⁻¹	ρ_k , кг/м ³	T_k , К	p_k , Мпа	T_r , К	p_r , Мпа
900	1,189	293	0,1	720	0,104036
2000	1,189	293	0,1	770	0,105645
3500	1,189	293	0,1	810	0,11007
5200	1,189	293	0,1	850	0,118
6000	1,189	293	0,1	870	0,1228
Двигатель ВАЗ-341					
900	1,189	293	0,1	740	0,104234
2000	1,189	293	0,1	780	0,107125
3000	1,189	293	0,1	810	0,111656
4000	1,189	293	0,1	840	0,118
4200	1,189	293	0,1	850	0,119486

2.4 Расчет процесса впуска

С целью получения хорошего наполнения двигателя температура подогрева свежего заряда на номинальном скоростном режиме принимается $\Delta T_N = 6^\circ\text{C}$. Тогда, $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$;

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

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

Потери давления на впуске.

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

Давление в конце впуска:

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

Коэффициент остаточных газов:

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

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

Температура в конце впуска:

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

Коэффициент наполнения:

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

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

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

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	Δра, Мпа	ра, Мпа	φоч	φдоз	γг	Та, К	ηv	Va, К
900	13	0,00678	0,093217	1	0,85	0,01986	314,06	0,9194	0,92335
2000	11,33	0,0116	0,0884	0,94	0,93	0,019842	313,39	0,9292	0,972726
3500	8,8333	0,013	0,086996	0,98	1	0,019864	311,73	0,9302	0,984289
5200	6	0,0177	0,0823	0,81	0,95	0,0214	310,55	0,9676	1,03899
6000	4,667	0,01943	0,080575	0,77	0,94	0,022213	310,1	0,8826	1,06043
Двигатель ВАЗ-341									
900	9,875	0,00678	0,093217	1	0,85	0,019164	311,09	0,9287	0,9157
2000	8,5	0,00903	0,09097	0,94	0,93	0,019107	310,47	0,931674	0,938167
3000	7,75	0,0116	0,0884	0,98	1	0,019724	310,4559	0,966	0,96594
4000	6	0,01449	0,085511	0,81	0,95	0,020796	310,02	0,76818	0,995677
4200	5,75	0,01605	0,083946	0,77	0,94	0,021219	310,2	0,7533	1,01973

2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Значение показателя политропы сжатия

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

Давление, температура и удельный объем в конце сжатия:

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

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

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

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

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

Результаты расчёта 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 , мин ⁻¹	μ	n_1	P_c , МПа	T_c , К	Θ° ПКВ	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
900	1,0438	1,3702	7,779	1048,4	12	0,05411	4,603	908,72
2000	1,0428	1,374725	7,3777	1046,2	14	0,057	4,364	906,8
3500	1,0417	1,37283	7,26054	1040,7	16	0,05768	4,2954	901,97
5200	1,0394	1,37496	6,86864	1036,7	19	0,06089	4,0635	898,55
6000	1,0388	1,37538	6,72461	1035,2	24	0,06214	3,9783	897,27
Двигатель ВАЗ-341								
900	1,0428	1,37058	2,364652	1031,3	15	0,05443	4,5175	896,07
2000	1,0411	1,372	2,259369	1029,3	20	0,05576	4,4086	894,33
3000	1,0395	1,3728	2,180028	1028,1	23	0,05742	4,2841	893,34
4000	1,0383	1,37378	2,122703	1027,9	26	0,05942	4,1441	893,16
4200	1,0374	1,3753	2,044748	1028,6	28	0,06062	4,06823	893,72

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;

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

где H_u (кДж/кг) – низшая теплота сгорания; L_o (кмоль возд./кг топлива) – теоретическое количество воздуха необходимое для полного сгорания 1 кг топлива.

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

где

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

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp \left[-6.908 \left[\frac{\phi_1}{\phi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\phi_2}{\phi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (2.32)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

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

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

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

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

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

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

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

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

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

где:

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

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

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

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

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:

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

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета:

n, мин ⁻¹	δ	ψ	ξ	q _z , Дж/кг	E ₂ , МПа	φ_z , град, ПКВ.	m
900	1	0,87	0,87	2511,506	135,54497	30	0,2
2000	1	0,9	0,9	2591,177	132,90604	36	0,22
3500	1	0,93	0,93	2675,011	129,71143	42	0,24
5200	1	0,95	0,95	2620,459	125,59819	50	0,26
6000	1	0,99	0,99	2643,545	123,99202	54	0,28
Двигатель ВА3-341							
900	1	0,81	0,81	2495,696	135,98798	40	0,31
2000	1	0,86	0,86	2584,733	132,40438	48	0,32
3000	1	0,96	0,96	2606,549	129,28953	55	0,33
4000	1	0,97	0,97	2622,875	127,94589	58	0,34
4200	1	0,99	0,99	2644,799	126,49647	62	0,35

Расчёт текущих параметров процесса сгорания проводится с определённым шагом – 1⁰ ПКВ, а значения указанных параметров приводятся Приложении В.

2.7 Расчет процессов расширения и выпуска

Степень последующего расширения при V_z

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

Средний показатель политропы расширения:

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

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

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

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

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры газов в процессе расширения

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

где φ_{PT} – текущее значение поворота коленчатого вала

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

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

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

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

погрешность расчёта Δ :

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

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	$P_b, \text{МПа}$	$T_b, \text{К}$	$T_r, \text{К}$	$\Delta, \%$
900	0,06518	3135,5	10,1326	11,48804	1,177	0,58329	2067,555	726,33	0,2779
2000	0,143871	2907,209	10,768566	11,27169	1,1796	0,55548	2035,725	768,37	-0,034
3500	0,162852	2889,058	10,06501	10,50078	1,1795	0,55682	2064,706	812,71	0,3717
5200	0,197929	2831,083	9,08341	9,63196	1,1804	0,53085	2072,834	854,43	0,8199
6000	0,195495	3009,4	8,435073	8,79622	1,17476	0,56284	2213,654	876,89	1,157
Двигатель ВА3-341									
900	0,1494	2639,83	9,121	11,688	1,188	0,5354	1846,58	731,95	0,572
2000	0,1684	2756,27	9,714	10,139	1,1835	0,5504	1975,7	771,42	0,093
3000	0,1951	2913,76	9,303	9,47	1,1775	0,5815	2155,05	809,12	-0,036
4000	0,1972	2929,05	8,279	8,74	1,1767	0,5789	2168,77	852,54	0,0347
4200	0,2052	2976,31	8,179	7,44	1,175	0,5669	2209,79	875,43	0,349

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

2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла рассчитывается по методу трапеций;

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

n, мин ⁻¹	L _i , кДж	P _i , Мпа	N _i , кВт	η _i	g _i , г/кВт*ч
900	1,1718807	1,26863	14,27209	0,489426	167,4399
2000	1,1166917	1,17975	29,49376	0,456318	179,5886
3500	1,1498939	1,200507	62,5222	0,440856	185,8873
5200	1,1350542	1,125416	84,33848	0,458662	178,6709
6000	1,2659878	1,234851	96,43956	0,498398	164,4257
Двигатель ВАЗ-341					
900	1,0012	1,1060343	12,442886	0,4289854	191,03093
2000	1,09	1,1651984	37,868947	0,4405874	186,00051
3000	1,1957	1,2379594	57,255621	0,4484105	182,75552
4000	1,224	1,2533459	78,334121	0,4813589	170,24613
4200	1,2406	1,2210353	85,47247	0,4929888	166,22992

2.9 Эффективные показатели и параметры двигателя

Давление механических потерь при $S/D = 84/76 = 1.165$, если средняя скорость поршня:

$$v_n = \frac{Sn}{30}, \text{ м/с}$$

Среднее давление механических потерь

$$P_M = 0.034 + 0.0113 v \quad , \text{ МПа} \quad (2.57)$$

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа} \quad (2.58)$$

Механический К.П.Д.

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}} \quad (2.59)$$

Эффективный К.П.Д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M \quad (2.60)$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (2.61)$$

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_L \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт} \quad (2.62)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч} \quad (2.63)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.64)$$

Результаты расчета эффективных показателей двигателя приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Эффективные показатели двигателя.

n , мин ⁻¹	$V_{п.ср}$, м/с	p_m , Мпа	p_e , Мпа	η_m	η_e	g_e , г/(кВт.ч)	N_e , кВт	M_e , Н.м	G_T , кг/ч
900	2,13	0,0671	1,2035	0,9471	0,4643	223,4996	17,539	153,64	4,389
2000	4,733	0,10148	1,0827	0,9143	0,4188	220,6686	35,069	159,23	7,296
3500	8,283	0,14834	1,0537	0,8765	0,3869	224,7794	58,1	162,76	13,763
5200	11,833	0,1952	0,9290	0,8263	0,3786	239,43	77,067	148,88	19,567
6000	13,253	0,2139	1,0188	0,8264	0,4112	251,2899	78,317	131,59	22,212
Двигатель ВА3-341									
900	2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	223,3719	15,68	123,99	4,377
2000	6,153	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	227,3998	30,96	124,72	7,043
3000	8,756	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	228,8332	50,11	129,3	13,464
4000	11,833	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	241,652	66,13	126,29	19,336
4200	13,253	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	251,5434	70,49	120,19	22,208

2.10 Тепловой баланс двигателя [1]

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом:

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (2.67)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (2.68)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{c_i D^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (2.69)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_o; \quad (2.70)$$

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) M_2 \left[\overline{nc}_{V, \tau} + 8.315 \overline{t_r} \right] - M_1 \left[\overline{nc}_{V, \tau_0} + 8.315 \overline{t_o} \right], \quad (2.71)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_0 \quad (2.72)$$

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива отсутствует, так как дизельный двигатель и состав смеси больше 1.

$$Q_{н.с} = \Delta H_U * G_T / 3,6 \quad (2.73)$$

$$q_{н.с.} = Q_{н.с.} * 100 / Q_0 \quad (2.74)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_b + Q_r + Q_{н.с.}), \quad (2.75)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_0 \quad (2.76)$$

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	4,389	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1
2000	7,296	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5
3500	13,76 3	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0
5000	19,56 7	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5
5600	22,21 2	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6

3 Кинематический расчет

Премещение поршня [2]

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

Скорость поршня

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

Ускорения поршня

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

Расчет S_x , v_{II} , j_n производится аналитически через каждые 10^0 угла поворота коленчатого вала. Расчитанные значения ускорения поршня представлены в таблице Приложения Б, график представлен на плакате диаграмм.

4 Динамический расчет

4.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма.[1]

- масса поршневой группы

$$m_n = m_n^* \cdot F_n = 75 \cdot 0,00535 = 0,316 \text{ кг}; \quad (4.1)$$

- масса шатуна

$$m_{ш} = m_{ш}^* \cdot F_n = 109,6 \cdot 0,00535 = 0,624 \text{ кг}; \quad (4.2)$$

- масса неуравновешанных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k^* \cdot F_n = 150 \cdot 0,00535 = 0,805 \text{ кг}. \quad (4.3)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,624 = 0,165 \text{ кг}. \quad (4.4)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,624 = 0,473 \text{ кг}. \quad (4.5)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.п} = 0,316 + 0,165 = 0,481 \text{ кг}. \quad (4.6)$$

Массы, совершающие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{ш.к} = 0,805 + 0,473 = 1,278 \text{ кг}. \quad (4.7)$$

4.2 Удельные и полные силы инерции

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс

$$p_j = -jm_j/F_n = -j \cdot 0,481 \cdot 10^{-6} / 0,00535 = -j 141 \cdot 10^{-6} \text{ МПа.} \quad (4.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -1,278 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -28,02 \text{ кН.} \quad (4.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна

$$K_{Ru} = -m_{u.k} R \omega^2 = -0,473 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -8,7 \text{ кН.} \quad (4.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_{.k} R \omega^2 = -0,805 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -19,32 \text{ кН.} \quad (4.11)$$

4.3 Удельные суммарные силы

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_z + p_j \text{ (МПа).} \quad (4.12)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа).} \quad (4.13)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа).} \quad (4.14)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)}. \quad (4.15)$$

Удельная и полная тангенциальные силы

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)} \quad (4.16)$$

$$T = p_T \cdot 0,004776 \cdot 10^3 \quad (4.17)$$

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:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_i F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,2486 \cdot 0,00535 = 1063 \text{ Н}; \quad (4.18)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} Mp = \frac{1991 \cdot 1170}{240} \cdot 0,05 = 0,196 \text{ МПа}; \quad (4.19)$$

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

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{II} = 0,196 \cdot 0,00535 \cdot 10^6 = 1049 \text{ Н}; \quad (4.20)$$

4.4 Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0374 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (4.21)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с равными интервалами между вспышками

$$\Theta = 720 / i = 720 / 4 = 180^{\circ} \quad (4.22)$$

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

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 143,8 / 0,9052 = 158,8 \text{ Нм} \quad (4.23)$$

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

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_m = \frac{1470 - 615}{60} 10 = 160,5 \text{ Нм} \quad (4.16)$$

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

Максимальный и минимальный крутящие моменты

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

4.5 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала

Для проведения расчета результирующей силы, действующей на шатунную шейку рядного двигателя, составляют таблицу данных представленную в приложении, в которую переносят значения силы T .

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{R_{III}} = K + p_k F_{II} H. \quad (4.24)$$

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

$$R_{III,max} = 17,31 \text{ кН}; \quad R_{III,min} = 0,577 \text{ кН}$$

$$R_{III,cp} = FM_p / OB = 28425 \cdot 0,1 / 240 = 10,66 \text{ кН};$$

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.

4.6 Силы, действующие на колено вала

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{PK} = P_k + K_{RK} = P_k - 8,960 \text{ кН}. \quad (4.25)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(PT_k \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_k})^2} \quad (4.26)$$

4.7 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:

$$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1} \quad (4.27)$$

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:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (4.28)$$

где $T_{к2} = -0,5(T_1 - T_2)$; $K_{к2} = -0,5(K_{рк1} - K_{рк2})$.

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

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (4.29)$$

где $T_{к3} = 0,5(T_2 + T_3)$; $K_{к3} = 0,5(K_{рк2} + K_{рк3})$.

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 .

5 Спец. часть

5.1 Расчет топливоподачи форсунки

Форсунка представляет собой быстродействующий клапан, обеспечивающий дозированную подачу топлива в цилиндры двигателя. Электрическое поле, создаваемое в обмотке электромагнита – ЭМФ под воздействием электрических импульсов, посылаемых с ЭБУ, приподнимает сердечник. Якорь электромагнита вместе с запирающим конусом в процессе работы колеблется с высокой частотой. Если на обмотку электромагнита подадут импульс тока, то запирающий конус приподнимается на 0,1 мм над седлом распылителя. Воздушные зазоры оказывают влияние на электротехнические параметры:

$$\Delta_{p3} = \Delta_{1p3} + \Delta_{2p3} , \quad (5.1)$$

$$\delta_{я} = \Delta_{1p3} , \quad (5.2)$$

где: Δ_{1p3} - начальный рабочий зазор, Δ_{2p3} - конечный рабочий зазор.

Продолжительность открытого и закрытого состояния ЭМФ находится в диапазоне 1 – 1,5 мс. При подаче импульса напряжения клапан открывается, и топливо через распылитель тонкой распыленной струей подается под давлением на впускной клапан. Важнейшей характеристикой ЭМФ является ее быстродействие, определяемое жесткостью возвратной пружины, массой запирающего элемента и конструкцией электромагнитной системы. Быстродействующие ЭМФ имеют малое сопротивление обмотки 4,0 Ом и менее. Целесообразно иметь две цепи управления ЭМФ. Для быстрого открытия клапана форсунки используется первая (форсирующая) обмотка, по которой течет большой ток. Для удержания клапана ЭМФ в открытом состоянии большой ток не требуется, и управление электромагнитом переходит на другую (удерживающую) цепь с большим сопротивлением.

Тяговая характеристика представляет зависимость электромагнитного усилия F_3 от перемещения δ якоря, т.е. $F_3 = f(\delta)$. Механическая характеристика представляет собой зависимость противодействующих сил F_M , создаваемых пружинами и силой тяжести, от величины перемещения якоря, т.е. $F_M = \psi(\delta)$. Временные фрагменты осциллограмм переходных процессов в электрической и механической частях форсунки за время (t) приведены на рис. 1.

В момент срабатывания электромагнита время срабатывания t_{CP} , в течение которого ток нарастает до I_{CP} . Время движения якоря (сердечника) определяет время его движения $t_{ДВ}$, которое совместно со временем t_{TP} и составляет время срабатывания:

$$t_{CP} = t_{TP} + t_{ДВ}, \text{ с} \quad (5.3)$$

где: t_{TP} - время трогания, измеряемое от момента подачи напряжения на электромагнит до момента начала движения клапана дозатора с якорем электромагнита, с; $t_{ДВ}$ - время перемещения клапана дозатора вместе с якорем электромагнита из закрытого состояния в открытое, с.

Если индуктивность электромагнита постоянного тока принять постоянной, то время трогания определится:

$$t_{TP} = \frac{L \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - I_T / I_Y}\right)}{R}, \text{ с} \quad (5.4)$$

где: L - индуктивность катушки электромагнита, Г; R - активное сопротивление катушки. Ом;

I_Y - установившееся значение тока в катушке электромагните, А; I_T - ток трогания клапана дозатора с якорем электромагнита, А.

Время перемещения клапана $t_{ДВ}$ можно определить из уравнения равноускоренного движения этих деталей:

$$t_{ДВ} = \frac{\delta_{я}}{50 \cdot a}, \quad (5.5)$$

где: a - ускорение клапана дозатора с якорем электромагнита, м/с².

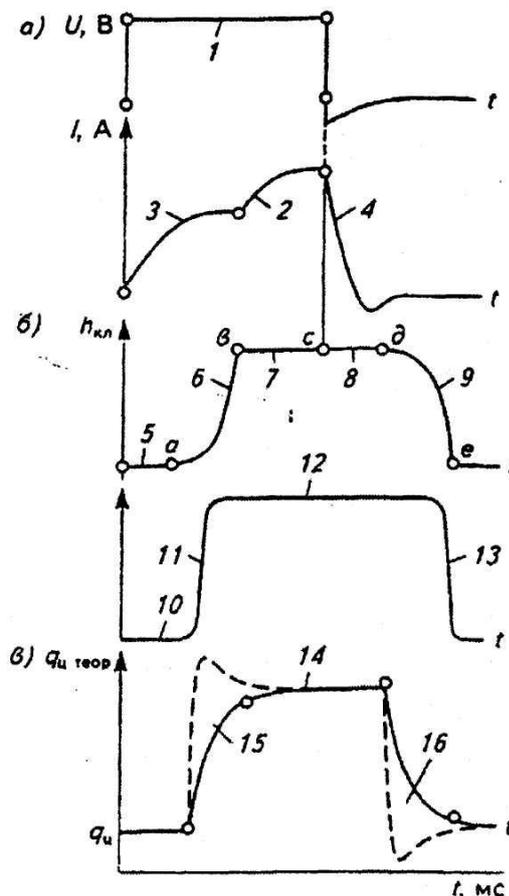


Рисунок 7.1 - Временные фрагменты осциллограмм переходных процессов, происходящих в электрической и механической частях форсунки за время t .

Ускорение клапана дозатора с якорем электромагнита в свою очередь будет зависеть от действующих на них сил и их массы:

$$a = \frac{P_M - P_D}{m}, \quad \text{м/с}^2 \quad (5.6)$$

где: P_M - сила электромагнита, Н; P_A - сила от перепада давлений на входе и выходе дозатора, Н; m - масса клапана дозатора с якорем электромагнита, кг.

Сила от перепада давлений на входе и выходе дозатора равна:

$$P_D = (p_{вх.макс} - p_{вых.мин}) \cdot S \cdot g, \text{ Н} \quad (5.7)$$

где: $p_{вх.макс}$ - максимальное давление на входе дозатора, кг/см²; $p_{вых.мин}$ - минимальное давление на выходе дозатора, мПа.

Для упрощения расчетов сила воздействия электромагнита, сила от перепада давлений на входе и выходе дозатора считаются постоянными и не зависящими от хода клапана дозатора с якорем электромагнита. Такое допущение вполне оправдано, так как ход клапана дозатора с якорем электромагнита в таких конструкциях очень мал и составляет величину порядка 1 мм и меньше. Выразив из формул 5-7 силу электромагнита, получим:

$$P_M = \frac{0,02 \cdot H_{макс} \cdot m}{t_{ДВ}^2} + (p_{вх.макс} - p_{вых.мин}) \cdot S \cdot g, \quad (5.8)$$

Если задаться величиной времени срабатывания дозатора $t_{CP} = 2,0$ мс и принять соответственно $t_{TP} = 1,0$ мс и $t_{ДВ} = 1,0$ мс, то можно сформулировать требования к основным элементам дозатора. В формуле (4) значение натурального логарифма при $I_T/I_Y < 0,3$ (для быстродействующих электромагнитов I_T/I_Y еще меньше) будет 0,5 и менее. Следовательно, для электромагнита дозатора должно выполняться условие

$$\frac{L}{R} < 0.002, \text{ с} \quad (5.9)$$

Преобразуя (8), получим силу электромагнита:

$$P_M = 20000 \cdot H_{\max} \cdot m + \left(\Phi_{\text{с.х. max}} - p_{\text{с.х. min}} \right) S \cdot g, \quad (5.10)$$

Между якорем управляющего электромагнита и топливным запирающим узлом существует жесткая связь, поэтому временная диаграмма срабатывания однозначно связана с динамикой электромагнитной части форсунки. Продолжительность циклового впрыскивания $\tau_{\text{цв}}$ можно представить уравнением:

$$\tau_{\text{цв}} = \tau_{\text{И}} - \tau_{\text{oa}} - \tau_{\text{ав}} + \tau_{\text{cd}} + \tau_{\text{de}}, \quad (5.11)$$

где: $\tau_{\text{цв}}$ - длительность циклового впрыскивания; $\tau_{\text{И}}$ - длительность управляющего импульса; τ_{oa} - запаздывание начала движения затвора; $\tau_{\text{ав}}$ - время движения затвора при его открытии; τ_{cd} - запаздывание движения затвора при его закрытии; τ_{de} - время движения затвора при его закрытии. Цикловая объемная доза топлива может быть представлена выражением:

$$g_{\text{цт}} = g_0 \cdot \tau_{\text{цв}}, \quad (5.12)$$

где: g_0 - статическая производительность ЭМФ.

В реальной ЭМФ клапан открывается и закрывается не одновременно с началом поступления и окончанием управляющего импульса подачи тока, а с некоторым запаздыванием. Продолжительность срабатывания и отпускания электромагнита не зависит от продолжительности импульса тока в обмотке, так как они являются неуправляемыми временными параметрами.

Быстродействие форсунки с электромагнитным управлением характеризуется неуправляемым временем открытия затвора и составляет:

$$\Delta\tau_{03} = \tau_{oa} + \tau_{av}, \quad (5.13)$$

Продолжительность закрытия затвора составляет:

$$\Delta\tau_{33} = \tau_{cd} + \tau_{de}, \quad (5.14)$$

Фактическая продолжительность открытого состояния затвора τ_{ad} отличается от длительности импульса τ_{oc} . Статическая производительность ЭМФ характеризует величину предельного расхода при постоянно открытом ее клапане. Чтобы ЭМФ не потеряли управляемость при максимальной цикловой подаче и максимальной частоте вращения, между управляющими импульсами должна быть пауза продолжительностью не менее времени отпускания $\tau_{опт}$. Реальная продолжительность паузы должна быть не менее 2 мс. Максимальная продолжительность управляющих импульсов может быть определена:

$$\tau_{max} \leq T_{min} - t_{опт}, \quad (5.15)$$

Минимальная продолжительность управляющих импульсов должна быть равна или более времени срабатывания клапана:

$$\tau_{min} \geq t_{ср}, \quad (5.16)$$

Максимально возможная продолжительность открытого состояния клапана ограничивается периодом следования формируемых импульсов по формуле:

$$T = 60 \cdot \tau / n \cdot i \cdot 10^3, \quad (5.17)$$

где: T - период следования импульсов тока, мс; n - частота вращения КВ двигателя, мин⁻¹; τ - коэффициент тактности двигателя; i - общее число срабатываний ЭМФ за один оборот распределительного вала.

Расчетно-экспериментальный анализ показал, если на электромагнит подается импульс тока, то игла ЭМФ поднимается на 0,1 мм над седлом и топливо выходит через калиброванную щель. Время задержки открытия и закрытия ЭМФ находятся в диапазоне 1...1,5 мс. Задержка срабатывания ЭМФ составляет 1 мс, продолжительность открытого состояния 2...10 мс. Напряжение системы привода ЭМФ 4В. ЭМФ заземлена на массу в ЭБУ. Магнитный поток ЭМФ достигает своего максимального значения через промежуток времени:

$$\tau = (4...5) \cdot L_{\text{ЭФМ}} / r_{\text{ЭФМ}}, \quad (5.18)$$

где: $L_{\text{ЭФМ}}$ - индуктивность обмотки электромагнита ЭМФ; $r_{\text{ЭФМ}}$ - активное сопротивление обмотки ЭМФ.

Ток в обмотке ЭМФ после ее срабатывания изменяется по экспоненциальному закону. После окончания управляющего импульса магнитный поток исчезает не сразу. На частотах 500 Гц и выше время срабатывания, и время отпущения не зависят от продолжительности импульса тока и являются неуправляемыми временными параметрами. ЭМФ

обеспечивает открытие отверстия для прохода топлива за 0,6 мс и закрытие за 0,2 мс и позволяет работать с частотой 250 Гц. Импульс шириной t_i приводит в действие оконечный каскад, управляющий впрыскиванием топлива:

$$t_i = t_p + t_m + t_s = t_p + k_2 \cdot t_p + t_s = t_p \cdot (1 + k_2) + t_s = k_1 \cdot \overline{Q/n}, \quad (5.19)$$

где: $k = k_1 \cdot (1 + k_2)$, что и требуется для реализации программы топливоподачи.

Алгоритм управления основной исполнительной частью ЭМФ однозначно связан с динамикой электромагнитной ее части и влияет на продолжительность $t_{ц}$ и на цикловую дозу впрыскивания $Q_{цв}$

$$t_{имп} = t_{ц} + t_{ппо} - t_{ппз}, \quad (5.20)$$

где: $t_{имп}$ - длительность электрического управляющего импульса; $t_{ц}$ - продолжительность циклового впрыскивания; $t_{ппо}$ - длительность переходного процесса открывания; $t_{ппз}$ - длительность переходного процесса закрытия ЭМФ.

$$Q_{ц} = \mu_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P_{ср}} \cdot t_{ц}, \quad (5.21)$$

где: $\mu_{\phi} \cdot f_{\phi}$ - площадь эффективного сечения дозирующего отверстие ЭМФ; $P_{ср}$ - средний перепад давления на дозирующем отверстии; ρ - плотность топлива.

5.2 Описание проектируемого двигателя

В данной бакалаврской работе предлагается повысить мощность двигателя без увеличения рабочего объема, что обеспечивается повышением частоты вращения коленчатого вала. Для этого применена неразделенная камера сгорания позволяющая сократить время сгорания, что сделало возможным повысить обороты двигателя с 4200 до 5600 об/мин. Производится также модернизация КШМ обеспечивающая снижение массы шатунно-поршневой группы, уменьшающие инерционные нагрузки. Облегчаются впускные и выпускные клапана, а также усиливаются клапанные пружины для предотвращения возможного зависания клапанов при работе на высоких оборотах.

Проводятся мероприятия по снижению потерь на впуске для улучшения наполнения цилиндров.

Данные мероприятия влияют на токсичность отработавших газов следующим образом:

СН – токсичность по данному компоненту увеличивается, т.к. при повышении оборотов двигателя с 4200 до 5600 об/мин значительно снижается время отводимое на процесс сгорания, а, следовательно, вероятность недогорания в объеме за счет более высокой турбулентности смеси увеличивается, также большие габариты камеры сгорания увеличивают площадь пристеночного слоя в котором происходит гашение пламени, в следовательно увеличивается концентрация несгоревших углеводородов в ОГ.

NO – токсичность по данному компоненту также увеличивается, т.к. при применении неразделенной камеры сгорания повышается температура в камере сгорания, а, следовательно, приводит к увеличению образования термических оксидов азота в цилиндре двигателя.

СО – токсичность по данному компоненту остается примерно одинаковой, т.к. доокисление СО до СО₂ требует малое время и увеличение оборотов в 1,5 раза не скажется на данном процессе. Единственно, что можно

отметить так это увеличение температуры в процессе сгорания может привести к некоторому незначительному уменьшению СО в ОГ.

Дымность при переходе на неразделенную камеру сгорания снизится, так как повысится полнота сгорания и будет более равномерное распределение ТВС по камере сгорания.

Экономичность работы двигателя будет улучшаться, т.к. уменьшение продолжительности сгорания по углу ПКВ приводит к увеличению термического КПД цикла.

Температурное состояние деталей :

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.

Температурная нагрузка и тепловой поток в двигателе при повышении оборотов двигателя возрастет, т.к. количество тепла выделяемого в процессе сгорания в единицу времени увеличится, также возрастет работа сил трения в ед. времени механизмов совершающих возвратно поступательное движение.

Для снижения тепловой нагрузки необходимо увеличить интенсивность теплообмена и охлаждения при помощи повышения скорости циркуляции охлаждающей жидкости и моторного масла.

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

6 Безопасность и экологичность проекта

6.1 Нормы по ограничению токсичности отработавших газов автотранспортных ДВС

В настоящее время Российская Федерация обладает необходимой правовой и нормативно-технической базой, предметом регулирования которой являются вопросы экологической безопасности, в том числе, в отношении двигателей внутреннего сгорания. Эта нормативно-правовая база включает документы общероссийской и международной юрисдикции.

В 1987 г. Россия стала полноправным участником Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН). Наличие такого международного статуса обязывает каждое государство соблюдать определённые правила ЕЭК ООН:

1. Правила ЕЭК ООН N 24 (24-03*) "Единообразные предписания, касающиеся:

I. официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ;

II. официального утверждения автотранспортных средств в отношении установки на них двигателей с воспламенением от сжатия, официально утвержденных по типу конструкции;

III. официального утверждения автотранспортных средств с двигателем с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ;

IV. измерения полезной мощности двигателей с воспламенением от сжатия".

2. Правила ЕЭК ООН N 49 (49-02, 49-03, 49-04*) "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с

воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе, и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на сжиженном нефтяном газе, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ".

3. Правила ЕЭК ООН N 83 (83-02, 83-03, 83-04, 83-05*) "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выброса загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей".

4. Правила ЕЭК ООН N 96 (96-01*) "Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных тракторах и внедорожной технике в отношении выброса загрязняющих веществ этими двигателями".

В Правиле № 49 и N 96 ЕЭК ООН, введённом в действие в 1982 г., изложены основные требования, предъявляемые к отработавшим газам автотранспортных двигателей в отношении их токсичности. Позже были приняты дополнения (поправки) к Правилу № 49, получившие определённые условные наименования.

ОСТ 37.001.234-84 устанавливает нормы удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей.

Особенности использования Правила № 49 ЕЭК ООН применительно к автотранспортной технике заключаются в том, что она (эта техника) должна соответствовать только тем требованиям в части ограничения токсичности, которые действовали на момент её производства, то есть к такой технике не могут быть применены более жёсткие требования, вводимые в действие в последующих (относительно года выпуска) нормативно-правовых документах.

Нормы по ограничению токсичности отработавших газов автотранспортных ДВС в соответствии с требованиями (правилами) ЕЭК ООН 601 представлены в таблице. 6.1.

Таблица 6.1 - Требования по токсичности ОГ автотранспортных ДВС

Токсическое вещество	Категория транспортного средства	Единица измерения	Евро - 1	Евро - 2	Евро - 3	Евро - 4	Евро - 5
Оксид углерода (угарный газ) CO	Легковые (B)	г/км	2,72	2,2 (B) 1,0 (D)	2,3 (B) 0,64 (D)	1,0 (B) 0,5 (D)	1,0 (B) 0,5 (D)
Углеводороды	Легковые (B)	г/км	-	-	0,2 (B)	0,1 (B)	0,1 (B)
Оксиды азота NO*	Легковые (B)	г/км	-	-	0,15 (B) 0,5 (D)	0,08 (B) 0,25 (D)	0,06 (B) 0,25 (D)
Твёрдые частицы (сажа) C	Легковые (B)	г/км	0,14 (D)	0,08 (D)	- (B) 0,05 (D)	- (B) 0,025 (D)	0,005 (B) 0,005 (D)

Введение в действие технических нормативов выбросов в отношении автомобильной техники, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, осуществляется в следующие сроки:

- а) экологического класса 2 (Евро – 2) - с даты вступления в силу настоящего регламента;
- б) экологического класса 3 (Евро – 3) - с 1 января 2010 г.;
- в) экологического класса 4 (Евро – 4) - с 1 января 2012 г.;
- г) экологического класса 5 (Евро – 5) - с 1 января 2014 г.

6.2 Нормы по ограничению шума автотранспортных ДВС

С 1.01.05. года введен в действие ГОСТ Р 52231-04 «Внешний шум автомобилей в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерения». В разделе стандарта «Область применения» отличается, тем что он устанавливает допустимые уровни методы измерения внешнего шума автомобилей категорий

M1, M2, M3, N1, N2, N3(по ГОСТ Р 52051) при оценке их технического состояния в эксплуатации.

ГОСТ Р 41.51-2004(Правила ЕЭК ООН №51) Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с производимым ими шумом.

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).

Часто для удобства источниками шума условно называют не рабочие процессы, а непосредственно механизмы, агрегаты и системы двигателя, хотя неработающий механизм шума не генерирует. В зависимости от физического механизма образования и характера излучения общий шум, генерируемый ПДВС, можно разделить на шум, излучаемый наружной поверхностью двигателя и ее участками, контактирующими с окружающей упругой воздушной средой; и шум, генерируемый в воздушной среде в результате

процессов газообмена на входе и выходе впускной и выпускной систем и при взаимодействии лопастей вентиляторов с окружающим воздухом. Первый принято называть механическим (структурным) шумом двигателя, а второй - аэрогазодинамическим. Учитывая разную природу и характер генерации механического и аэрогазодинамического шума, самостоятельность методов и средств уменьшения этих шумов, их изучение, прогнозирование характеристик и оценку проводят независимо друг от друга. Аэрогазодинамический шум подразделяют на шум процесса впуска, шум процесса выхлопа и шум вентилятора системы охлаждения.

Для источников шума ПДВС характерны гармонический, полигармонический и импульсный законы изменения возмущающих сил. Кроме того, в двигателе могут возникнуть звуковые колебания, вызываемые переменными силами трения механического и аэродинамического происхождения.

Под действием возмущающих сил создается установившееся звуковое поле вокруг двигателя. Периодичность и характер возмущающих сил определяет основную частоту (тон) и гармонические составляющие (обертоны) излучаемых звуков. Динамические возмущения (удары, резкое возрастание давления при сгорании и т.п.) вызывают множество колебаний различных деталей и элементов конструкции двигателя с собственными частотами и определяют излучение шума двигателя в широком диапазоне частот.

Описание проектируемого двигателя

СН – токсичность по данному компоненту увеличивается, т.к. при повышении оборотов двигателя с 4200 до 5600 об/мин значительно снижается время отводимое на процесс сгорания, а, следовательно, вероятность недогорания в объеме за счет более высокой турбулентности смеси увеличивается, также большие габариты камеры сгорания увеличивают площадь пристеночного слоя в котором происходит гашение пламени, в следовательно увеличивается концентрация несгоревших углеводородов в ОГ.

NO – токсичность по данному компоненту также увеличивается, т.к. при применении неразделенной камеры сгорания повышается температура в камере сгорания, а, следовательно, приводит к увеличению образования термических оксидов азота в цилиндре двигателя.

CO – токсичность по данному компоненту остается примерно одинаковой, т.к. доокисление CO до CO₂ требует малое время и увеличение оборотов в 1,5 раза не скажется на данном процессе. Единственно, что можно отметить так это увеличение температуры в процессе сгорания может привести к некоторому незначительному уменьшению CO в ОГ.

Дымность при переходе на неразделенную камеру сгорания снизиться, так как повысится полнота сгорания и будет более равномерное распределение ТВС по камере сгорания.

Экономичность работы двигателя будет улучшаться, т.к. уменьшение продолжительности сгорания по углу ПКВ приводит к увеличению термического КПД цикла.

Шумность при работе на повышенных оборотах двигателя

Можно предположить, что в связи с увеличением оборотов двигателя, а значит и действием инерционных сил, шум от работы ГРМ и КШМ может несколько возрасти. Также увеличение оборотов обеспечивает большую скорость потока на впуске и выпуске, а значит увеличение шумности.

Для выполнения всех предъявленных норм по шуму необходимо дополнительно проводить модернизацию системы глушения. В частности моторный отсек автомобиля может быть оборудован дополнительными шумопоглощающими панелями монтируемыми на капоте, щитке передка и брызговиках колес кузова, а нижний проем моторного отсека перекрыт аэроакустическим экраном футерованным звукопоглощающим покрытием, что не только уменьшает уровни шума автомобиля, но и уменьшают расход топлива и токсические выбросы с выхлопными газами (включая снижение выбросов CO₂, регламентируемых правилом R 101 ЕЭК ООН).

Шумоизоляция автомобиля

В нашем случае звукоизоляция, представляющий собой полимерную самоклеющуюся композицию сдублированную с алюминиевой фольгой.

Важными свойствами этого материала являются:

- легкость монтажа на поверхности со сложным рельефом (материал держит "тройной угол");
- нетребовательность к нагреву при установке;
- водонепроницаемость и свойства герметика.

Она эффективно препятствует проникновению влаги к кузову автомобиля, становясь дополнительной защитой от коррозии.

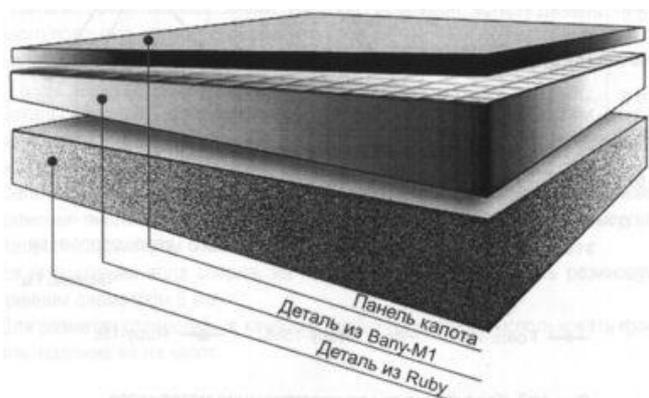


Рисунок 6.1 - Монтаж материалов на панель капота

На разных частотах уровень шумопоглощения материалов неодинаков. Для его оптимизации на всем спектре частот особое значение имеет толщина материала, а так же лицевая пленка. В соответствии со "звуковой" характеристикой двигателя можно выбрать одну из модификаций материала: с металлизированной лавсановой и перфорированной поливинилхлоридной пленкой.

Ввиду уменьшения коэффициента аэродинамического сопротивления, достигаемого применением аэроакустического экраномоторного отсека автомобиля, заширмляющего нижний вентиляционный проем моторного отсека, C_x снизится на 10 ... 15% от исходного значения, что таким образом обеспечивается достаточно высокие (приемлемые) экологические показатели

разработанного проекта ДВС, смонтированного на автомобиле категории М₁, а также снижение расхода топлива и выбросов CO₂ в окружающую среду.



Рисунок 6.2 - Схема звукоизоляции автомобиля

Аэроакустический экран – это развитая конструкция штатного брызговика двигателя, футерованного изнутри звукопоглощающим материалом. Оболочка экрана содержит 2 вентиляционных окна для обеспечения вентиляции моторного отсека. Его использование на автомобиле будет способствовать снижению аэродинамического сопротивления автомобиля и снижению уровней внешнего шума автомобиля, что таким образом обеспечит эксплуатацию более экологичной конструкции автотранспортного средства.

6.3 Выводы по главе безопасность и экологичность проекта

Повышение шумности двигателя, модернизированного согласно заданию по бакалаврской работе, произошло из-за увеличения частоты вращения коленчатого вала, а, следовательно, и повышения скорости движения воздуха при впуске и выпуске.

В целом, предлагаемые в бакалаврской работе технические решения будут способствовать выполнению ДВС нормативных требований отечественных и зарубежных стандартов в отношении расхода топлива, токсичности (CO, CH, NOx) и его шумового излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе спроектирован дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания. В качестве базового взят дизельный двигатель для легкового автомобиля ВАЗ-341. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, основных деталей и систем двигателя и расчет электромагнитной форсунки.

Получено в двигателе с расслоением ТВС:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 220 г/кВт*ч, в среднем его снижение по сравнению с базовым составило 7 %;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600 \text{ мин}^{-1}$ кВт, по сравнению с базовым увеличение составило 10 %;

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. Ховах, М.С. Автомобильные двигатели – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] /Под редакцией М.С. Ховаха// М.: Машиностроение, 1977. - с.636.
3. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова. –4-е издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1984. – с.384
4. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
5. Луканин, В.Н. Промышленная транспортная экология [Текст] / М.: Высшая школа, 2001.
6. Dake, A.R. Modeling and control of cold start hydrocarbon emissions [Текст] / A.R. Dake // Master thesis. – 2005. - 101 с.
7. El-Mahallawy, F. Fundamentals and technology of combustion [Текст] / F. El-Mahallawy, S. E-Din Habik. – London : Elsevier, 2002. – 862 с.
8. Eriksson, L. Spark Advance Modeling and Control / L. Eriksson [Текст] // Doctoral thesis. – 1999. - 207 с.
9. Кузнецов, В.Р. Турбулентность и горение [Текст] / Кузнецов, В.Р., Собольников В.А.// М. Наука, 1986. - 207 с.
10. Войнов, В.В. Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / М. Наука, 1984. - 211 с.
11. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / М. Машиностроение, 1981. - 210 с.

12. Nlootat, G. A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours [Текст] / SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.
13. 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,
14. 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
15. Наканиши, К. Разработка новой системы впуска для четырёхклапанного двигателя, работающего на бедных смесях [Текст] / SAE, SP 1097, №95050, 1997. - с. 25-43
16. Хашимото, Н. Разработка низкотоксичной, высокоэффективной камеры сгорания для высокомоощного четырехклапанного двигателя [Текст] / SAE, SP 1098, №95068, 1998. - с. 347-365
17. Аносов, Ю.М. Основы отраслевых технологий и организации производства [Текст] / С-П., Политехника, 2002.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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 $n = 700 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
12	40	1,17	25	1,0086	5,254	962,874	0,950	0,9000	110,0012	0,0205	0,2603	0,2					
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	-12	0,05052	0,0275	1,32978	0,03963	962,8736	962,8736	1208,999	962,8736	1085,936			0,07926	5,25391	1	1	0
1	-11	0,04853	0,0231	1,27737	0,04677	1208,999	1208,999	1445,065	1208,991	1327,032	1,3274	7,1081	0,09355	6,86986	1,0007	1,0003	0,079263
2	-10	0,04671	0,0191	1,22942	0,04637	1445,065	1445,065	1664,49	1445,03	1554,777	1,3146	7,3566	0,09273	8,53755	1,0015	1,0011	0,17281
3	-9	0,04506	0,0155	1,18597	0,04388	1664,49	1664,49	1865,09	1664,409	1764,79	1,3063	7,5297	0,08775	10,202	1,0022	1,0019	0,265541
4	-8	0,04358	0,0123	1,14704	0,0405	1865,09	1865,09	2046,304	1864,951	1955,697	1,3006	7,6538	0,08101	11,8282	1,003	1,0026	0,353295
5	-7	0,04227	0,0094	1,11265	0,03679	2046,304	2046,304	2208,348	2046,101	2127,326	1,2965	7,745	0,07357	13,3878	1,0037	1,0033	0,434303
6	-6	0,04114	0,0069	1,0828	0,03301	2208,348	2208,348	2351,845	2208,08	2280,097	1,2935	7,8137	0,06603	14,8555	1,0043	1,004	0,507876
7	-5	0,04018	0,0048	1,05753	0,02936	2351,845	2351,845	2477,633	2351,513	2414,739	1,2913	7,8662	0,05871	16,2081	1,0049	1,0046	0,573906
8	-4	0,03939	0,0031	1,03683	0,02591	2477,633	2477,633	2586,671	2477,245	2532,152	1,2896	7,9069	0,05181	17,4247	1,0054	1,0051	0,632619
9	-3	0,03878	0,0017	1,02072	0,02272	2586,671	2586,671	2679,971	2586,231	2633,321	1,2882	7,9386	0,04543	18,487	1,0058	1,0056	0,684431
10	-2	0,03834	0,0008	1,00921	0,01981	2679,971	2679,971	2758,567	2679,486	2719,269	1,2872	7,9635	0,03962	19,38	1,0062	1,006	0,729862
11	-1	0,03808	0,0002	1,0023	0,01719	2758,567	2758,567	2823,501	2758,045	2791,034	1,2864	7,9829	0,03438	20,0928	1,0065	1,0063	0,769478
12	0	0,03799	0	1	0,01485	2823,501	2823,501	2875,809	2822,948	2849,655	1,2858	7,998	0,0297	20,6194	1,0068	1,0067	0,803857
13	1	0,03808	0,0002	1,0023	0,01278	2875,809	2875,809	2916,516	2875,231	2896,162	1,2853	8,0095	0,02557	20,9587	1,0071	1,0069	0,833562
14	2	0,03834	0,0008	1,00921	0,01096	2916,516	2916,516	2946,634	2915,92	2931,575	1,285	8,0181	0,02192	21,1147	1,0073	1,0072	0,859128
15	3	0,03878	0,0017	1,02072	0,00937	2946,634	2946,634	2967,157	2946,026	2956,896	1,2847	8,0242	0,01874	21,0963	1,0075	1,0074	0,881052
16	4	0,03939	0,0031	1,03683	0,00798	2967,157	2967,157	2979,054	2966,542	2973,106	1,2846	8,0281	0,01597	20,9168	1,0076	1,0075	0,899792
17	5	0,04018	0,0048	1,05753	0,00679	2979,054	2979,054	2983,262	2978,436	2981,158	1,2845	8,0302	0,01357	20,5927	1,0077	1,0077	0,915762
18	6	0,04114	0,0069	1,0828	0,00575	2983,262	2983,262	2980,681	2982,646	2981,971	1,2845	8,0308	0,0115	20,1429	1,0079	1,0078	0,929332
19	7	0,04227	0,0094	1,11265	0,00486	2980,681	2980,681	2972,167	2980,072	2976,424	1,2845	8,0299	0,00972	19,5878	1,008	1,0079	0,940833
20	8	0,04358	0,0123	1,14704	0,0041	2972,167	2972,167	2958,523	2971,566	2965,345	1,2846	8,0279	0,0082	18,9479	1,008	1,008	0,950554
21	9	0,04506	0,0155	1,18597	0,00345	2958,523	2958,523	2940,497	2957,934	2949,51	1,2847	8,0248	0,0069	18,2432	1,0081	1,0081	0,958753
22	10	0,04671	0,0191	1,22942	0,0029	2940,497	2940,497	2918,775	2939,922	2929,636	1,2849	8,0207	0,00579	17,4924	1,0082	1,0081	0,965652
23	11	0,04853	0,0231	1,27737	0,00243	2918,775	2918,775	2893,984	2918,216	2906,38	1,2851	8,0158	0,00485	16,7124	1,0082	1,0082	0,971445

24	12	0,05052	0,0275	1,32978	0,00203	2893,984	2893,984	2866,684	2893,442	2880,334	1,2853	8,0102	0,00406	15,9181	1,0083	1,0082	0,976299
25	13	0,05268	0,0322	1,38665	0,00169	2866,684	2866,684	2837,379	2866,161	2852,032	1,2856	8,004	0,00339	15,1219	1,0083	1,0083	0,980359
26	14	0,05501	0,0373	1,44794	0,00141	2837,379	2837,379	2806,509	2836,874	2821,944	1,2858	7,9972	0,00282	14,3343	1,0083	1,0083	0,983748
27	15	0,05751	0,0428	1,51362	0,00117	2806,509	2806,509	2774,462	2806,023	2790,485	1,2861	7,9899	0,00235	13,5635	1,0083	1,0083	0,986572
28	16	0,06017	0,0486	1,58366	0,00098	2774,462	2774,462	2741,572	2773,995	2758,017	1,2864	7,9822	0,00195	12,816	1,0084	1,0084	0,988921
29	17	0,06299	0,0548	1,65803	0,00081	2741,572	2741,572	2708,127	2741,125	2724,849	1,2868	7,9742	0,00162	12,0963	1,0084	1,0084	0,990871
30	18	0,06598	0,0614	1,73669	0,00067	2708,127	2708,127	2674,371	2707,698	2691,249	1,2871	7,9658	0,00134	11,4078	1,0084	1,0084	0,992488
31	19	0,06913	0,0683	1,8196	0,00055	2674,371	2674,371	2640,512	2673,962	2657,441	1,2875	7,9571	0,00111	10,7524	1,0084	1,0084	0,993827
32	20	0,07244	0,0756	1,90673	0,00046	2640,512	2640,512	2606,721	2640,121	2623,617	1,2878	7,9483	0,00091	10,1313	1,0084	1,0084	0,994934
33	21	0,07591	0,0832	1,99803	0,00038	2606,721	2606,721	2573,143	2606,348	2589,932	1,2882	7,9392	0,00075	9,54477	1,0084	1,0084	0,995847
34	22	0,07954	0,0911	2,09346	0,00031	2573,143	2573,143	2539,894	2572,787	2556,519	1,2886	7,93	0,00062	8,99242	1,0084	1,0084	0,9966
35	23	0,08332	0,0994	2,19298	0,00025	2539,894	2539,894	2507,07	2539,555	2523,482	1,289	7,9207	0,00051	8,47352	1,0084	1,0084	0,99722
36	24	0,08725	0,108	2,29653	0,00021	2507,07	2507,07	2474,746	2506,746	2490,908	1,2894	7,9112	0,00042	7,98694	1,0084	1,0084	0,997729
37	25	0,09134	0,117	2,40407	0,00017	2474,746	2474,746	2442,981	2474,436	2458,863	1,2898	7,9017	0,00034	7,53135	1,0084	1,0084	0,998147
38	26	0,09557	0,1263	2,51555	0,00014	2442,981	2442,981	2411,822	2442,686	2427,401	1,2902	7,8921	0,00028	7,10526	1,0084	1,0084	0,99849
39	27	0,09995	0,1359	2,63092	0,00011	2411,822	2411,822	2381,302	2411,54	2396,562	1,2906	7,8825	0,00023	6,70709	1,0084	1,0084	0,998771
40	28	0,10448	0,1458	2,75012	9,4E-05	2381,302	2381,302	2351,445	2381,033	2366,374	1,291	7,8729	0,00019	6,33523	1,0084	1,0084	0,999

Таблица А2 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	P _y	T _y	V _a	z	E2	g	l	m					
15	50	1,2	25	1,00898	4,206359	914,6489	0,985492	0,923	106,499	0,017214	0,260274	0,22					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	V _{ст}	s	y(f1)	X1-2	T _{пред}	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-15	0,05967	0,04280	1,51362	0,02838	914,6489	914,6489	1109,006	914,6489	1011,827			0,05675	4,20636	1	1	0
1	-14	0,05708	0,03733	1,44794	0,03525	1109,006	1109,006	1303,707	1109,001	1206,356	1,33312	7,00389	0,07049	5,33284	1,0005	1,00025	0,0568
2	-13	0,05466	0,03222	1,38665	0,03640	1303,707	1303,707	1492,09	1303,684	1397,899	1,32085	7,23346	0,07280	6,54977	1,0011	1,00081	0,1272
3	-12	0,05242	0,02748	1,32978	0,03583	1492,09	1492,09	1671,27	1492,03	1581,68	1,31217	7,40673	0,07166	7,82154	1,0018	1,00145	0,2
4	-11	0,05035	0,02311	1,27737	0,03439	1671,27	1671,27	1839,794	1671,158	1755,532	1,30587	7,53874	0,06878	9,12587	1,0024	1,00208	0,2717
5	-10	0,04846	0,01912	1,22942	0,03248	1839,794	1839,794	1996,912	1839,619	1918,353	1,30116	7,64097	0,06496	10,44404	1,003	1,0027	0,3405
6	-9	0,04675	0,01550	1,18597	0,03032	1996,912	1996,912	2142,265	1996,67	2069,589	1,29756	7,72140	0,06064	11,75786	1,0036	1,00329	0,4054
7	-8	0,04522	0,01225	1,14704	0,02805	2142,265	2142,265	2275,727	2141,953	2208,996	1,29474	7,78555	0,05611	13,04871	1,0041	1,00385	0,4661

8	-7	0,04386	0,00939	1,11265	0,02577	2275,727	2275,727	2397,323	2275,347	2336,525	1,29251	7,83729	0,05154	14,29718	1,0046	1,00436	0,5222
9	-6	0,04268	0,00690	1,08280	0,02353	2397,323	2397,323	2507,174	2396,877	2452,248	1,29072	7,87936	0,04705	15,48321	1,0051	1,00484	0,5737
10	-5	0,04169	0,00479	1,05753	0,02137	2507,174	2507,174	2605,476	2506,667	2556,325	1,28928	7,91378	0,04274	16,58662	1,0055	1,00527	0,6208
11	-4	0,04087	0,00307	1,03683	0,01932	2605,476	2605,476	2692,481	2604,913	2648,979	1,28810	7,94203	0,03864	17,58772	1,0059	1,00567	0,6635
12	-3	0,04024	0,00173	1,02072	0,01740	2692,481	2692,481	2768,493	2691,868	2730,487	1,28714	7,96522	0,03480	18,46823	1,0062	1,00603	0,7022
13	-2	0,03978	0,00077	1,00921	0,01561	2768,493	2768,493	2833,864	2767,836	2801,179	1,28636	7,98420	0,03123	19,21220	1,0065	1,00635	0,737
14	-1	0,03951	0,00019	1,00230	0,01396	2833,864	2833,864	2889	2833,17	2861,432	1,28573	7,99964	0,02793	19,80699	1,0068	1,00665	0,7682
15	0	0,03942	0,00000	1,00000	0,01245	2889	2889	2934,357	2888,275	2911,678	1,28522	8,01205	0,02490	20,24400	1,007	1,00691	0,7961
16	1	0,03951	0,00019	1,00230	0,01107	2934,357	2934,357	2970,44	2933,606	2952,398	1,28483	8,02185	0,02214	20,51923	1,0073	1,00714	0,821
17	2	0,03978	0,00077	1,00921	0,00982	2970,44	2970,44	2997,803	2969,671	2984,121	1,28452	8,02937	0,01964	20,63354	1,0074	1,00735	0,8432
18	3	0,04024	0,00173	1,02072	0,00869	2997,803	2997,803	3017,044	2997,022	3007,424	1,28430	8,03489	0,01738	20,59252	1,0076	1,00753	0,8628
19	4	0,04087	0,00307	1,03683	0,00767	3017,044	3017,044	3028,788	3016,255	3022,916	1,28415	8,03865	0,01534	20,40601	1,0078	1,0077	0,8802
20	5	0,04169	0,00479	1,05753	0,00676	3028,788	3028,788	3033,688	3027,998	3031,238	1,28406	8,04083	0,01352	20,08742	1,0079	1,00784	0,8955
21	6	0,04268	0,00690	1,08280	0,00594	3033,688	3033,688	3032,402	3032,9	3033,045	1,28403	8,04161	0,01188	19,65276	1,008	1,00797	0,909
22	7	0,04386	0,00939	1,11265	0,00521	3032,402	3032,402	3025,589	3031,62	3028,995	1,28404	8,04114	0,01043	19,11971	1,0081	1,00808	0,9209
23	8	0,04522	0,01225	1,14704	0,00457	3025,589	3025,589	3013,894	3024,818	3019,741	1,28411	8,03956	0,00913	18,50658	1,0082	1,00818	0,9313
24	9	0,04675	0,01550	1,18597	0,00399	3013,894	3013,894	2997,938	3013,136	3005,916	1,28421	8,03697	0,00799	17,83148	1,0083	1,00826	0,9405
25	10	0,04846	0,01912	1,22942	0,00349	2997,938	2997,938	2978,312	2997,196	2988,125	1,28435	8,03349	0,00697	17,11159	1,0084	1,00834	0,9485
26	11	0,05035	0,02311	1,27737	0,00304	2978,312	2978,312	2955,565	2977,588	2966,938	1,28453	8,02922	0,00608	16,36265	1,0084	1,00841	0,9554
27	12	0,05242	0,02748	1,32978	0,00264	2955,565	2955,565	2930,207	2954,861	2942,886	1,28473	8,02424	0,00529	15,59857	1,0085	1,00846	0,9615
28	13	0,05466	0,03222	1,38665	0,00230	2930,207	2930,207	2902,702	2929,524	2916,455	1,28496	8,01864	0,00459	14,83134	1,0085	1,00851	0,9668
29	14	0,05708	0,03733	1,44794	0,00199	2902,702	2902,702	2873,467	2902,041	2888,084	1,28521	8,01248	0,00399	14,07092	1,0086	1,00856	0,9714
30	15	0,05967	0,04280	1,51362	0,00173	2873,467	2873,467	2842,874	2872,828	2858,171	1,28548	8,00582	0,00345	13,32535	1,0086	1,0086	0,9754
31	16	0,06243	0,04864	1,58366	0,00149	2842,874	2842,874	2811,254	2842,259	2827,064	1,28577	7,99874	0,00299	12,60090	1,0086	1,00863	0,9788
32	17	0,06536	0,05484	1,65803	0,00129	2811,254	2811,254	2778,893	2810,661	2795,073	1,28607	7,99129	0,00258	11,90224	1,0087	1,00866	0,9818
33	18	0,06846	0,06139	1,73669	0,00111	2778,893	2778,893	2746,042	2778,323	2762,467	1,28639	7,98351	0,00223	11,23269	1,0087	1,00868	0,9844
34	19	0,07173	0,06830	1,81960	0,00096	2746,042	2746,042	2712,915	2745,495	2729,478	1,28672	7,97544	0,00192	10,59439	1,0087	1,0087	0,9866
35	20	0,07516	0,07556	1,90673	0,00083	2712,915	2712,915	2679,696	2712,39	2696,306	1,28706	7,96714	0,00166	9,98856	1,0087	1,00872	0,9886
36	21	0,07876	0,08317	1,99803	0,00071	2679,696	2679,696	2646,541	2679,193	2663,119	1,28741	7,95863	0,00142	9,41561	1,0087	1,00874	0,9902
37	22	0,08252	0,09112	2,09346	0,00061	2646,541	2646,541	2613,579	2646,059	2630,06	1,28777	7,94994	0,00122	8,87537	1,0088	1,00875	0,9916
38	23	0,08645	0,09941	2,19298	0,00052	2613,579	2613,579	2580,917	2613,117	2597,248	1,28814	7,94111	0,00105	8,36723	1,0088	1,00876	0,9929
39	24	0,09053	0,10804	2,29653	0,00045	2580,917	2580,917	2548,646	2580,476	2564,781	1,28851	7,93216	0,00090	7,89022	1,0088	1,00877	0,9939
40	25	0,09477	0,11701	2,40407	0,00039	2548,646	2548,646	2516,836	2548,223	2532,741	1,28889	7,92312	0,00077	7,44312	1,0088	1,00878	0,9948

41	26	0,09916	0,12630	2,51555	0,00033	2516,836	2516,836	2485,545	2516,432	2501,191	1,289268	7,91400	0,00066	7,02457	1,0088	1,00879	0,9956
42	27	0,10371	0,13591	2,63092	0,00028	2485,545	2485,545	2454,819	2485,158	2470,182	1,289652	7,90483	0,00056	6,63312	1,0088	1,00879	0,9962
43	28	0,10841	0,14584	2,75012	0,00024	2454,819	2454,819	2424,692	2454,449	2439,755	1,290039	7,89562	0,00048	6,26725	1,0088	1,0088	0,9968
44	29	0,11326	0,15609	2,87309	0,00021	2424,692	2424,692	2395,188	2424,337	2409,94	1,290428	7,88639	0,00041	5,92543	1,0088	1,0088	0,9973
45	30	0,11825	0,16665	2,99977	0,00018	2395,188	2395,188	2366,327	2394,849	2380,758	1,290818	7,87715	0,00035	5,60618	1,0088	1,00881	0,9977
46	31	0,12339	0,17751	3,13012	0,00015	2366,327	2366,327	2338,119	2366,001	2352,223	1,29121	7,86790	0,00030	5,30802	1,0088	1,00881	0,998
47	32	0,12867	0,18867	3,26406	0,00013	2338,119	2338,119	2310,571	2337,807	2324,345	1,291602	7,85867	0,00025	5,02956	1,0088	1,00881	0,9983
48	33	0,13409	0,20013	3,40154	0,00011	2310,571	2310,571	2283,684	2310,271	2297,127	1,291993	7,84947	0,00022	4,76946	1,0088	1,00882	0,9986
49	34	0,13964	0,21187	3,54248	0,00009	2283,684	2283,684	2257,456	2283,396	2270,57	1,292385	7,84029	0,00018	4,52642	1,0088	1,00882	0,9988
50	35	0,14533	0,22390	3,68684	0,00008	2257,456	2257,456	2231,882	2257,179	2244,669	1,292776	7,83115	0,00016	4,29927	1,0088	1,00882	0,999

Таблица А3 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	P_y	T_y	V_a	z	E2	g	l	m					
20	60	1,23	25	0,9982	2,9572	827,7766	1,0138	0,96	105,1780	0,0173	0,2603	0,24					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	$\gamma(f1)$	X1-2	Tпред	T1	T2	TИстина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-20	0,0773	0,0756	1,9067	0,02109	827,7766	827,7766	986,4455	827,7766	907,1111			0,042181	2,95723	1	1	0
1	-19	0,0738	0,0683	1,8196	0,0273	986,4455	986,4455	1150,124	986,6328	1068,285	1,34222	6,84418	0,054603	3,69338	0,99993	0,99996	0,042181
2	-18	0,0704	0,0614	1,7367	0,02906	1150,124	1150,124	1312,695	1150,968	1231,409	1,32939	7,07187	0,058112	4,51387	0,99983	0,99988	0,096784
3	-17	0,0672	0,0548	1,658	0,02941	1312,695	1312,695	1471,502	1314,677	1392,098	1,31987	7,25259	0,058818	5,39997	0,99973	0,99978	0,154897
4	-16	0,0642	0,0486	1,5837	0,02901	1471,502	1471,502	1625,116	1474,958	1548,309	1,3127	7,39585	0,058012	6,34216	0,99962	0,99968	0,213715
5	-15	0,0614	0,0428	1,5136	0,02814	1625,116	1625,116	1772,683	1630,258	1698,9	1,30719	7,51064	0,056285	7,33356	0,99952	0,99957	0,271727
6	-14	0,0587	0,0373	1,4479	0,02699	1772,683	1772,683	1913,653	1779,628	1843,168	1,30286	7,60377	0,053975	8,36778	0,99942	0,99947	0,328011
7	-13	0,0562	0,0322	1,3867	0,02565	1913,653	1913,653	2047,658	1922,451	1980,656	1,29939	7,68026	0,051302	9,43795	0,99933	0,99938	0,381987
8	-12	0,0539	0,0275	1,3298	0,02421	2047,658	2047,658	2174,438	2058,309	2111,048	1,29657	7,74373	0,048417	10,5361	0,99924	0,99928	0,433289
9	-11	0,0518	0,0231	1,2774	0,02271	2174,438	2174,438	2293,801	2186,908	2234,12	1,29425	7,79688	0,045425	11,6527	0,99915	0,9992	0,481706
10	-10	0,0499	0,0191	1,2294	0,0212	2293,801	2293,801	2405,6	2308,029	2349,701	1,29232	7,84172	0,042405	12,7766	0,99907	0,99911	0,527131
11	-9	0,0481	0,0155	1,186	0,01971	2405,6	2405,6	2509,711	2421,505	2457,655	1,29071	7,87977	0,039415	13,8948	0,999	0,99904	0,569536
12	-8	0,0465	0,0123	1,147	0,01825	2509,711	2509,711	2606,026	2527,197	2557,868	1,28934	7,9122	0,036495	14,9924	0,99893	0,99896	0,608951
13	-7	0,0451	0,0094	1,1126	0,01684	2606,026	2606,026	2694,457	2624,987	2650,241	1,28819	7,93991	0,033676	16,0528	0,99887	0,9989	0,645446
14	-6	0,0439	0,0069	1,0828	0,01549	2694,457	2694,457	2774,927	2714,774	2734,692	1,28721	7,96361	0,030978	17,0584	0,99881	0,99884	0,679122

15	-5	0,0429	0,0048	1,0575	0,01421	2774,927	2774,927	2847,386	2796,476	2811,156	1,28637	7,98386	0,028417	17,9907	0,99875	0,99878	0,7101
16	-4	0,042	0,0031	1,0368	0,013	2847,386	2847,386	2911,812	2870,035	2879,599	1,28567	8,00111	0,025999	18,8316	0,9987	0,99873	0,738517
17	-3	0,0414	0,0017	1,0207	0,01186	2911,812	2911,812	2968,225	2935,425	2940,018	1,28507	8,01571	0,023729	19,5636	0,99866	0,99868	0,764516
18	-2	0,0409	0,0008	1,0092	0,0108	2968,225	2968,225	3016,693	2992,663	2992,459	1,28458	8,02796	0,02161	20,1717	0,99861	0,99863	0,788245
19	-1	0,0406	0,0002	1,0023	0,00982	3016,693	3016,693	3057,343	3041,816	3037,018	1,28417	8,03812	0,019638	20,6435	0,99858	0,9986	0,809855
20	0	0,0406	0	1	0,00891	3057,343	3057,343	3090,365	3083,011	3073,854	1,28383	8,04637	0,017811	20,9705	0,99854	0,99856	0,829493
21	1	0,0406	0,0002	1,0023	0,00806	3090,365	3090,365	3116,015	3116,442	3103,19	1,28357	8,0529	0,016124	21,1485	0,99851	0,99853	0,847303
22	2	0,0409	0,0008	1,0092	0,00729	3116,015	3116,015	3134,613	3142,368	3125,314	1,28337	8,05785	0,014571	21,1778	0,99848	0,9985	0,863427
23	3	0,0414	0,0017	1,0207	0,00657	3134,613	3134,613	3146,539	3161,116	3140,576	1,28323	8,06137	0,013145	21,0634	0,99846	0,99847	0,877998
24	4	0,042	0,0031	1,0368	0,00592	3146,539	3146,539	3152,225	3173,074	3149,382	1,28314	8,06358	0,01184	20,8141	0,99843	0,99844	0,891143
25	5	0,0429	0,0048	1,0575	0,00532	3152,225	3152,225	3152,142	3178,682	3152,184	1,2831	8,06458	0,010648	20,4423	0,99841	0,99842	0,902983
26	6	0,0439	0,0069	1,0828	0,00478	3152,142	3152,142	3146,792	3178,422	3149,467	1,28311	8,06448	0,009562	19,9631	0,99839	0,9984	0,913631
27	7	0,0451	0,0094	1,1126	0,00429	3146,792	3146,792	3136,691	3172,804	3141,741	1,28315	8,06337	0,008575	19,393	0,99838	0,99839	0,923194
28	8	0,0465	0,0123	1,147	0,00384	3136,691	3136,691	3122,357	3162,356	3129,524	1,28323	8,06135	0,00768	18,7492	0,99836	0,99837	0,931769
29	9	0,0481	0,0155	1,186	0,00343	3122,357	3122,357	3104,302	3147,607	3113,33	1,28335	8,0585	0,006869	18,0489	0,99835	0,99835	0,939448
30	10	0,0499	0,0191	1,2294	0,00307	3104,302	3104,302	3083,021	3129,077	3093,662	1,28349	8,0549	0,006135	17,3084	0,99834	0,99834	0,946317
31	11	0,0518	0,0231	1,2774	0,00274	3083,021	3083,021	3058,982	3107,272	3071,002	1,28366	8,05061	0,005474	16,5424	0,99833	0,99833	0,952452
32	12	0,0539	0,0275	1,3298	0,00244	3058,982	3058,982	3032,623	3082,667	3045,803	1,28386	8,04572	0,004878	15,7643	0,99832	0,99832	0,957926
33	13	0,0562	0,0322	1,3867	0,00217	3032,623	3032,623	3004,348	3055,709	3018,486	1,28408	8,04028	0,004342	14,9855	0,99831	0,99831	0,962804
34	14	0,0587	0,0373	1,4479	0,00193	3004,348	3004,348	2974,524	3026,809	2989,436	1,28432	8,03436	0,003861	14,2154	0,9983	0,9983	0,967146
35	15	0,0614	0,0428	1,5136	0,00171	2974,524	2974,524	2943,481	2996,341	2959,003	1,28458	8,028	0,003429	13,4615	0,99829	0,9983	0,971007
36	16	0,0642	0,0486	1,5837	0,00152	2943,481	2943,481	2911,515	2964,641	2927,498	1,28485	8,02126	0,003042	12,73	0,99829	0,99829	0,974436
37	17	0,0672	0,0548	1,658	0,00135	2911,515	2911,515	2878,883	2932,007	2895,199	1,28514	8,01419	0,002697	12,0251	0,99828	0,99828	0,977478
38	18	0,0704	0,0614	1,7367	0,00119	2878,883	2878,883	2845,813	2898,703	2862,348	1,28544	8,00683	0,002388	11,35	0,99828	0,99828	0,980175
39	19	0,0738	0,0683	1,8196	0,00106	2845,813	2845,813	2812,501	2864,96	2829,157	1,28575	7,99922	0,002112	10,7066	0,99827	0,99827	0,982563
40	20	0,0773	0,0756	1,9067	0,00093	2812,501	2812,501	2779,116	2830,977	2795,809	1,28607	7,99138	0,001867	10,0962	0,99827	0,99827	0,984675
41	21	0,081	0,0832	1,998	0,00082	2779,116	2779,116	2745,801	2796,925	2762,459	1,28639	7,98336	0,001649	9,51888	0,99827	0,99827	0,986542
42	22	0,0849	0,0911	2,0935	0,00073	2745,801	2745,801	2712,679	2762,95	2729,24	1,28673	7,97519	0,001454	8,97457	0,99826	0,99826	0,988191
43	23	0,0889	0,0994	2,193	0,00064	2712,679	2712,679	2679,849	2729,174	2696,264	1,28707	7,96688	0,001282	8,46255	0,99826	0,99826	0,989645
44	24	0,0931	0,108	2,2965	0,00056	2679,849	2679,849	2647,397	2695,701	2663,623	1,28742	7,95846	0,001129	7,98184	0,99826	0,99826	0,990927
45	25	0,0975	0,117	2,4041	0,0005	2647,397	2647,397	2615,391	2662,617	2631,394	1,28777	7,94995	0,000993	7,53119	0,99826	0,99826	0,992056
46	26	0,102	0,1263	2,5156	0,00044	2615,391	2615,391	2583,887	2629,99	2599,639	1,28813	7,94137	0,000873	7,10922	0,99825	0,99825	0,99305
47	27	0,1067	0,1359	2,6309	0,00038	2583,887	2583,887	2552,929	2597,877	2568,408	1,28849	7,93275	0,000767	6,71448	0,99825	0,99825	0,993923

48	28	0,1115	0,1458	2,7501	0,00034	2552,929	2552,929	2522,552	2566,323	2537,74	1,28885	7,92408	0,000674	6,34543	0,99825	0,99825	0,99469
49	29	0,1165	0,1561	2,8731	0,0003	2522,552	2522,552	2492,78	2535,362	2507,666	1,28921	7,9154	0,000591	6,00055	0,99825	0,99825	0,995364
50	30	0,1216	0,1666	2,9998	0,00026	2492,78	2492,78	2463,634	2505,02	2478,207	1,28957	7,9067	0,000518	5,67835	0,99825	0,99825	0,995955
51	31	0,1269	0,1775	3,1301	0,00023	2463,634	2463,634	2435,125	2475,317	2449,38	1,28994	7,898	0,000454	5,37736	0,99825	0,99825	0,996473
52	32	0,1324	0,1887	3,2641	0,0002	2435,125	2435,125	2407,261	2446,265	2421,193	1,2903	7,88931	0,000397	5,09617	0,99825	0,99825	0,996926
53	33	0,1379	0,2001	3,4015	0,00017	2407,261	2407,261	2380,045	2417,87	2393,653	1,29067	7,88065	0,000347	4,83344	0,99825	0,99825	0,997323
54	34	0,1437	0,2119	3,5425	0,00015	2380,045	2380,045	2353,477	2390,137	2366,761	1,29104	7,87201	0,000303	4,58789	0,99825	0,99825	0,99767
55	35	0,1495	0,2239	3,6868	0,00013	2353,477	2353,477	2327,552	2363,065	2340,515	1,2914	7,8634	0,000265	4,35833	0,99825	0,99825	0,997974
56	36	0,1555	0,2362	3,8345	0,00012	2327,552	2327,552	2302,266	2336,649	2314,909	1,29177	7,85483	0,000231	4,14362	0,99824	0,99825	0,998238
57	37	0,1616	0,2488	3,9855	0,0001	2302,266	2302,266	2277,61	2310,884	2289,938	1,29213	7,84631	0,000202	3,94271	0,99824	0,99824	0,99847
58	38	0,1679	0,2616	4,1396	8,8E-05	2277,61	2277,61	2253,574	2285,762	2265,592	1,29249	7,83784	0,000176	3,75461	0,99824	0,99824	0,998671
59	39	0,1742	0,2747	4,2969	7,7E-05	2253,574	2253,574	2230,148	2261,272	2241,861	1,29285	7,82942	0,000153	3,57842	0,99824	0,99824	0,998847
60	40	0,1807	0,2881	4,4573	6,7E-05	2230,148	2230,148	2207,32	2237,404	2218,734	1,29321	7,82106	0,000133	3,41328	0,99824	0,99824	0,999

Таблица А4 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 5200 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
24	70	1,3	25	0,987	2,231	760,289	1,027	0,97	99,557	0,017	0,260	0,26					
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	-24	0,0943	0,108	2,2965	0,01608	760,289	760,2895	885,61	760,289	822,949			0,03217	2,23063	1	1	0
1	-23	0,0901	0,0994	2,193	0,02158	885,608	885,6084	1018,1	885,766	951,862	1,3511	6,696334	0,043154	2,72093	0,9996	0,999798	0,03217
2	-22	0,086	0,0911	2,0935	0,02352	1018,12	1018,116	1152,5	1018,87	1085,3	1,33839	6,910308	0,047044	3,27705	0,99906	0,999326	0,075324
3	-21	0,0821	0,0832	1,998	0,02432	1152,48	1152,481	1286,3	1154,33	1219,4	1,32845	7,089157	0,048647	3,88786	0,99847	0,998761	0,122368
4	-20	0,0783	0,0756	1,9067	0,02449	1286,31	1286,309	1418,3	1289,62	1352,29	1,32068	7,236758	0,048973	4,54879	0,99786	0,998162	0,171015
5	-19	0,0748	0,0683	1,8196	0,02424	1418,27	1418,271	1547,5	1423,32	1482,9	1,31452	7,358985	0,048475	5,25754	0,99724	0,99755	0,219988
6	-18	0,0713	0,0614	1,7367	0,02371	1547,54	1547,535	1673,5	1554,5	1610,53	1,30955	7,460987	0,047418	6,01254	0,99664	0,99694	0,268463
7	-17	0,0681	0,0548	1,658	0,02298	1673,53	1673,535	1795,9	1682,52	1734,7	1,30549	7,54685	0,045969	6,81234	0,99604	0,996339	0,315881
8	-16	0,0651	0,0486	1,5837	0,02212	1795,86	1795,857	1914,2	1806,92	1855,02	1,30213	7,619738	0,04425	7,6551	0,99547	0,995754	0,36185
9	-15	0,0622	0,0428	1,5136	0,02117	1914,19	1914,188	2028,3	1927,36	1971,23	1,29931	7,682088	0,042347	8,5383	0,99491	0,995188	0,4061
10	-14	0,0595	0,0373	1,4479	0,02016	2028,27	2028,268	2137,9	2043,53	2083,07	1,29692	7,735786	0,040326	9,45845	0,99438	0,994646	0,448446
11	-13	0,057	0,0322	1,3867	0,01912	2137,87	2137,875	2242,8	2155,19	2190,34	1,29488	7,782306	0,038238	10,4108	0,99387	0,994128	0,488772

12	-12	0,0546	0,0275	1,3298	0,01806	2242,8	2242,805	2342,9	2262,13	2292,83	1,29313	7,822804	0,036123	11,389	0,9934	0,993635	0,52701
13	-11	0,0525	0,0231	1,2774	0,01701	2342,86	2342,86	2437,8	2364,13	2390,35	1,29162	7,858198	0,034012	12,3851	0,99294	0,993169	0,563134
14	-10	0,0505	0,0191	1,2294	0,01596	2437,84	2437,842	2527,5	2460,98	2482,69	1,29031	7,889218	0,031929	13,3893	0,99252	0,99273	0,597146
15	-9	0,0487	0,0155	1,186	0,01495	2527,55	2527,547	2611,8	2552,45	2569,66	1,28917	7,916454	0,029891	14,3898	0,99212	0,992317	0,629074
16	-8	0,0471	0,0123	1,147	0,01396	2611,77	2611,766	2690,3	2638,34	2651,03	1,28817	7,940379	0,027914	15,3728	0,99174	0,99193	0,658965
17	-7	0,0457	0,0094	1,1126	0,013	2690,29	2690,286	2762,9	2718,42	2726,59	1,2873	7,961379	0,026007	16,3231	0,99139	0,991567	0,686879
18	-6	0,0445	0,0069	1,0828	0,01209	2762,9	2762,896	2829,4	2792,46	2796,14	1,28654	7,97977	0,024179	17,2239	0,99107	0,991229	0,712887
19	-5	0,0434	0,0048	1,0575	0,01122	2829,39	2829,394	2889,6	2860,26	2859,49	1,28589	7,995812	0,022435	18,058	0,99076	0,990915	0,737066
20	-4	0,0426	0,0031	1,0368	0,01039	2889,6	2889,596	2943,3	2921,62	2916,47	1,28532	8,009719	0,020777	18,8081	0,99048	0,990623	0,759501
21	-3	0,0419	0,0017	1,0207	0,0096	2943,35	2943,349	2990,5	2976,39	2966,95	1,28483	8,021673	0,019208	19,4577	0,99022	0,990352	0,780278
22	-2	0,0415	0,0008	1,0092	0,00886	2990,54	2990,543	3031,1	3024,44	3010,83	1,28442	8,031827	0,017728	19,9923	0,98998	0,990102	0,799486
23	-1	0,0412	0,0002	1,0023	0,00817	3031,12	3031,119	3065,1	3065,73	3048,1	1,28408	8,040315	0,016336	20,4002	0,98976	0,98987	0,817214
24	0	0,0411	0	1	0,00752	3065,08	3065,081	3092,5	3100,25	3078,79	1,2838	8,047254	0,01503	20,6729	0,98955	0,989657	0,83355
25	1	0,0412	0,0002	1,0023	0,0069	3092,5	3092,502	3113,5	3128,07	3103,01	1,28358	8,05275	0,013809	20,8064	0,98937	0,98946	0,84858
26	2	0,0415	0,0008	1,0092	0,00634	3113,53	3113,525	3128,4	3149,35	3120,95	1,28341	8,0569	0,01267	20,8007	0,98919	0,98928	0,86239
27	3	0,0419	0,0017	1,0207	0,0058	3128,37	3128,365	3137,3	3164,3	3132,83	1,28329	8,059796	0,01161	20,6603	0,98903	0,989114	0,87506
28	4	0,0426	0,0031	1,0368	0,00531	3137,3	3137,302	3140,7	3173,21	3138,99	1,28322	8,061525	0,010624	20,3935	0,98889	0,988961	0,88667
29	5	0,0434	0,0048	1,0575	0,00486	3140,67	3140,675	3138,9	3176,43	3139,77	1,2832	8,062169	0,009711	20,0118	0,98876	0,988822	0,897294
30	6	0,0445	0,0069	1,0828	0,00443	3138,87	3138,868	3132,3	3174,36	3135,59	1,28321	8,06181	0,008865	19,5294	0,98863	0,988695	0,907005
31	7	0,0457	0,0094	1,1126	0,00404	3132,3	3132,303	3121,4	3167,42	3126,86	1,28327	8,060525	0,008084	18,9619	0,98852	0,988578	0,91587
32	8	0,0471	0,0123	1,147	0,00368	3121,42	3121,422	3106,7	3156,07	3114,05	1,28335	8,058389	0,007364	18,3254	0,98842	0,988472	0,923955
33	9	0,0487	0,0155	1,186	0,00335	3106,68	3106,679	3088,5	3140,79	3097,6	1,28347	8,055476	0,006701	17,6363	0,98833	0,988375	0,931319
34	10	0,0505	0,0191	1,2294	0,00305	3088,52	3088,524	3067,4	3122,02	3077,96	1,28361	8,051855	0,006091	16,9098	0,98825	0,988287	0,93802
35	11	0,0525	0,0231	1,2774	0,00277	3067,4	3067,398	3043,7	3100,22	3055,56	1,28378	8,047592	0,005532	16,1602	0,98817	0,988207	0,944111
36	12	0,0546	0,0275	1,3298	0,00251	3043,72	3043,723	3017,9	3075,82	3030,81	1,28398	8,042749	0,005018	15,3999	0,9881	0,988134	0,949643
37	13	0,057	0,0322	1,3867	0,00227	3017,89	3017,894	2990,3	3049,23	3004,09	1,2842	8,037387	0,004548	14,6397	0,98804	0,988068	0,954661
38	14	0,0595	0,0373	1,4479	0,00206	2990,28	2990,279	2961,2	3020,82	2975,75	1,28443	8,03156	0,004119	13,8885	0,98798	0,988008	0,95921
39	15	0,0622	0,0428	1,5136	0,00186	2961,21	2961,213	2931	2990,94	2946,11	1,28468	8,025319	0,003726	13,1537	0,98793	0,987954	0,963328
40	16	0,0651	0,0486	1,5837	0,00168	2931	2930,999	2899,9	2959,9	2915,45	1,28495	8,018712	0,003368	12,4409	0,98788	0,987905	0,967055
41	17	0,0681	0,0548	1,658	0,00152	2899,91	2899,91	2868,2	2927,97	2884,05	1,28523	8,011782	0,003042	11,7541	0,98784	0,98786	0,970423
42	18	0,0713	0,0614	1,7367	0,00137	2868,18	2868,184	2836	2895,39	2852,11	1,28553	8,00457	0,002745	11,0965	0,9878	0,98782	0,973465
43	19	0,0748	0,0683	1,8196	0,00124	2836,03	2836,033	2803,6	2862,39	2819,84	1,28583	7,997111	0,002475	10,4697	0,98777	0,987784	0,976211
44	20	0,0783	0,0756	1,9067	0,00112	2803,64	2803,639	2771,2	2829,16	2787,4	1,28615	7,98944	0,00223	9,87498	0,98774	0,987751	0,978686

45	21	0,0821	0,0832	1,998	0,001	2771,16	2771,16	2738,7	2795,84	2754,95	1,28647	7,981585	0,002008	9,31248	0,98771	0,987722	0,980916
46	22	0,086	0,0911	2,0935	0,0009	2738,73	2738,733	2706,5	2762,58	2722,6	1,2868	7,973576	0,001806	8,78201	0,98768	0,987695	0,982924
47	23	0,0901	0,0994	2,193	0,00081	2706,47	2706,47	2674,5	2729,5	2690,47	1,28713	7,965435	0,001624	8,28289	0,98766	0,987671	0,98473
48	24	0,0943	0,108	2,2965	0,00073	2674,47	2674,469	2642,8	2696,69	2658,64	1,28747	7,957186	0,001458	7,81416	0,98764	0,98765	0,986354
49	25	0,0988	0,117	2,4041	0,00065	2642,81	2642,811	2611,6	2664,24	2627,19	1,28782	7,948848	0,001309	7,37463	0,98762	0,98763	0,987812
50	26	0,1033	0,1263	2,5156	0,00059	2611,56	2611,561	2580,8	2632,21	2596,17	1,28817	7,94044	0,001174	6,96296	0,9876	0,987613	0,989121
51	27	0,1081	0,1359	2,6309	0,00053	2580,77	2580,773	2550,5	2600,65	2565,63	1,28852	7,931978	0,001053	6,57773	0,98759	0,987598	0,990296
52	28	0,113	0,1458	2,7501	0,00047	2550,49	2550,492	2520,8	2569,62	2535,62	1,28887	7,923477	0,000943	6,21747	0,98758	0,987584	0,991348
53	29	0,118	0,1561	2,8731	0,00042	2520,75	2520,75	2491,6	2539,15	2506,16	1,28923	7,914949	0,000844	5,8807	0,98757	0,987571	0,992291
54	30	0,1232	0,1666	2,9998	0,00038	2491,58	2491,575	2463	2509,26	2477,28	1,28959	7,906407	0,000755	5,56598	0,98755	0,98756	0,993135
55	31	0,1286	0,1775	3,1301	0,00034	2462,99	2462,986	2435	2479,97	2448,99	1,28994	7,897862	0,000675	5,27188	0,98755	0,98755	0,99389
56	32	0,1341	0,1887	3,2641	0,0003	2435	2434,997	2407,6	2451,3	2421,31	1,2903	7,889322	0,000603	4,99705	0,98754	0,987541	0,994565
57	33	0,1397	0,2001	3,4015	0,00027	2407,62	2407,615	2380,8	2423,25	2394,23	1,29066	7,880797	0,000538	4,74019	0,98753	0,987533	0,995168
58	34	0,1455	0,2119	3,5425	0,00024	2380,85	2380,847	2354,7	2395,83	2367,77	1,29102	7,872294	0,00048	4,50005	0,98752	0,987526	0,995706
59	35	0,1515	0,2239	3,6868	0,00021	2354,69	2354,693	2329,2	2369,04	2341,92	1,29138	7,863821	0,000428	4,27549	0,98752	0,987519	0,996187
60	36	0,1575	0,2362	3,8345	0,00019	2329,15	2329,151	2304,2	2342,88	2316,68	1,29174	7,855383	0,000382	4,0654	0,98751	0,987514	0,996615
61	37	0,1637	0,2488	3,9855	0,00017	2304,22	2304,218	2279,9	2317,35	2292,05	1,2921	7,846985	0,00034	3,86876	0,98751	0,987509	0,996997
62	38	0,1701	0,2616	4,1396	0,00015	2279,89	2279,887	2256,2	2292,43	2268,02	1,29246	7,838634	0,000303	3,68462	0,9875	0,987504	0,997337
63	39	0,1765	0,2747	4,2969	0,00013	2256,15	2256,15	2233	2268,12	2244,57	1,29281	7,830333	0,000269	3,51209	0,9875	0,9875	0,99764
64	40	0,1831	0,2881	4,4573	0,00012	2233	2232,998	2210,4	2244,41	2221,71	1,29317	7,822087	0,00024	3,35035	0,98749	0,987496	0,99791
65	41	0,1898	0,3017	4,6206	0,00011	2210,42	2210,422	2188,4	2221,3	2199,42	1,29352	7,813898	0,000213	3,19862	0,98749	0,987493	0,998149
66	42	0,1967	0,3156	4,7868	9,5E-05	2188,41	2188,409	2166,9	2198,76	2177,68	1,29387	7,80577	0,000189	3,0562	0,98749	0,98749	0,998362

Таблица А5 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	P_y	T_y	V_a	z	E2	g	l	m					
28	75	1,32	25	0,9843	1,6770	709,6425	1,0654	0,91	88,7785	0,0167	0,260274	0,28					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	$V_{ст}$	s	$y(f1)$	X1-2	$T_{пред}$	T1	T2	$T_{2ист}$	T1-2	k1-2	K1-2	D_{X1-2}	P	m	m_{1-2}	X
0	-28	0,1172	0,14584	2,75012	0,013561	709,64	709,64	813,63	709,64	761,64			0,027122	1,677049	1	1	0
1	-27	0,11212	0,13591	2,63092	0,018735	813,63	813,63	925,37	813,75	869,50	1,359	6,58	0,03747	2,00978	0,999582	0,999791	0,027122

2	-26	0,1072	0,1263	2,51555	0,020771	925,37	925,37	1040,09	925,97	982,73	1,346	6,78	0,041542	2,390623	0,999005	0,999293	0,064591
3	-25	0,10245	0,11701	2,40407	0,021775	1040,09	1040,09	1155,58	1041,60	1097,84	1,336	6,95	0,043551	2,812143	0,998365	0,998685	0,106134
4	-24	0,09787	0,10804	2,29653	0,02219	1155,58	1155,58	1270,60	1158,35	1213,09	1,328	7,10	0,044381	3,271663	0,997694	0,998029	0,149684
5	-23	0,09346	0,09941	2,19298	0,022217	1270,60	1270,60	1384,36	1274,91	1327,48	1,321	7,23	0,044433	3,768332	0,99701	0,997352	0,194065
6	-22	0,08921	0,09112	2,09346	0,021969	1384,36	1384,36	1496,34	1390,40	1440,35	1,316	7,34	0,043938	4,302123	0,996325	0,996667	0,238498
7	-21	0,08515	0,08317	1,99803	0,021523	1496,34	1496,34	1606,15	1504,26	1551,24	1,311	7,43	0,043046	4,873378	0,995648	0,995987	0,282437
8	-20	0,08126	0,07556	1,90673	0,020931	1606,15	1606,15	1713,52	1616,04	1659,83	1,307	7,51	0,041862	5,482537	0,994985	0,995316	0,325483
9	-19	0,07754	0,0683	1,8196	0,020233	1713,52	1713,52	1818,22	1725,44	1765,87	1,304	7,57	0,040467	6,129942	0,99434	0,994662	0,367345
10	-18	0,07401	0,06139	1,73669	0,01946	1818,22	1818,22	1920,08	1832,20	1869,15	1,301	7,63	0,038919	6,815656	0,993716	0,994028	0,407812
11	-17	0,07066	0,05484	1,65803	0,018634	1920,08	1920,08	2018,94	1936,13	1969,51	1,299	7,69	0,037268	7,539291	0,993117	0,993416	0,446731
12	-16	0,06749	0,04864	1,58366	0,017775	2018,94	2018,94	2114,64	2037,04	2066,79	1,297	7,73	0,03555	8,299821	0,992542	0,992829	0,483999
13	-15	0,0645	0,0428	1,51362	0,016898	2114,64	2114,64	2207,05	2134,77	2160,84	1,295	7,77	0,033796	9,095379	0,991995	0,992268	0,519549
14	-14	0,0617	0,03733	1,44794	0,016015	2207,05	2207,05	2296,01	2229,17	2251,53	1,294	7,81	0,03203	9,923053	0,991474	0,991734	0,553345
15	-13	0,05909	0,03222	1,38665	0,015137	2296,01	2296,01	2381,36	2320,07	2338,69	1,292	7,84	0,030273	10,77866	0,99098	0,991227	0,585375
16	-12	0,05667	0,02748	1,32978	0,01427	2381,36	2381,36	2462,93	2407,31	2422,14	1,291	7,87	0,02854	11,65656	0,990514	0,990747	0,615648
17	-11	0,05444	0,02311	1,27737	0,013421	2462,93	2462,93	2540,51	2490,69	2501,72	1,290	7,90	0,026842	12,54946	0,990074	0,990294	0,644188
18	-10	0,05239	0,01912	1,22942	0,012596	2540,51	2540,51	2613,89	2570,00	2577,20	1,289	7,92	0,025191	13,44829	0,989661	0,989867	0,671103
19	-9	0,05054	0,0155	1,18597	0,011797	2613,89	2613,89	2682,86	2645,03	2648,38	1,288	7,94	0,023594	14,34216	0,989272	0,989466	0,696222
20	-8	0,04888	0,01225	1,14704	0,011028	2682,86	2682,86	2747,16	2715,54	2715,01	1,287	7,96	0,022056	15,21845	0,988909	0,989091	0,719816
21	-7	0,04742	0,00939	1,11265	0,010291	2747,16	2747,16	2806,56	2781,28	2776,86	1,287	7,97	0,020581	16,06299	0,988569	0,988739	0,741872
22	-6	0,04614	0,0069	1,0828	0,009587	2806,56	2806,56	2860,83	2842,00	2833,70	1,286	7,99	0,019173	16,86043	0,988252	0,98841	0,762453
23	-5	0,04507	0,00479	1,05753	0,008916	2860,83	2860,83	2909,74	2897,45	2885,29	1,286	8,00	0,017832	17,59481	0,987956	0,988104	0,781626
24	-4	0,04419	0,00307	1,03683	0,00828	2909,74	2909,74	2953,12	2947,42	2931,43	1,285	8,01	0,01656	18,25024	0,987682	0,987819	0,799459
25	-3	0,0435	0,00173	1,02072	0,007678	2953,12	2953,12	2990,80	2991,70	2971,96	1,285	8,02	0,015357	18,81171	0,987426	0,987554	0,816019
26	-2	0,04301	0,00077	1,00921	0,00711	2990,80	2990,80	3022,70	3030,15	3006,75	1,284	8,03	0,014221	19,26597	0,98719	0,987308	0,831376
27	-1	0,04271	0,00019	1,0023	0,006576	3022,70	3022,70	3048,77	3062,65	3035,73	1,284	8,04	0,013151	19,60236	0,986971	0,98708	0,845596
28	0	0,04262	0	1	0,006073	3048,77	3048,77	3069,07	3089,19	3058,92	1,284	8,04	0,012147	19,81351	0,986768	0,986869	0,858747
29	1	0,04271	0,00019	1,0023	0,005602	3069,07	3069,07	3083,68	3109,79	3076,37	1,284	8,05	0,011205	19,89587	0,986581	0,986675	0,870894
30	2	0,04301	0,00077	1,00921	0,005162	3083,68	3083,68	3092,78	3124,56	3088,23	1,284	8,05	0,010324	19,84989	0,986408	0,986495	0,882099
31	3	0,0435	0,00173	1,02072	0,004751	3092,78	3092,78	3096,62	3133,68	3094,70	1,284	8,05	0,009502	19,68001	0,986249	0,986329	0,892423
32	4	0,04419	0,00307	1,03683	0,004368	3096,62	3096,62	3095,49	3137,40	3096,05	1,284	8,05	0,008735	19,39425	0,986103	0,986176	0,901925
33	5	0,04507	0,00479	1,05753	0,004011	3095,49	3095,49	3089,73	3136,02	3092,61	1,284	8,05	0,008022	19,00362	0,985968	0,986036	0,91066
34	6	0,04614	0,0069	1,0828	0,00368	3089,73	3089,73	3079,73	3129,89	3084,73	1,284	8,05	0,007359	18,52137	0,985845	0,985906	0,918682

35	7	0,04742	0,00939	1,11265	0,003372	3079,73	3079,73	3065,88	3119,42	3072,80	1,284	8,05	0,006744	17,96213	0,985731	0,985788	0,926041
36	8	0,04888	0,01225	1,14704	0,003087	3065,88	3065,88	3048,60	3105,01	3057,24	1,284	8,05	0,006175	17,34112	0,985627	0,985679	0,932785
37	9	0,05054	0,0155	1,18597	0,002824	3048,60	3048,60	3028,30	3087,09	3038,45	1,284	8,04	0,005648	16,67338	0,985532	0,98558	0,93896
38	10	0,05239	0,01912	1,22942	0,002581	3028,30	3028,30	3005,39	3066,08	3016,84	1,284	8,04	0,005162	15,97318	0,985445	0,985489	0,944608
39	11	0,05444	0,02311	1,27737	0,002356	3005,39	3005,39	2980,24	3042,39	2992,82	1,284	8,03	0,004713	15,25359	0,985366	0,985405	0,94977
40	12	0,05667	0,02748	1,32978	0,00215	2980,24	2980,24	2953,23	3016,43	2966,74	1,285	8,03	0,004299	14,52614	0,985293	0,985329	0,954483
41	13	0,05909	0,03222	1,38665	0,001959	2953,23	2953,23	2924,69	2988,56	2938,96	1,285	8,02	0,003918	13,80074	0,985227	0,98526	0,958782
42	14	0,0617	0,03733	1,44794	0,001784	2924,69	2924,69	2894,93	2959,13	2909,81	1,285	8,02	0,003568	13,08558	0,985166	0,985197	0,9627
43	15	0,0645	0,0428	1,51362	0,001624	2894,93	2894,93	2864,21	2928,45	2879,57	1,285	8,01	0,003247	12,38726	0,985111	0,985139	0,966269
44	16	0,06749	0,04864	1,58366	0,001476	2864,21	2864,21	2832,79	2896,81	2848,50	1,286	8,00	0,002952	11,71087	0,985061	0,985086	0,969516
45	17	0,07066	0,05484	1,65803	0,001341	2832,79	2832,79	2800,89	2864,46	2816,84	1,286	8,00	0,002682	11,06014	0,985016	0,985039	0,972468
46	18	0,07401	0,06139	1,73669	0,001217	2800,89	2800,89	2768,70	2831,62	2784,80	1,286	7,99	0,002435	10,43769	0,984975	0,984995	0,97515
47	19	0,07754	0,0683	1,8196	0,001104	2768,70	2768,70	2736,38	2798,49	2752,54	1,286	7,98	0,002209	9,845119	0,984937	0,984956	0,977585
48	20	0,08126	0,07556	1,90673	0,001001	2736,38	2736,38	2704,07	2765,23	2720,22	1,287	7,97	0,002002	9,283264	0,984903	0,98492	0,979794
49	21	0,08515	0,08317	1,99803	0,000907	2704,07	2704,07	2671,89	2732,00	2687,98	1,287	7,96	0,001814	8,752299	0,984872	0,984888	0,981796
50	22	0,08921	0,09112	2,09346	0,000821	2671,89	2671,89	2639,95	2698,91	2655,92	1,287	7,96	0,001642	8,251904	0,984844	0,984858	0,98361
51	23	0,09346	0,09941	2,19298	0,000742	2639,95	2639,95	2608,33	2666,07	2624,14	1,288	7,95	0,001485	7,781374	0,984819	0,984832	0,985251
52	24	0,09787	0,10804	2,29653	0,000671	2608,33	2608,33	2577,11	2633,57	2592,72	1,288	7,94	0,001342	7,339729	0,984796	0,984807	0,986736
53	25	0,10245	0,11701	2,40407	0,000606	2577,11	2577,11	2546,33	2601,47	2561,72	1,289	7,93	0,001212	6,925789	0,984775	0,984786	0,988079
54	26	0,1072	0,1263	2,51555	0,000547	2546,33	2546,33	2516,04	2569,83	2531,18	1,289	7,92	0,001095	6,53825	0,984757	0,984766	0,989291
55	27	0,11212	0,13591	2,63092	0,000494	2516,04	2516,04	2486,28	2538,71	2501,16	1,289	7,91	0,000987	6,175733	0,98474	0,984748	0,990386
56	28	0,1172	0,14584	2,75012	0,000445	2486,28	2486,28	2457,09	2508,14	2471,69	1,290	7,91	0,00089	5,836824	0,984725	0,984732	0,991373
57	29	0,12244	0,15609	2,87309	0,000401	2457,09	2457,09	2428,47	2478,15	2442,78	1,290	7,90	0,000802	5,520111	0,984711	0,984718	0,992263
58	30	0,12784	0,16665	2,99977	0,000361	2428,47	2428,47	2400,46	2448,76	2414,47	1,290	7,89	0,000722	5,224206	0,984699	0,984705	0,993065
59	31	0,13339	0,17751	3,13012	0,000325	2400,46	2400,46	2373,04	2419,98	2386,75	1,291	7,88	0,00065	4,947759	0,984687	0,984693	0,993787
60	32	0,1391	0,18867	3,26406	0,000292	2373,04	2373,04	2346,24	2391,82	2359,64	1,291	7,87	0,000584	4,689475	0,984677	0,984682	0,994437
61	33	0,14496	0,20013	3,40154	0,000263	2346,24	2346,24	2320,051	2364,30	2333,145	1,291	7,86	0,000525	4,448119	0,984668	0,984673	0,995022
62	34	0,15097	0,21187	3,54248	0,000236	2320,05	2320,05	2294,47	2337,41	2307,26	1,292	7,85	0,000472	4,222521	0,98466	0,984664	0,995547
63	35	0,15712	0,2239	3,68684	0,000212	2294,47	2294,47	2269,50	2311,15	2281,99	1,292	7,84	0,000424	4,01158	0,984653	0,984657	0,996019
64	36	0,16341	0,23621	3,83453	0,00019	2269,50	2269,50	2245,14	2285,51	2257,32	1,293	7,84	0,00038	3,814261	0,984646	0,98465	0,996443
65	37	0,16984	0,24879	3,98548	0,00017	2245,14	2245,14	2221,37	2260,49	2233,25	1,293	7,83	0,000341	3,629597	0,984641	0,984644	0,996823
66	38	0,17641	0,26164	4,13964	0,000153	2221,37	2221,37	2198,18	2236,09	2209,77	1,293	7,82	0,000306	3,456688	0,984635	0,984638	0,997164
67	39	0,18312	0,27474	4,29693	0,000137	2198,18	2198,18	2175,57	2212,29	2186,87	1,294	7,81	0,000274	3,294695	0,984631	0,984633	0,997469

68	40	0,18995	0,28811	4,45728	0,000123	2175,57	2175,57	2153,53	2189,08	2164,55	1,294	7,80	0,000245	3,142838	0,984626	0,984629	0,997743
69	41	0,19691	0,30172	4,62061	0,00011	2153,53	2153,53	2132,03	2166,46	2142,78	1,294	7,79	0,000219	3,000397	0,984623	0,984625	0,997988
70	42	0,20399	0,31557	4,78685	9,81E-05	2132,03	2132,03	2111,09	2144,40	2121,56	1,295	7,78	0,000196	2,866701	0,984619	0,984621	0,998207

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

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

$\varphi_{кв}$, град	$\varphi_{кв}$, рад	S_X , мм	V_X , м/с	W_{X1} , м/с ²	W_{X2} , м/с ²	W_X , м/с ²
0	0	0	0	15001,8	3904,578	18906,4
10	0,175	0,726	5,209	14773,9	3669,103	18443
20	0,349	2,87	10,16	14097,1	2991,08	17088,2
30	0,524	6,327	14,63	12991,9	1952,289	14944,2
40	0,698	10,93	18,41	11492	678,0228	12170,1
50	0,873	16,48	21,35	9642,97	-678,023	8964,95
60	1,047	22,71	23,37	7500,9	-1952,29	5548,61
70	1,222	29,37	24,43	5130,92	-2991,08	2139,84
80	1,396	36,2	24,58	2605,04	-3669,1	-1064,1
90	1,571	42,95	23,88	9,2E-13	-3904,58	-3904,6
100	1,745	49,39	22,45	-2605,04	-3669,1	-6274,1
110	1,92	55,36	20,44	-5130,92	-2991,08	-8122
120	2,094	60,71	17,99	-7500,9	-1952,29	-9453,2
130	2,269	65,33	15,23	-9642,97	-678,023	-10321
140	2,443	69,15	12,29	-11492	678,0228	-10814
150	2,618	72,15	9,247	-12991,9	1952,289	-11040
160	2,793	74,29	6,169	-14097,1	2991,08	-11106
170	2,967	75,57	3,083	-14773,9	3669,103	-11105
180	3,142	76	2E-15	-15001,8	3904,578	-11097
190	3,316	75,57	-3,08	-14773,9	3669,103	-11105
200	3,491	74,29	-6,17	-14097,1	2991,08	-11106
210	3,665	72,15	-9,25	-12991,9	1952,289	-11040
220	3,84	69,15	-12,3	-11492	678,0228	-10814
230	4,014	65,33	-15,2	-9642,97	-678,023	-10321
240	4,189	60,71	-18	-7500,9	-1952,29	-9453,2
250	4,363	55,36	-20,4	-5130,92	-2991,08	-8122
260	4,538	49,39	-22,5	-2605,04	-3669,1	-6274,1
270	4,712	42,95	-23,9	-2,8E-12	-3904,58	-3904,6
280	4,887	36,2	-24,6	2605,04	-3669,1	-1064,1
290	5,061	29,37	-24,4	5130,92	-2991,08	2139,84
300	5,236	22,71	-23,4	7500,9	-1952,29	5548,61
310	5,411	16,48	-21,4	9642,97	-678,023	8964,95
320	5,585	10,93	-18,4	11492	678,0228	12170,1
330	5,76	6,327	-14,6	12991,9	1952,289	14944,2
340	5,934	2,87	-10,2	14097,1	2991,08	17088,2
350	6,109	0,726	-5,21	14773,9	3669,103	18443
360	6,283	3E-31	-0	15001,8	3904,578	18906,4
370	6,458	0,726	5,209	14773,9	3669,103	18443
380	6,632	2,87	10,16	14097,1	2991,08	17088,2
390	6,807	6,327	14,63	12991,9	1952,289	14944,2
400	6,981	10,93	18,41	11492	678,0228	12170,1
410	7,156	16,48	21,35	9642,97	-678,023	8964,95
420	7,33	22,71	23,37	7500,9	-1952,29	5548,61
430	7,505	29,37	24,43	5130,92	-2991,08	2139,84
440	7,679	36,2	24,58	2605,04	-3669,1	-1064,1
450	7,854	42,95	23,88	4,6E-12	-3904,58	-3904,6
460	8,029	49,39	22,45	-2605,04	-3669,1	-6274,1
470	8,203	55,36	20,44	-5130,92	-2991,08	-8122

480	8,378	60,71	17,99	-7500,9	-1952,29	-9453,2
490	8,552	65,33	15,23	-9642,97	-678,023	-10321
500	8,727	69,15	12,29	-11492	678,0228	-10814
510	8,901	72,15	9,247	-12991,9	1952,289	-11040
520	9,076	74,29	6,169	-14097,1	2991,08	-11106
530	9,25	75,57	3,083	-14773,9	3669,103	-11105
540	9,425	76	6E-15	-15001,8	3904,578	-11097
550	9,599	75,57	-3,08	-14773,9	3669,103	-11105
560	9,774	74,29	-6,17	-14097,1	2991,08	-11106
570	9,948	72,15	-9,25	-12991,9	1952,289	-11040
580	10,12	69,15	-12,3	-11492	678,0228	-10814
590	10,3	65,33	-15,2	-9642,97	-678,023	-10321
600	10,47	60,71	-18	-7500,9	-1952,29	-9453,2
610	10,65	55,36	-20,4	-5130,92	-2991,08	-8122
620	10,82	49,39	-22,5	-2605,04	-3669,1	-6274,1
630	11	42,95	-23,9	-6,4E-12	-3904,58	-3904,6
640	11,17	36,2	-24,6	2605,04	-3669,1	-1064,1
650	11,34	29,37	-24,4	5130,92	-2991,08	2139,84
660	11,52	22,71	-23,4	7500,9	-1952,29	5548,61
670	11,69	16,48	-21,4	9642,97	-678,023	8964,95
680	11,87	10,93	-18,4	11492	678,0228	12170,1
690	12,04	6,327	-14,6	12991,9	1952,289	14944,2
700	12,22	2,87	-10,2	14097,1	2991,08	17088,2
710	12,39	0,726	-5,21	14773,9	3669,103	18443
720	12,57	1E-30	-0	15001,8	3904,578	18906,4

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Таблица В1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя.

φ°	Δp_r , Мпа	W , м/с ²	p_j , МПа	p , Мпа	$\text{tg}\beta$	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	$M_{кр.ц}$, Нм
0	0,0168	18906	-2,231	-2,2142	0	0	1	-2,214	1	-2,214	0	0	0	0
10	0,0068	18444	-2,176	-2,1696	0,0452	-0,098	1,001	-2,172	0,976951	-2,12	0,218203	-0,47341	-2,94513	-111,915
20	-0,0032	17089	-2,017	-2,0198	0,0894	-0,181	1,004	-2,028	0,909118	-1,836	0,426001	-0,86043	-5,35283	-203,408
30	-0,0052	14946	-1,764	-1,7689	0,1312	-0,232	1,0085	-1,784	0,80037	-1,416	0,613646	-1,08546	-6,75279	-256,606
40	-0,0082	12173	-1,436	-1,4446	0,1697	-0,245	1,0142	-1,465	0,656902	-0,949	0,772702	-1,11624	-6,94427	-263,882
50	-0,0112	8968	-1,058	-1,0695	0,2034	-0,218	1,0203	-1,091	0,486823	-0,521	0,896646	-0,95893	-5,96561	-226,693
60	-0,0142	5552	-0,655	-0,6694	0,2313	-0,155	1,0261	-0,687	0,299536	-0,201	0,981371	-0,65693	-4,08688	-155,302
70	-0,0172	2144	-0,253	-0,2702	0,2521	-0,068	1,0308	-0,279	0,104944	-0,028	1,025475	-0,27713	-1,72406	-65,5141
80	-0,0192	-1059	0,125	0,1057	0,265	0,028	1,034	0,1093	-0,087452	-0,009	1,030261	0,108943	0,677748	25,75443
90	-0,0192	-3899	0,4601	0,4408	0,2694	0,1188	1,0351	0,4563	-0,269399	-0,119	0,999385	0,440578	2,740899	104,1541
100	-0,0194	-6268	0,7396	0,7202	0,265	0,1909	1,034	0,7446	-0,434548	-0,313	0,938218	0,67569	4,203563	159,7354
110	-0,0194	-8115	0,9576	0,9382	0,2521	0,2365	1,0308	0,9671	-0,578771	-0,543	0,853016	0,800264	4,978555	189,1851
120	-0,0194	-9446	1,1146	1,0952	0,2313	0,2533	1,0261	1,1237	-0,700124	-0,767	0,750092	0,821474	5,110503	194,1991
130	-0,0194	-10313	1,2169	1,1975	0,2034	0,2436	1,0203	1,2218	-0,798488	-0,956	0,635128	0,760561	4,731553	179,799
140	-0,0184	-10805	1,275	1,2566	0,1697	0,2132	1,0142	1,2744	-0,875033	-1,1	0,512744	0,644312	4,008353	152,3174
150	-0,0174	-11030	1,3016	1,2841	0,1312	0,1685	1,0085	1,2951	-0,931618	-1,196	0,386317	0,496088	3,086231	117,2768
160	-0,0164	-11096	1,3093	1,2929	0,0894	0,1156	1,004	1,298	-0,970253	-1,254	0,258034	0,333613	2,075452	78,86716
170	-0,0144	-11094	1,3091	1,2947	0,0452	0,0586	1,001	1,296	-0,992663	-1,285	0,129093	0,167135	1,039769	39,51122
180	-0,0124	-11086	1,3081	1,2957	3E-17	4E-17	1	1,2957	-1	-1,296	1,23E-16	1,59E-16	9,88E-16	3,75E-14
190	-0,0104	-11093	1,309	1,2985	-0,045	-0,059	1,001	1,2999	-0,992663	-1,289	-0,129093	-0,16763	-1,04286	-39,6288
200	-0,0084	-11093	1,309	1,3006	-0,089	-0,116	1,004	1,3058	-0,970253	-1,262	-0,258034	-0,3356	-2,08782	-79,3372
210	-0,0064	-11027	1,3011	1,2947	-0,131	-0,17	1,0085	1,3058	-0,931618	-1,206	-0,386317	-0,50017	-3,1116	-118,241
220	-0,0044	-10800	1,2744	1,27	-0,17	-0,215	1,0142	1,288	-0,875033	-1,111	-0,512744	-0,65119	-4,05113	-153,943
230	-0,0017	-10307	1,2162	1,2145	-0,203	-0,247	1,0203	1,2391	-0,798488	-0,97	-0,635128	-0,77133	-4,79856	-182,345
240	0,0081	-9438	1,1137	1,1218	-0,231	-0,259	1,0261	1,1511	-0,700124	-0,785	-0,750092	-0,84148	-5,23494	-198,928
250	0,0219	-8106	0,9566	0,9784	-0,252	-0,247	1,0308	1,0086	-0,578771	-0,566	-0,853016	-0,83461	-5,19222	-197,304

260	0,0412	-6258	0,7384	0,7797	-0,265	-0,207	1,034	0,8061	-0,434548	-0,339	-0,938218	-0,73148	-4,55067	-172,925
270	0,0690	-3888	0,4587	0,5278	-0,269	-0,142	1,0351	0,5463	-0,269399	-0,142	-0,999385	-0,52743	-3,28121	-124,686
280	0,1100	-1047	0,1235	0,2335	-0,265	-0,062	1,034	0,2415	-0,087452	-0,02	-1,030261	-0,24059	-1,49677	-56,8771
290	0,1729	2158	-0,255	-0,0817	-0,252	0,0206	1,0308	-0,084	0,104944	-0,009	-1,025475	0,083784	0,521234	19,80689
300	0,2741	5567	-0,657	-0,3828	-0,231	0,0885	1,0261	-0,393	0,299536	-0,115	-0,981371	0,375705	2,337316	88,81802
310	0,4468	8984	-1,06	-0,6133	-0,203	0,1248	1,0203	-0,626	0,486823	-0,299	-0,896646	0,549957	3,421357	130,0116
320	0,7632	12190	-1,438	-0,6752	-0,17	0,1146	1,0142	-0,685	0,656902	-0,444	-0,772702	0,521738	3,245804	123,3405
330	10,6787	14965	-1,766	8,9128	-0,131	-1,17	1,0085	8,9889	0,80037	7,134	-0,613646	-5,46931	-34,0254	-1292,96
331	11,5566	15211	-1,795	9,7617	-0,127	-1,242	1,008	9,84	0,812926	7,936	-0,596042	-5,81839	-36,197	-1375,49
332	12,4495	15450	-1,823	10,626	-0,123	-1,308	1,0075	10,706	0,825126	8,768	-0,578158	-6,14372	-38,2209	-1452,4
333	13,3483	15683	-1,851	11,498	-0,119	-1,368	1,007	11,579	0,836963	9,623	-0,560002	-6,43877	-40,0565	-1522,15
334	14,2422	15908	-1,877	12,365	-0,115	-1,42	1,0066	12,446	0,84843	10,49	-0,541583	-6,69666	-41,6609	-1583,11
335	15,1185	16127	-1,903	13,215	-0,111	-1,463	1,0061	13,296	0,859522	11,36	-0,522908	-6,91047	-42,991	-1633,66
336	15,9630	16338	-1,928	14,035	-0,106	-1,494	1,0056	14,114	0,87023	12,21	-0,503986	-7,07346	-44,005	-1672,19
337	16,7604	16543	-1,952	14,808	-0,102	-1,514	1,0052	14,885	0,88055	13,04	-0,484825	-7,17948	-44,6646	-1697,25
338	17,4948	16739	-1,975	15,52	-0,098	-1,52	1,0048	15,594	0,890475	13,82	-0,465435	-7,22335	-44,9375	-1707,62
339	18,1502	16928	-1,998	16,153	-0,094	-1,513	1,0044	16,223	0,899999	14,54	-0,445824	-7,20126	-44,8	-1702,4
340	18,7117	17109	-2,019	16,693	-0,089	-1,492	1,004	16,759	0,909118	15,18	-0,426001	-7,11114	-44,2394	-1681,1
341	19,1660	17283	-2,039	17,127	-0,085	-1,456	1,0036	17,188	0,917825	15,72	-0,405975	-6,95298	-43,2555	-1643,71
342	19,5024	17448	-2,059	17,444	-0,081	-1,408	1,0032	17,5	0,926117	16,15	-0,385756	-6,72895	-41,8617	-1590,75
343	19,7135	17605	-2,077	17,636	-0,076	-1,346	1,0029	17,687	0,933988	16,47	-0,365353	-6,44343	-40,0855	-1523,25
344	19,7959	17753	-2,095	17,701	-0,072	-1,273	1,0026	17,747	0,941433	16,66	-0,344776	-6,10287	-37,9668	-1442,74
345	19,7499	17894	-2,111	17,638	-0,068	-1,191	1,0023	17,679	0,948449	16,73	-0,324035	-5,71547	-35,5567	-1351,16
346	19,5800	18025	-2,127	17,453	-0,063	-1,101	1,002	17,488	0,955031	16,67	-0,303138	-5,29068	-32,9141	-1250,73
347	19,2942	18148	-2,142	17,153	-0,059	-1,006	1,0017	17,182	0,961175	16,49	-0,282097	-4,83873	-30,1024	-1143,89
348	18,9036	18263	-2,155	16,749	-0,054	-0,908	1,0015	16,773	0,966879	16,19	-0,260921	-4,37006	-27,1867	-1033,1
349	18,4214	18368	-2,167	16,254	-0,05	-0,808	1,0012	16,274	0,972139	15,8	-0,239619	-3,89475	-24,2298	-920,732
350	17,8621	18465	-2,179	15,683	-0,045	-0,71	1,001	15,699	0,976951	15,32	-0,218203	-3,42214	-21,2896	-809,005
351	17,2411	18553	-2,189	15,052	-0,041	-0,613	1,0008	15,064	0,981313	14,77	-0,196682	-2,96045	-18,4174	-699,86
352	16,5734	18631	-2,198	14,375	-0,036	-0,521	1,0007	14,384	0,985223	14,16	-0,175067	-2,51658	-15,656	-594,927
353	15,8732	18701	-2,207	13,667	-0,032	-0,434	1,0005	13,673	0,988678	13,51	-0,153368	-2,09601	-13,0396	-495,503

354	15,1536	18761	-2,214	12,94	-0,027	-0,352	1,0004	12,945	0,991677	12,83	-0,131595	-1,70282	-10,5935	-402,552
355	14,4261	18812	-2,22	12,206	-0,023	-0,277	1,0003	12,209	0,994217	12,14	-0,10976	-1,33976	-8,33483	-316,724
356	13,7007	18854	-2,225	11,476	-0,018	-0,208	1,0002	11,478	0,996297	11,43	-0,087871	-1,0084	-6,27342	-238,39
357	12,9856	18887	-2,229	10,757	-0,014	-0,147	1,0001	10,758	0,997917	10,73	-0,06594	-0,70932	-4,41275	-167,685
358	12,2873	18910	-2,231	10,056	-0,009	-0,091	1	10,056	0,999074	10,05	-0,043978	-0,44223	-2,7512	-104,546
359	11,6109	18924	-2,233	9,3778	-0,005	-0,043	1	9,3779	0,999768	9,376	-0,021994	-0,20626	-1,28316	-48,7599
360	10,9601	18929	-2,234	8,7265	-6E-17	-6E-16	1	8,7265	1	8,727	-2,45E-16	-2,1E-15	-1,3E-14	-5,1E-13
361	10,3377	18924	-2,233	8,1046	0,0045	0,0368	1	8,1047	0,999768	8,103	0,021994	0,178254	1,108946	42,13994
362	9,7451	18910	-2,231	7,5137	0,0091	0,0683	1	7,514	0,999074	7,507	0,043978	0,330436	2,055687	78,11609
363	9,1833	18887	-2,229	6,9546	0,0136	0,0947	1,0001	6,9552	0,997917	6,94	0,06594	0,458587	2,852934	108,4115
364	8,6523	18855	-2,225	6,4275	0,0182	0,1167	1,0002	6,4285	0,996297	6,404	0,087871	0,564787	3,513622	133,5176
365	8,1519	18813	-2,22	5,932	0,0227	0,1346	1,0003	5,9335	0,994217	5,898	0,10976	0,651094	4,050545	153,9207
366	7,6814	18762	-2,214	5,4675	0,0272	0,1488	1,0004	5,4695	0,991677	5,422	0,131595	0,719497	4,476091	170,0915
367	7,2397	18701	-2,207	5,033	0,0317	0,1597	1,0005	5,0355	0,988678	4,976	0,153368	0,771895	4,802064	182,4784
368	6,8258	18632	-2,199	4,6272	0,0362	0,1677	1,0007	4,6302	0,985223	4,559	0,175067	0,810071	5,039566	191,5035
369	6,4383	18554	-2,189	4,2489	0,0407	0,1731	1,0008	4,2524	0,981313	4,17	0,196682	0,835688	5,198931	197,5594
370	6,0757	18466	-2,179	3,8967	0,0452	0,1763	1,001	3,9007	0,976951	3,807	0,218203	0,850279	5,289705	201,0088
371	5,7368	18370	-2,168	3,5692	0,0497	0,1775	1,0012	3,5736	0,972139	3,47	0,239619	0,855251	5,320638	202,1842
372	5,4201	18264	-2,155	3,2649	0,0542	0,1769	1,0015	3,2697	0,966879	3,157	0,260921	0,851888	5,299716	201,3892
373	5,1242	18150	-2,142	2,9825	0,0586	0,1749	1,0017	2,9876	0,961175	2,867	0,282097	0,841355	5,234189	198,8992
374	4,8478	18027	-2,127	2,7206	0,0631	0,1716	1,002	2,726	0,955031	2,598	0,303138	0,824707	5,130619	194,9635
375	4,5895	17896	-2,112	2,4778	0,0675	0,1673	1,0023	2,4834	0,948449	2,35	0,324035	0,802895	4,994922	189,807
376	4,3481	17755	-2,095	2,253	0,0719	0,162	1,0026	2,2588	0,941433	2,121	0,344776	0,776775	4,832424	183,6321
377	4,1225	17607	-2,078	2,0449	0,0763	0,1561	1,0029	2,0508	0,933988	1,91	0,365353	0,747115	4,647905	176,6204
378	3,9116	17450	-2,059	1,8525	0,0807	0,1495	1,0032	1,8585	0,926117	1,716	0,385756	0,714604	4,44565	168,9347
379	3,7143	17285	-2,04	1,6746	0,085	0,1424	1,0036	1,6807	0,917825	1,537	0,405975	0,679858	4,229493	160,7207
380	3,5296	17112	-2,019	1,5104	0,0894	0,135	1,004	1,5164	0,909118	1,373	0,426001	0,643429	4,002859	152,1087
381	3,3567	16931	-1,998	1,3588	0,0937	0,1273	1,0044	1,3648	0,899999	1,223	0,445824	0,605806	3,768806	143,2146
382	3,1947	16742	-1,976	1,2191	0,098	0,1194	1,0048	1,225	0,890475	1,086	0,465435	0,567429	3,530057	134,1422
383	3,0428	16545	-1,952	1,0905	0,1022	0,1115	1,0052	1,0961	0,88055	0,96	0,484825	0,528687	3,289036	124,9834
384	2,9004	16341	-1,928	0,9721	0,1065	0,1035	1,0056	0,9776	0,87023	0,846	0,503986	0,489926	3,047896	115,82
385	2,7667	16130	-1,903	0,8633	0,1107	0,0955	1,0061	0,8686	0,859522	0,742	0,522908	0,451452	2,808545	106,7247

386	6,2866	15912	-1,878	4,4091	0,1148	0,5064	1,0066	4,438	0,84843	3,741	0,541583	2,387881	14,85534	564,5029
387	5,9559	15686	-1,851	4,105	0,119	0,4885	1,007	4,1338	0,836963	3,436	0,560002	2,298793	14,30112	543,4424
388	5,6459	15453	-1,824	3,8224	0,1231	0,4706	1,0075	3,8512	0,825126	3,154	0,578158	2,209961	13,74848	522,4421
389	5,3555	15214	-1,795	3,5602	0,1272	0,4528	1,008	3,5887	0,812926	2,894	0,596042	2,122015	13,20135	501,6514
390	5,0833	14969	-1,766	3,317	0,1312	0,4354	1,0085	3,3454	0,80037	2,655	0,613646	2,035487	12,66305	481,196
391	4,8284	14717	-1,737	3,0918	0,1353	0,4182	1,0091	3,1199	0,787465	2,435	0,630963	1,950823	12,13634	461,181
392	4,5895	14458	-1,706	2,8834	0,1392	0,4015	1,0096	2,9111	0,774218	2,232	0,647984	1,868389	11,62351	441,6934
393	4,3656	14194	-1,675	2,6907	0,1432	0,3853	1,0101	2,718	0,760638	2,047	0,664704	1,788488	11,12643	422,8045
394	4,1557	13924	-1,643	2,5126	0,1471	0,3696	1,0107	2,5395	0,746732	1,876	0,681113	1,711364	10,64663	404,572
395	3,9588	13649	-1,611	2,3482	0,151	0,3545	1,0113	2,3747	0,732508	1,72	0,697207	1,637209	10,18531	387,0417
396	3,7741	13368	-1,577	2,1967	0,1548	0,34	1,0118	2,2227	0,717973	1,577	0,712977	1,566175	9,743397	370,2491
397	3,6007	13082	-1,544	2,057	0,1586	0,3262	1,0124	2,0826	0,703137	1,446	0,728418	1,498375	9,321603	354,2209
398	3,4378	12791	-1,509	1,9285	0,1623	0,313	1,013	1,9536	0,688007	1,327	0,743523	1,43389	8,920428	338,9763
399	3,2848	12495	-1,474	1,8104	0,166	0,3006	1,0136	1,835	0,672593	1,218	0,758286	1,372771	8,540203	324,5277
400	3,1409	12195	-1,439	1,7019	0,1697	0,2888	1,0142	1,726	0,656902	1,118	0,772702	1,315049	8,181106	310,882
410	2,0862	8991	-1,061	1,0253	0,2034	0,2086	1,0203	1,0461	0,486823	0,499	0,896646	0,919352	5,71942	217,3379
420	1,4760	5575	-0,658	0,8182	0,2313	0,1892	1,0261	0,8395	0,299536	0,245	0,981371	0,802974	4,995412	189,8257
430	1,1009	2167	-0,256	0,8452	0,2521	0,2131	1,0308	0,8713	0,104944	0,089	1,025475	0,866731	5,392052	204,898
440	0,8581	-1037	0,1223	0,9804	0,265	0,2598	1,034	1,0137	-0,087452	-0,086	1,030261	1,010045	6,283632	238,778
450	0,6943	-3876	0,4574	1,1518	0,2694	0,3103	1,0351	1,1921	-0,269399	-0,31	0,999385	1,15106	7,160907	272,1145
460	0,5804	-6245	0,737	1,3174	0,265	0,3491	1,034	1,3621	-0,434548	-0,572	0,938218	1,235962	7,689093	292,1855
470	0,4992	-8093	0,9549	1,4541	0,2521	0,3666	1,0308	1,499	-0,578771	-0,842	0,853016	1,240398	7,716689	293,2342
480	0,4405	-9423	1,1119	1,5524	0,2313	0,359	1,0261	1,5929	-0,700124	-1,087	0,750092	1,164443	7,244165	275,2783
490	0,3977	-10290	1,2143	1,612	0,2034	0,3279	1,0203	1,6447	-0,798488	-1,287	0,635128	1,023813	6,369282	242,0327
500	0,3668	-10783	1,2724	1,6391	0,1697	0,2781	1,0142	1,6624	-0,875033	-1,434	0,512744	0,840464	5,228643	198,6884
510	0,2668	-11008	1,2989	1,5657	0,1312	0,2055	1,0085	1,5791	-0,931618	-1,459	0,386317	0,604857	3,762901	142,9902
520	0,1668	-11074	1,3067	1,4735	0,0894	0,1317	1,004	1,4793	-0,970253	-1,43	0,258034	0,380202	2,365291	89,88107
530	0,1568	-11072	1,3065	1,4632	0,0452	0,0662	1,001	1,4647	-0,992663	-1,453	0,129093	0,188894	1,175138	44,65523
540	0,0568	-11064	1,3055	1,3623	1E-16	1E-16	1	1,3623	-1	-1,362	3,68E-16	5,01E-16	3,11E-15	1,18E-13
550	0,0368	-11071	1,3063	1,3431	-0,045	-0,061	1,001	1,3445	-0,992663	-1,333	-0,129093	-0,17338	-1,07865	-40,9886
560	0,0168	-11071	1,3064	1,3232	-0,089	-0,118	1,004	1,3284	-0,970253	-1,284	-0,258034	-0,34142	-2,12403	-80,7133
570	0,0168	-11004	1,2985	1,3153	-0,131	-0,173	1,0085	1,3265	-0,931618	-1,225	-0,386317	-0,50811	-3,16102	-120,119

580	0,0168	-10778	1,2718	1,2886	-0,17	-0,219	1,0142	1,3069	-0,875033	-1,128	-0,512744	-0,6607	-4,11034	-156,193
590	0,0168	-10284	1,2135	1,2303	-0,203	-0,25	1,0203	1,2553	-0,798488	-0,982	-0,635128	-0,78141	-4,86125	-184,727
600	0,0168	-9416	1,1111	1,1278	-0,231	-0,261	1,0261	1,1572	-0,700124	-0,79	-0,750092	-0,84599	-5,26299	-199,994
610	0,0168	-8084	0,9539	0,9707	-0,252	-0,245	1,0308	1,0006	-0,578771	-0,562	-0,853016	-0,82801	-5,15119	-195,745
620	0,0168	-6236	0,7358	0,7526	-0,265	-0,199	1,034	0,7781	-0,434548	-0,327	-0,938218	-0,70607	-4,39259	-166,918
630	0,0168	-3865	0,4561	0,4729	-0,269	-0,127	1,0351	0,4895	-0,269399	-0,127	-0,999385	-0,4726	-2,9401	-111,724
640	0,0168	-1024	0,1209	0,1376	-0,265	-0,036	1,034	0,1423	-0,087452	-0,012	-1,030261	-0,1418	-0,88216	-33,5222
650	0,0168	2180	-0,257	-0,2405	-0,252	0,0606	1,0308	-0,248	0,104944	-0,025	-1,025475	0,246624	1,534282	58,30271
660	0,0168	5590	-0,66	-0,6428	-0,231	0,1487	1,0261	-0,66	0,299536	-0,193	-0,981371	0,63083	3,924481	149,1303
670	0,0168	9007	-1,063	-1,046	-0,203	0,2128	1,0203	-1,067	0,486823	-0,509	-0,896646	0,937896	5,834782	221,7217
680	0,0168	12212	-1,441	-1,4243	-0,17	0,2417	1,0142	-1,444	0,656902	-0,936	-0,772702	1,100545	6,846643	260,1724
690	0,0168	14987	-1,768	-1,7517	-0,131	0,2299	1,0085	-1,767	0,80037	-1,402	-0,613646	1,074927	6,68727	254,1163
700	0,0168	17132	-2,022	-2,0048	-0,089	0,1792	1,004	-2,013	0,909118	-1,823	-0,426001	0,854029	5,313036	201,8954
710	0,0168	18487	-2,181	-2,1647	-0,045	0,0979	1,001	-2,167	0,976951	-2,115	-0,218203	0,472345	2,938523	111,6639
720	0,0168	18951	-2,236	-2,2195	-1E-16	3E-16	1	-2,219	1	-2,219	-4,9E-16	1,09E-15	6,77E-15	2,57E-13

Таблица В2 – Суммирование значений крутящих моментов всех четырех цилиндров.

φ°	Цилиндры								$M_{кр.ц},$ Нм
	1-й		2-й		3-й		4-й		
	φ° кливошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	φ° кливошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	φ° кливошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	φ° кливошипа	$M_{кр.ц},$ Нм	
0	0	0	180	2E-14	360	6E-14	540	-4E-13	0
10	10	-56,08	190	-19,83	370	-20,9	550	175,2	78,4
20	20	-102,1	200	-39,74	380	-40,87	560	160,7	-22,05
30	30	-128,9	210	-59,27	390	-60,83	570	416,4	167,4
40	40	-132,8	220	-77,23	400	-79,13	580	292,3	3,141
50	50	-114,3	230	-91,59	410	-93,64	590	214,2	-85,32
60	60	-78,69	240	-100,4	420	-101,5	600	176,8	-103,7
70	70	-33,82	250	-100,3	430	-99,53	610	166,5	-67,11
80	80	11,89	260	-89,21	440	-85,2	620	169,8	7,325
90	90	51,3	270	-66,71	450	-57,59	630	175,9	102,9
100	100	79,26	280	-35,16	460	-18,37	640	177,6	203,3

110	110	94,13	290	-0,256	470	27,726	650	171,4	293
120	120	96,75	300	29,25	480	73,374	660	157	356,4
130	130	89,62	310	42,56	490	109,92	670	135,9	378
140	140	75,98	320	28,64	500	129,39	680	110,5	344,5
150	150	58,53	330	-1016	510	126,58	690	77,7	-753,3
160	160	39,38	340	-1290	520	100,65	700	47,63	-1103
170	170	19,74	350	-624,4	530	55,694	710	23,6	-525,3
180	180	2E-14	360	-4E-13	540	1E-13	720	6E-14	-2E-13

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

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

φ, град	K, Н	T, Н	R _к , Н	R _{ш.ш.} , Н	K _{рк} , Н	R _к , Н
0	0	-6,88754422	-15,4345	15,4345	-29,1881	29,18809
10	-1,475665	-6,60693198	-15,1538	15,2255	-28,9075	28,94512
20	-2,687948	-5,73628652	-14,2832	14,5339	-28,0368	28,16539
30	-3,393035	-4,42548487	-12,9724	13,4088	-26,726	26,94056
40	-3,493703	-2,97012444	-11,517	12,0353	-25,2707	25,51104
50	-3,008021	-1,63316855	-10,1801	10,6152	-23,9337	24,122
60	-2,070761	-0,63204299	-9,17895	9,4096	-22,9326	23,02589
70	-0,889956	-0,09107531	-8,63798	8,6837	-22,3916	22,4093
80	0,31298	-0,0265667	-8,57347	8,5792	-22,3271	22,32931
90	1,349985	-0,36390813	-8,91081	9,0125	-22,6645	22,70463
100	2,085884	-0,96610319	-9,51301	9,7390	-23,2667	23,35997
110	2,477196	-1,68077581	-10,2277	10,5234	-23,9813	24,10893
120	2,545955	-2,37635468	-10,9233	11,2160	-24,6769	24,80789
130	2,358535	-2,96516905	-11,5121	11,7512	-25,2657	25,37556
140	1,999355	-3,41203631	-11,9589	12,1249	-25,7126	25,7902
150	1,540166	-3,71416476	-12,2611	12,3574	-26,0147	26,06027
160	1,036192	-3,89625611	-12,4432	12,4862	-26,1968	26,21729
170	0,519526	-3,99490284	-12,5418	12,5526	-26,2955	26,30058
180	4,94E-16	-4,0308317	-12,5777	12,5777	-26,3314	26,33138
190	-0,521899	-4,01315197	-12,5601	12,5709	-26,3137	26,31888
200	-1,045679	-3,93193063	-12,4788	12,5226	-26,2325	26,25331
210	-1,559697	-3,76126536	-12,3082	12,4066	-26,0618	26,10844
220	-2,03235	-3,46834508	-12,0153	12,1859	-25,7689	25,84891
230	-2,410205	-3,03012864	-11,577	11,8253	-25,3307	25,44508
240	-2,640973	-2,46504246	-11,0119	11,3242	-24,7656	24,90601
250	-2,639173	-1,79067714	-10,3376	10,6692	-24,0912	24,23535
260	-2,347553	-1,08729884	-9,63421	9,9161	-23,3878	23,50537
270	-1,755496	-0,47321955	-9,02013	9,1894	-22,7738	22,84133
280	-0,925384	-0,07854938	-8,62546	8,6750	-22,3791	22,39822
290	-0,006727	0,00068846	-8,54622	8,5462	-22,2999	22,29986
300	0,769806	-0,2349622	-8,78187	8,8155	-22,5355	22,54866
310	1,120108	-0,6081489	-9,15506	9,2233	-22,9087	22,93607
320	0,753776	-0,64081275	-9,18772	9,2186	-22,9414	22,95374
330	-26,74003	34,8766219	26,32972	37,5271	12,57607	29,54973
340	-33,9543	72,4610623	63,91416	72,3734	50,16051	60,57204
350	-16,43079	73,5648576	65,01795	67,0619	51,26431	53,83308
360	-1,06E-14	43,4081735	34,86127	34,8613	21,10762	21,10762
363	4,610662	20,6431135	12,09621	12,9451	-1,65744	4,89952
370	4,229017	9,02504515	0,478139	4,2560	-13,2755	13,93282
380	10,95884	14,2934472	5,746541	12,3741	-8,0071	13,57239
390	7,691034	6,5384286	-2,00848	7,9490	-15,7621	17,53843
400	5,637252	3,06067748	-5,48623	7,8662	-19,2399	20,04872
410	4,65322	1,42026775	-7,12664	8,5113	-20,8803	21,39249
420	4,382218	0,44846265	-8,09844	9,2081	-21,8521	22,28716
430	4,469391	-0,37937513	-8,92628	9,9827	-22,6799	23,11611
440	4,629544	-1,24796092	-9,79487	10,8338	-23,5485	23,99927
450	4,673807	-2,16473216	-10,7116	11,6869	-24,4653	24,90772
460	4,511397	-3,0609802	-11,6079	12,4537	-25,3615	25,75966
470	4,131907	-3,85665697	-12,4036	13,0737	-26,1572	26,48154

480	3,576417	-4,49629949	-13,0432	13,5246	-26,7968	27,03446
490	2,907196	-4,96132837	-13,5082	13,8175	-27,2619	27,41645
500	2,044784	-4,93106926	-13,478	13,6322	-27,2316	27,30828
510	1,253454	-4,71319899	-13,2601	13,3192	-27,0137	27,04281
520	0,6211	-4,77596191	-13,3229	13,3373	-27,0765	27,08363
530	1,6E-15	-4,34887096	-12,8958	12,8958	-26,6494	26,64942
540	-0,549903	-4,22848786	-12,7754	12,7872	-26,529	26,53474
550	-1,075564	-4,04430158	-12,5912	12,6371	-26,3449	26,3668
560	-1,600889	-3,86060113	-12,4075	12,5104	-26,1612	26,21009
570	-2,082313	-3,55360919	-12,1005	12,2784	-25,8542	25,93788
580	-2,464224	-3,09804181	-11,6449	11,9028	-25,3986	25,51785
590	-2,670791	-2,49287474	-11,0398	11,3583	-24,7934	24,93686
600	-2,619181	-1,77711249	-10,324	10,6511	-24,0777	24,2197
610	-2,242066	-1,03844115	-9,58535	9,8441	-23,339	23,44644
620	-1,515441	-0,4085092	-8,95542	9,0827	-22,7091	22,75957
630	-0,483542	-0,04104444	-8,58795	8,6016	-22,3416	22,34683
640	0,729635	-0,07466854	-8,62158	8,6524	-22,3752	22,38711
650	1,930892	-0,58935173	-9,13626	9,3381	-22,8899	22,9712
660	2,89261	-1,57050739	-10,1174	10,5228	-23,8711	24,04568
670	3,404911	-2,8946388	-11,4415	11,9374	-25,1952	25,42422
680	3,330985	-4,34455494	-12,8915	13,3149	-26,6451	26,85251
690	2,64879	-5,65271975	-14,1996	14,4446	-27,9533	28,07849
700	1,465637	-6,56203129	-15,1089	15,1799	-28,8626	28,89977
710	3,38E-15	-6,88754422	-15,4345	15,4345	-29,1881	29,18809
720	0	0	-8,54691	8,5469	-22,3005	22,30055

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	12163	12163	12163	0	0	0	0	0	0	0	12163	12163
Rш.ш 10	11973	11973	11973	0	0	0	0	0	0	0	11973	11973
Rш.ш 20	11335	11335	11335	0	0	0	0	0	0	0	11335	11335
Rш.ш 30	10277	10277	10277	0	0	0	0	0	0	0	0	10277
Rш.ш 40	8954,8	8954,8	8954,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8954,8
Rш.ш 50	7534,7	7534,7	7534,7	0	0	0	0	0	0	0	0	7534,7
Rш.ш 60	6259,5	6259,5	6259,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6259,5
Rш.ш 70	5439,4	5439,4	5439,4	0	0	0	0	0	0	0	5439,4	5439,4
Rш.ш 80	5310,8	5310,8	5310,8	0	0	0	0	0	0	0	5310,8	5310,8
Rш.ш 90	5798,3	5798,3	0	0	0	0	0	0	0	0	5798,3	5798,3
Rш.ш 100	6580,5	6580,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6580,5	6580,5
Rш.ш 110	7383,7	7383,7	0	0	0	0	0	0	0	0	7383,7	7383,7
Rш.ш 120	8063,8	8063,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8063,8	8063,8
Rш.ш 130	8571,1	8571,1	0	0	0	0	0	0	0	0	8571,1	8571,1
Rш.ш 140	8914,2	8914,2	0	0	0	0	0	0	0	0	8914,2	8914,2
Rш.ш 150	9120,2	9120,2	0	0	0	0	0	0	0	0	9120,2	9120,2
Rш.ш 160	9229,6	9229,6	9229,6	0	0	0	0	0	0	0	9229,6	9229,6
Rш.ш 170	9284,5	9284,5	9284,5	0	0	0	0	0	0	0	9284,5	9284,5
Rш.ш 180	9305,8	9305,8	9305,8	0	0	0	0	0	0	0	9305,8	9305,8
Rш.ш 190	9302,8	9302,8	9302,8	0	0	0	0	0	0	0	9302,8	9302,8
Rш.ш 200	9266,1	9266,1	9266,1	0	0	0	0	0	0	0	9266,1	9266,1
Rш.ш 210	9169,9	9169,9	9169,9	0	0	0	0	0	0	0	0	9169,9
Rш.ш 220	8976,5	8976,5	8976,5	0	0	0	0	0	0	0	0	8976,5
Rш.ш 230	8647,8	8647,8	8647,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8647,8
Rш.ш 240	8178,2	8178,2	8178,2	0	0	0	0	0	0	0	0	8178,2
Rш.ш 250	7542,5	7542,5	7542,5	0	0	0	0	0	0	0	0	7542,5
Rш.ш 260	6781,6	6781,6	6781,6	0	0	0	0	0	0	0	0	6781,6
Rш.ш 270	6010,3	6010,3	6010,3	0	0	0	0	0	0	0	0	6010,3
Rш.ш 280	5432,9	5432,9	5432,9	0	0	0	0	0	0	0	5432,9	5432,9
Rш.ш 290	5274,3	5274,3	5274,3	0	0	0	0	0	0	0	5274,3	5274,3
Rш.ш 300	5563,5	5563,5	0	0	0	0	0	0	0	0	5563,5	5563,5
Rш.ш 310	5988,8	5988,8	0	0	0	0	0	0	0	0	5988,8	5988,8
Rш.ш 320	5963,6	5963,6	0	0	0	0	0	0	0	0	5963,6	5963,6
Rш.ш 330	39891	39891	0	0	0	0	0	0	0	0	39891	39891
Rш.ш 340	75279	75279	75279	0	0	0	0	0	0	0	75279	75279
Rш.ш 350	70239	70239	70239	0	0	0	0	0	0	0	70239	70239
Rш.ш 360	38133	38133	38133	0	0	0	0	0	0	0	38133	38133
Rш.ш 370	16045	16045	16045	0	0	0	0	0	0	0	16045	16045
Rш.ш 380	5652,2	5652,2	5652,2	0	0	5652,2	5652,2	5652,2	0	0	5652,2	5652,2

RIII. III 390	0	0	0	0	0	0	0	0	14193	14193	14193	14193
RIII. III 400	7794,1	7794,1	0	0	0	0	0	0	0	0	7794,1	7794,1
RIII. III 410	6056,6	6056,6	0	0	0	0	0	0	0	0	6056,6	6056,6
RIII. III 420	6042,5	6042,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6042,5	6042,5
RIII. III 430	6519,2	6519,2	0	0	0	0	0	0	0	0	6519,2	6519,2
RIII. III 440	7207,5	7207,5	0	0	0	0	0	0	0	0	7207,5	7207,5
RIII. III 450	7998,9	0	0	0	0	0	0	0	0	7998,9	7998,9	7998,9
RIII. III 460	8786	8786	0	0	0	0	0	0	0	0	8786	8786
RIII. III 470	9478,5	9478,5	0	0	0	0	0	0	0	0	9478,5	9478,5
RIII. III 480	10023	10023	0	0	0	0	0	0	0	0	10023	10023
RIII. III 490	10405	10405	0	0	0	0	0	0	0	0	10405	10405
RIII. III 500	10641	10641	0	0	0	0	0	0	0	0	10641	10641
RIII. III 510	10409	10409	0	0	0	0	0	0	0	0	10409	10409
RIII. III 520	10067	10067	10067	0	0	0	0	0	0	0	10067	10067
RIII. III 530	10070	10070	10070	0	0	0	0	0	0	0	10070	10070
RIII. III 540	9623,9	9623,9	9623,9	0	0	0	0	0	0	0	9623,9	9623,9
RIII. III 550	9519,4	9519,4	9519,4	0	0	0	0	0	0	0	9519,4	9519,4
RIII. III 560	9381,2	9381,2	9381,2	0	0	0	0	0	0	0	9381,2	9381,2
RIII. III 570	9274,8	9274,8	9274,8	0	0	0	0	0	0	0	0	9274,8
RIII. III 580	9070,9	9070,9	9070,9	0	0	0	0	0	0	0	0	9070,9
RIII. III 590	8728,1	8728,1	8728,1	0	0	0	0	0	0	0	0	8728,1
RIII. III 600	8214,2	8214,2	8214,2	0	0	0	0	0	0	0	0	8214,2
RIII. III 610	7522,8	7522,8	7522,8	0	0	0	0	0	0	0	0	7522,8
RIII. III 620	6699,7	6699,7	6699,7	0	0	0	0	0	0	0	0	6699,7
RIII. III 630	5882,1	5882,1	5882,1	0	0	0	0	0	0	0	0	5882,1
RIII. III 640	5338	5338	5338	0	0	0	0	0	0	0	5338	5338
RIII. III 650	5399,2	5399,2	5399,2	0	0	0	0	0	0	0	5399,2	5399,2
RIII. III 660	6174,1	6174,1	0	0	0	0	0	0	0	0	6174,1	6174,1
RIII. III 670	7431,6	7431,6	0	0	0	0	0	0	0	0	7431,6	7431,6
RIII. III 680	8850,8	8850,8	0	0	0	0	0	0	0	0	8850,8	8850,8
RIII. III 690	10180	10180	0	0	0	0	0	0	0	0	10180	10180
RIII. III 700	11244	11244	0	0	0	0	0	0	0	0	11244	11244
RIII. III 710	11927	11927	0	0	0	0	0	0	0	0	11927	11927
ΣRIII. III i	12163	12163	0	0	0	0	0	0	0	0	12163	12163

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				
	Рк.ш1, Н	јкв, град	Рк1, Н	Т1, Н	Крк1, Н	Тк2, Н	Кк2, Н	Рк.ш2, Н	јкв, град	Т2, Н	Крк2, Н	Тк3, Н	Кк3, Н	Рк.ш3, Н	јкв, град	Т3, Н	Крк3, Н
10391	0		20781,1	0	-20781,1	2Е-13	1428,4	1428,4	180	5Е-13	-17924,4	1Е-12	-18083,4	18083,4	540	1,6Е-12	-18242,4
10277	10		20553,5	-1475,7	-20500,5	476,88	1296,9	1381,8	190	-521,9	-17906,7	-535,9	-18014,4	18022,3	550	-549,9	-18122
9906,5	20		19813	-2687,9	-19629,8	821,13	902,18	1219,9	200	-1045,7	-17825,5	-1060,6	-17881,7	17913,1	560	-1075,6	-17937,8
9315,3	30		18630,6	-3393	-18319	916,67	332,11	974,98	210	-1559,7	-17654,8	-1580,3	-17704,5	17774,9	570	-1600,9	-17754,1
8610,9	40		17221,8	-3493,7	-16863,7	730,68	-249,1	771,97	220	-2032,4	-17361,9	-2057,3	-17404,5	17525,7	580	-2082,3	-17447,2
7907,7	50		15815,4	-3008	-15526,7	298,91	-698,5	759,75	230	-2410,2	-16923,7	-2437,2	-16957,6	17131,9	590	-2464,2	-16991,6
7336,2	60		14672,4	-2070,8	-14525,6	-285,11	-916,5	959,82	240	-2641	-16358,6	-2655,9	-16372,5	16586,5	600	-2670,8	-16386,4
7006,5	70		14012,9	-889,96	-13984,6	-874,61	-849,8	1219,5	250	-2639,2	-15684,2	-2629,2	-15677,4	15896,4	610	-2619,2	-15670,7
6961,8	80		13923,6	312,98	-13920,1	-1330,3	-530,4	1432,1	260	-2347,6	-14980,8	-2294,8	-14956,4	15131,4	620	-2242,1	-14932
7160,6	90		14321,2	1349,99	-14257,4	-1552,7	-54,66	1553,7	270	-1755,5	-14366,8	-1635,5	-14334,4	14427,4	630	-1515,4	-14302,1
7502,7	100		15005,3	2085,88	-14859,6	-1505,6	443,78	1569,7	280	-925,38	-13972,1	-704,46	-13953,3	13971,1	640	-483,54	-13934,6
7885	110		15770,1	2477,2	-15574,3	-1242	840,73	1499,8	290	-6,7274	-13892,9	361,45	-13930,5	13935,2	650	729,635	-13968,2
8233,9	120		16467,9	2545,96	-16269,9	-888,07	1070,7	1391,1	300	769,81	-14128,5	1350,3	-14305,7	14369,3	660	1930,89	-14482,9
8511,4	130		17022,9	2358,54	-16858,7	-619,21	1178,5	1331,3	310	1120,1	-14501,7	2006,4	-14982,9	15116,6	670	2892,61	-15464
8710,3	140		17420,7	1999,36	-17305,6	-622,79	1385,6	1519,1	320	753,78	-14534,4	2079,3	-15661,3	15798,7	680	3404,91	-16788,2
8837,5	150		17674,9	1540,17	-17607,7	-14140	19295	23922	330	-26740	20983,1	-11705	1372,493	11784,7	690	3330,99	-18238,1
8910	160		17819,9	1036,19	-17789,8	-17495	38179	41996	340	-33954	58567,5	-15653	19510,63	25013,5	700	2648,79	-19546,3
8948	170		17896	519,526	-17888,4	-8475,2	38780	39695	350	-16431	59671,3	-7482,6	19607,87	20987,1	710	1465,64	-20455,6
8962,2	180		17924,4	4,9Е-13	-17924,4	-6Е-12	23720	23720	360	-1Е-11	29514,6	-4Е-12	4366,774	4366,77	720	3,4Е-12	-20781,1
8957,1	190		17914,3	-521,9	-17906,7	2566,3	12328	12592	370	4610,7	6749,57	2305,3	-7015,76	7384,81	0	0	-20781,1
8928,1	200		17856,1	-1045,7	-17825,5	2637,3	6478,5	6994,7	380	4229	-4868,5	1376,7	-12684,5	12759	10	-1475,7	-20500,5
8861,8	210		17723,6	-1559,7	-17654,8	6259,3	9027,4	10985	390	10959	399,906	4135,4	-9614,96	10466,6	20	-2687,9	-19629,8
8740,2	220		17480,4	-2032,4	-17361,9	4861,7	5003,4	6976,4	400	7691	-7355,11	2149	-12837,1	13015,7	30	-3393	-18319

8547,2	230	17094,4	-2410,2	-16923,7	4023,7	3045,4	5046,3	410	5637,3	-10832,9	1071,8	-13848,3	13889,7	40	-3493,7	-16863,7
8285,2	240	16570,4	-2641	-16358,6	3647,1	1942,7	4132,2	420	4653,2	-12473,3	822,6	-14000	14024,1	50	-3008	-15526,7
7952,4	250	15904,7	-2639,2	-15684,2	3510,7	1119,6	3684,9	430	4382,2	-13445,1	1155,7	-13985,3	14033	60	-2070,8	-14525,6
7581,8	260	15163,7	-2347,6	-14980,8	3408,5	353,96	3426,8	440	4469,4	-14272,9	1789,7	-14128,8	14241,7	70	-889,96	-13984,6
7236,8	270	14473,6	-1755,5	-14366,8	3192,5	-387,4	3215,9	450	4629,5	-15141,5	2471,3	-14530,8	14739,5	80	312,98	-13920,1
7001,4	280	14002,7	-925,38	-13972,1	2799,6	-1043	2987,6	460	4673,8	-16058,3	3011,9	-15157,9	15454,2	90	1349,99	-14257,4
6946,4	290	13892,9	-6,7274	-13892,9	2259,1	-1531	2728,9	470	4511,4	-16954,5	3298,6	-15907,1	16245,5	100	2085,88	-14859,6
7074,7	300	14149,5	769,806	-14128,5	1681,1	-1811	2470,8	480	4131,9	-17750,2	3304,6	-16662,3	16986,8	110	2477,2	-15574,3
7272,4	310	14544,9	1120,11	-14501,7	1228,2	-1944	2299,5	490	3576,4	-18389,8	3061,2	-17329,9	17598,2	120	2545,96	-16269,9
7276,9	320	14553,9	753,776	-14534,4	1076,7	-2160	2413,7	500	2907,2	-18854,9	2632,9	-17856,8	18049,8	130	2358,54	-16858,7
16995	330	33990	-26740	20983,1	14392	-19904	24562	510	2044,8	-18824,6	2022,1	-18065,1	18177,9	140	1999,36	-17305,6
33849	340	67698,2	-33954	58567,5	17604	-38587	42413	520	1253,5	-18606,7	1396,8	-18107,2	18161	150	1540,17	-17607,7
30946	350	61892,1	-16431	59671,3	8525,9	-39170	40088	530	621,1	-18669,5	828,65	-18229,6	18248,5	160	1036,19	-17789,8
14757	360	29514,6	-1E-11	29514,6	6E-12	-23879	23879	540	2E-12	-18242,4	259,76	-18065,4	18067,3	170	519,526	-17888,4
4087	370	8174,04	4610,66	6749,57	-2580,3	-12436	12701	550	-549,9	-18122	-274,95	-18023,2	18025,3	180	4,9E-13	-17924,4
3224,4	380	6448,79	4229,02	-4868,5	-2652,3	-6535	7052,4	560	-1075,6	-17937,8	-798,73	-17922,3	17940,1	190	-521,9	-17906,7
5483,1	390	10966,1	10958,8	399,906	-6279,9	-9077	11038	570	-1600,9	-17754,1	-1323,3	-17789,8	17839	200	-1045,7	-17825,5
5320,9	400	10641,9	7691,03	-7355,11	-4886,7	-5046	7024,4	580	-2082,3	-17447,2	-1821	-17551	17645,2	210	-1559,7	-17654,8
6105,9	410	12211,9	5637,25	-10832,9	-4050,7	-3079	5088,3	590	-2464,2	-16991,6	-2248,3	-17176,7	17323,3	220	-2032,4	-17361,9
6656,5	420	13313	4653,22	-12473,3	-3662	-1957	4151,9	600	-2670,8	-16386,4	-2540,5	-16655	16847,7	230	-2410,2	-16923,7
7070,6	430	14141,2	4382,22	-13445,1	-3500,7	-1113	3673,3	610	-2619,2	-15670,7	-2630,1	-16014,6	16229,1	240	-2641	-16358,6
7478,2	440	14956,3	4469,39	-14272,9	-3355,7	-329,5	3371,9	620	-2242,1	-14932	-2440,6	-15308,1	15501,4	250	-2639,2	-15684,2
7916,7	450	15833,4	4629,54	-15141,5	-3072,5	419,73	3101	630	-1515,4	-14302,1	-1931,5	-14641,4	14768,3	260	-2347,6	-14980,8
8362,3	460	16724,6	4673,81	-16058,3	-2578,7	1061,8	2788,7	640	-483,54	-13934,6	-1119,5	-14150,7	14194,9	270	-1755,5	-14366,8
8772,2	470	17544,5	4511,4	-16954,5	-1890,9	1493,2	2409,3	650	729,63	-13968,2	-97,875	-13970,1	13970,5	280	-925,38	-13972,1
9112,4	480	18224,8	4131,91	-17750,2	-1100,5	1633,7	1969,8	660	1930,9	-14482,9	962,08	-14187,9	14220,5	290	-6,7274	-13892,9
9367,2	490	18734,4	3576,42	-18389,8	-341,9	1462,9	1502,3	670	2892,6	-15464	1831,2	-14796,3	14909,2	300	769,806	-14128,5
9538,8	500	19077,7	2907,2	-18854,9	248,86	1033,3	1062,9	680	3404,9	-16788,2	2262,5	-15644,9	15807,7	310	1120,11	-14501,7
9467,7	510	18935,3	2044,78	-18824,6	643,1	293,26	706,81	690	3331	-18238,1	2042,4	-16386,2	16513	320	753,776	-14534,4

9324,5	520	18648,9	1253,45	-18606,7	697,67	-469,8	841,08	700	2648,8	-19546,3	-12046	718,4103	12067	330	-26740	20983,08
9339,9	530	18679,8	621,1	-18669,5	422,27	-893	987,84	710	1465,6	-20455,6	-16244	19055,97	25040,1	340	-33954	58567,52
9121,2	540	18242,4	1,6E-12	-18242,4	9E-13	-1269	1269,3	720	3E-12	-20781,1	-8215,4	19445,12	21109,4	350	-16431	59671,32
9065,2	550	18130,4	-549,9	-18122	274,95	-1330	1357,7	0	0	-20781,1	-5E-12	4366,774	4366,77	360	-1E-11	29514,63
8985	560	17970,1	-1075,6	-17937,8	-200,05	-1281	1296,8	10	-1475,7	-20500,5	1567,5	-6875,45	7051,87	370	4610,66	6749,573
8913,1	570	17826,2	-1600,9	-17754,1	-543,53	-937,8	1084	20	-2687,9	-19629,8	770,53	-12249,2	12273,4	380	4229,02	-4868,5
8785,5	580	17571	-2082,3	-17447,2	-655,36	-435,9	787,11	30	-3393	-18319	3782,9	-8959,56	9725,43	390	10958,8	399,9064
8584,7	590	17169,3	-2464,2	-16991,6	-514,74	63,959	518,7	40	-3493,7	-16863,7	2098,7	-12109,4	12289,9	400	7691,03	-7355,11
8301,3	600	16602,6	-2670,8	-16386,4	-168,61	429,85	461,74	50	-3008	-15526,7	1314,6	-13179,8	13245,2	410	5637,25	-10832,9
7944	610	15888	-2619,2	-15670,7	274,21	572,53	634,81	60	-2070,8	-14525,6	1291,2	-13499,4	13561	420	4653,22	-12473,3
7549,7	620	15099,4	-2242,1	-14932	676,06	473,68	825,49	70	-889,96	-13984,6	1746,1	-13714,8	13825,6	430	4382,22	-13445,1
7191,1	630	14382,1	-1515,4	-14302,1	914,21	190,97	933,94	80	312,98	-13920,1	2391,2	-14096,5	14297,9	440	4469,39	-14272,9
6971,5	640	13943	-483,54	-13934,6	916,76	-161,4	930,87	90	1350	-14257,4	2989,8	-14699,5	15000,4	450	4629,54	-15141,5
6993,6	650	13987,3	729,635	-13968,2	678,12	-445,7	811,49	100	2085,9	-14859,6	3379,8	-15459	15824,1	460	4673,81	-16058,3
7305,5	660	14611	1930,89	-14482,9	273,15	-545,7	610,26	110	2477,2	-15574,3	3494,3	-16264,4	16635,5	470	4511,4	-16954,5
7866,1	670	15732,3	2892,61	-15464	-173,33	-402,9	438,62	120	2546	-16269,9	3338,9	-17010	17334,7	480	4131,91	-17750,2
8565	680	17130	3404,91	-16788,2	-523,19	-35,27	524,37	130	2358,5	-16858,7	2967,5	-17624,3	17872,4	490	3576,42	-18389,8
9269,9	690	18539,8	3330,99	-18238,1	-665,82	466,26	812,84	140	1999,4	-17305,6	2453,3	-18080,2	18245,9	500	2907,2	-18854,9
9862,5	700	19724,9	2648,79	-19546,3	-554,31	969,28	1116,6	150	1540,2	-17607,7	1792,5	-18216,2	18304,1	510	2044,78	-18824,6
10254	710	20508	1465,64	-20455,6	-214,72	1332,9	1350,1	160	1036,2	-17789,8	1144,8	-18198,3	18234,2	520	1253,45	-18606,7
10391	720	20781,1	3,4E-12	-20781,1	259,76	1446,3	1469,5	170	519,53	-17888,4	570,31	-18279	18287,9	530	621,1	-18669,5

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
-20781,1	20781,1	0	1,598E-12	-1,064E-11	4,93837E-13	-20781,085	-18242,4118	29514,633	-17924,373	4,938E-13	1,0461E-12	-2856,7125	-18083,392	0
-20500,5	20553,5	-1475,6654	-549,903	4610,6618	-521,899193	-20500,473	-18122,0287	6749,5727	-17906,693	953,76623	-535,90111	-2593,78	-18014,361	10
-19629,8	19813	-2687,9484	-1075,564	4229,0174	-1045,67899	-19629,827	-17937,8424	-4868,4957	-17825,471	1642,2694	-1060,6213	-1804,3559	-17881,657	20
-18319	18630,6	-3393,0347	-1600,889	10958,836	-1559,69723	-18319,026	-17754,1419	399,90642	-17654,806	1833,3375	-1580,2932	-664,21951	-17704,474	30

-16863,7	17221,8	-3493,7031	-2082,313	7691,034	-2032,35048	-16863,665	-17447,15	-7355,1122	-17361,886	1461,3526	-2057,3316	498,22063	-17404,518	40
-15526,7	15815,4	-3008,0211	-2464,224	5637,2518	-2410,20501	-15526,709	-16991,5826	-10832,863	-16923,669	597,81607	-2437,2145	1396,9601	-16957,626	50
-14525,6	14672,4	-2070,7611	-2670,791	4653,2201	-2640,97254	-14525,584	-16386,4156	-12473,273	-16358,583	-570,21147	-2655,8819	1832,9995	-16372,499	60
-13984,6	14012,9	-889,95566	-2619,181	4382,2181	-2639,17278	-13984,616	-15670,6533	-13445,078	-15684,218	-1749,2171	-2629,1767	1699,6018	-15677,436	70
-13920,1	13923,6	312,98033	-2242,066	4469,3908	-2347,55348	-13920,108	-14931,982	-14272,916	-14980,84	-2660,5338	-2294,8099	1060,7321	-14956,411	80
-14257,4	14321,2	1349,985	-1515,441	4629,5436	-1755,49612	-14257,449	-14302,05	-15141,502	-14366,76	-3105,4811	-1635,4686	109,31143	-14334,405	90
-14859,6	15005,3	2085,8837	-483,5416	4673,8066	-925,384491	-14859,644	-13934,5853	-16058,273	-13972,09	-3011,2682	-704,46303	-887,55381	-13953,338	100
-15574,3	15770,1	2477,1957	729,63456	4511,3971	-6,7273988	-15574,317	-13968,2094	-16954,521	-13892,852	-2483,9231	361,453579	-1681,4643	-13930,531	110
-16269,9	16467,9	2545,9551	1930,8918	4131,9066	769,806145	-16269,895	-14482,8925	-17750,198	-14128,503	-1776,149	1350,34896	-2141,3925	-14305,698	120
-16858,7	17022,9	2358,5353	2892,6098	3576,417	1120,107726	-16858,71	-15464,0482	-18389,84	-14501,69	-1238,4276	2006,35876	-2357,0202	-14982,869	130
-17305,6	17420,7	1999,3552	3404,9107	2907,1958	753,7763215	-17305,577	-16788,1796	-18854,869	-14534,354	-1245,5788	2079,3435	-2771,2236	-15661,267	140
-17607,7	17674,9	1540,1659	3330,9854	2044,784	-26740,0277	-17607,706	-18238,0958	-18824,61	20983,081	-28280,194	-11704,521	-38590,787	1372,4927	150
-17789,8	17819,9	1036,1915	2648,7901	1253,4537	-33954,3001	-17789,797	-19546,2606	-18606,74	58567,521	-34990,492	-15652,755	-76357,318	19510,63	160
-17888,4	17896	519,52594	1465,6368	621,10049	-16430,7907	-17888,444	-20455,5721	-18669,503	59671,317	-16950,317	-7482,577	-77559,76	19607,872	170
-17924,4	17924,4	4,938E-13	3,375E-12	1,598E-12	-1,0636E-11	-17924,373	-20781,085	-18242,412	29514,633	-1,113E-11	-3,63E-12	-47439,005	4366,7738	180
-17906,7	17914,3	-521,89919	0	-549,90302	4610,661778	-17906,693	-20781,085	-18122,029	6749,5727	5132,561	2305,33089	-24656,265	-7015,7562	190
-17825,5	17856,1	-1045,679	-1475,665	-1075,5635	4229,01738	-17825,471	-20500,4728	-17937,842	-4868,4957	5274,6964	1376,67598	-12956,976	-12684,484	200
-17654,8	17723,6	-1559,6972	-2687,948	-1600,8891	10958,83587	-17654,806	-19629,8273	-17754,142	399,90642	12518,533	4135,44375	-18054,713	-9614,9605	210
-17361,9	17480,4	-2032,3505	-3393,035	-2082,3128	7691,033958	-17361,886	-18319,0257	-17447,15	-7355,1122	9723,3844	2148,99963	-10006,774	-12837,069	220
-16923,7	17094,4	-2410,205	-3493,703	-2464,2241	5637,251822	-16923,669	-16863,6653	-16991,583	-10832,863	8047,4568	1071,77438	-6090,8061	-13848,264	230
-16358,6	16570,4	-2640,9725	-3008,021	-2670,7912	4653,2201	-16358,583	-15526,7094	-16386,416	-12473,273	7294,1926	822,599508	-3885,3102	-13999,991	240
-15684,2	15904,7	-2639,1728	-2070,761	-2619,1806	4382,218096	-15684,218	-14525,5838	-15670,653	-13445,078	7021,3909	1155,72851	-2239,1398	-13985,331	250
-14980,8	15163,7	-2347,5535	-889,9557	-2242,0664	4469,390828	-14980,84	-13984,6161	-14931,982	-14272,916	6816,9443	1789,71759	-707,92371	-14128,766	260
-14366,8	14473,6	-1755,4961	312,98033	-1515,441	4629,543611	-14366,76	-13920,1075	-14302,05	-15141,502	6385,0397	2471,26197	774,74137	-14530,805	270
-13972,1	14002,7	-925,38449	1349,985	-483,54158	4673,806621	-13972,09	-14257,4489	-13934,585	-16058,273	5599,1911	3011,89582	2086,1828	-15157,861	280
-13892,9	13892,9	-6,7273988	2085,8837	729,63456	4511,397081	-13892,852	-14859,644	-13968,209	-16954,521	4518,1245	3298,64038	3061,6687	-15907,083	290
-14128,5	14149,5	769,80614	2477,1957	1930,8918	4131,906571	-14128,503	-15574,3166	-14482,893	-17750,198	3362,1004	3304,55115	3621,6948	-16662,257	300
-14501,7	14544,9	1120,1077	2545,9551	2892,6098	3576,417002	-14501,69	-16269,8955	-15464,048	-18389,84	2456,3093	3061,18606	3888,1506	-17329,868	310

-14534,4	14553,9	753,77632	2358,5353	3404,9107	2907,195764	-14534,354	-16858,7099	-16788,18	-18854,869	2153,4194	2632,86553	4320,5156	-17856,79	320
20983,1	33990	-26740,028	1999,3552	3330,9854	2044,78396	20983,081	-17305,5771	-18238,096	-18824,61	28784,812	2022,06956	39807,691	-18065,094	330
58567,5	67698,2	-33954,3	1540,1659	2648,7901	1253,453736	58567,521	-17607,7056	-19546,261	-18606,74	35207,754	1396,8098	77174,261	-18107,223	340
59671,3	61892,1	-16430,791	1036,1915	1465,6368	621,1004915	59671,317	-17789,7969	-20455,572	-18669,503	17051,891	828,646	78340,82	-18229,65	350
29514,6	29514,6	-1,064E-11	519,52594	3,375E-12	1,5984E-12	29514,633	-17888,4437	-20781,085	-18242,412	1,223E-11	259,762972	47757,044	-18065,428	360
6749,57	8174,04	4610,6618	4,938E-13	-1475,6654	-549,903022	6749,5727	-17924,3725	-20500,473	-18122,029	-5160,5648	-274,95151	24871,601	-18023,201	370
-4868,5	6448,79	4229,0174	-521,8992	-2687,9484	-1075,56353	-4868,4957	-17906,6928	-19629,827	-17937,842	-5304,5809	-798,73136	13069,347	-17922,268	380
399,906	10966,1	10958,836	-1045,679	-3393,0347	-1600,88915	399,90642	-17825,4714	-18319,026	-17754,142	-12559,725	-1323,2841	18154,048	-17789,807	390
-7355,11	10641,9	7691,034	-1559,697	-3493,7031	-2082,3128	-7355,1122	-17654,8062	-16863,665	-17447,15	-9773,3468	-1821,005	10092,038	-17550,978	400
-10832,9	12211,9	5637,2518	-2032,35	-3008,0211	-2464,22406	-10832,863	-17361,8859	-15526,709	-16991,583	-8101,4759	-2248,2873	6158,7193	-17176,734	410
-12473,3	13313	4653,2201	-2410,205	-2070,7611	-2670,79121	-12473,273	-16923,6694	-14525,584	-16386,416	-7324,0113	-2540,4981	3913,1425	-16655,042	420
-13445,1	14141,2	4382,2181	-2640,973	-889,95566	-2619,18065	-13445,078	-16358,5833	-13984,616	-15670,653	-7001,3987	-2630,0766	2225,5751	-16014,618	430
-14272,9	14956,3	4469,3908	-2639,173	312,98033	-2242,06635	-14272,916	-15684,2179	-13920,108	-14931,982	-6711,4572	-2440,6196	659,06602	-15308,1	440
-15141,5	15833,4	4629,5436	-2347,553	1349,985	-1515,44102	-15141,502	-14980,8397	-14257,449	-14302,05	-6144,9846	-1931,4973	-839,45172	-14641,445	450
-16058,3	16724,6	4673,8066	-1755,496	2085,8837	-483,541577	-16058,273	-14366,7604	-14859,644	-13934,585	-5157,3482	-1119,5189	-2123,6877	-14150,673	460
-16954,5	17544,5	4511,3971	-925,3845	2477,1957	729,6345571	-16954,521	-13972,0902	-15574,317	-13968,209	-3781,7625	-97,874967	-2986,3117	-13970,15	470
-17750,2	18224,8	4131,9066	-6,727399	2545,9551	1930,891771	-17750,198	-13892,8524	-16269,895	-14482,893	-2201,0148	962,082186	-3267,3052	-14187,872	480
-18389,8	18734,4	3576,417	769,80614	2358,5353	2892,609789	-18389,84	-14128,503	-16858,71	-15464,048	-683,80721	1831,20797	-2925,7921	-14796,276	490
-18854,9	19077,7	2907,1958	1120,1077	1999,3552	3404,910671	-18854,869	-14501,6897	-17305,577	-16788,18	497,71491	2262,5092	-2066,6896	-15644,935	500
-18824,6	18935,3	2044,784	753,77632	1540,1659	3330,985432	-18824,61	-14534,3536	-17607,706	-18238,096	1286,2015	2042,38088	-586,51432	-16386,225	510
-18606,7	18648,9	1253,4537	-26740,03	1036,1915	2648,79008	-18606,74	20983,0811	-17789,797	-19546,261	1395,3363	-12045,619	939,52076	718,41026	520
-18669,5	18679,8	621,10049	-33954,3	519,52594	1465,636802	-18669,503	58567,5215	-17888,444	-20455,572	844,53631	-16244,332	1786,0694	19055,975	530
-18242,4	18242,4	1,598E-12	-16430,79	4,938E-13	3,37531E-12	-18242,412	59671,3168	-17924,373	-20781,085	1,777E-12	-8215,3954	2538,6733	19445,116	540
-18122	18130,4	-549,90302	-1,06E-11	-521,89919	0	-18122,029	29514,6326	-17906,693	-20781,085	549,90302	-5,318E-12	2659,0564	4366,7738	550
-17937,8	17970,1	-1075,5635	4610,6618	-1045,679	-1475,66542	-17937,842	6749,57268	-17825,471	-20500,473	-400,1019	1567,49818	2562,6304	-6875,4501	560
-17754,1	17826,2	-1600,8891	4229,0174	-1559,6972	-2687,94837	-17754,142	-4868,49566	-17654,806	-19629,827	-1087,0592	770,534506	1875,6854	-12249,161	570
-17447,2	17571	-2082,3128	10958,836	-2032,3505	-3393,03469	-17447,15	399,906423	-17361,886	-18319,026	-1310,7219	3782,90059	871,87568	-8959,5596	580
-16991,6	17169,3	-2464,2241	7691,034	-2410,205	-3493,70305	-16991,583	-7355,11221	-16923,669	-16863,665	-1029,479	2098,66545	-127,91737	-12109,389	590

-16386,4	16602,6	-2670,7912	5637,2518	-2640,9725	-3008,02108	-16386,416	-10832,8633	-16358,583	-15526,709	-337,22988	1314,61537	-859,70619	-13179,786	600
-15670,7	15888	-2619,1806	4653,2201	-2639,1728	-2070,76107	-15670,653	-12473,2731	-15684,218	-14525,584	548,41957	1291,22951	-1145,0695	-13499,428	610
-14932	15099,4	-2242,0664	4382,2181	-2347,5535	-889,955658	-14931,982	-13445,0782	-14980,84	-13984,616	1352,1107	1746,13122	-947,36584	-13714,847	620
-14302,1	14382,1	-1515,441	4469,3908	-1755,4961	312,980335	-14302,05	-14272,9159	-14366,76	-13920,108	1828,4214	2391,18558	-381,94251	-14096,512	630
-13934,6	13943	-483,54158	4629,5436	-925,38449	1349,985019	-13934,585	-15141,5017	-13972,09	-14257,449	1833,5266	2989,76432	322,86369	-14699,475	640
-13968,2	13987,3	729,63456	4673,8066	-6,7273988	2085,883682	-13968,209	-16058,273	-13892,852	-14859,644	1356,2491	3379,84515	891,43465	-15458,958	650
-14482,9	14611	1930,8918	4511,3971	769,80614	2477,195732	-14482,893	-16954,521	-14128,503	-15574,317	546,30396	3494,29641	1091,4241	-16264,419	660
-15464	15732,3	2892,6098	4131,9066	1120,1077	2545,95511	-15464,048	-17750,1978	-14501,69	-16269,895	-346,65468	3338,93084	805,84729	-17010,047	670
-16788,2	17130	3404,9107	3576,417	753,77632	2358,535287	-16788,18	-18389,8403	-14534,354	-16858,71	-1046,3754	2967,47614	70,530251	-17624,275	680
-18238,1	18539,8	3330,9854	2907,1958	-26740,028	1999,355166	-18238,096	-18854,8692	20983,081	-17305,577	-1331,6303	2453,27546	-932,51863	-18080,223	690
-19546,3	19724,9	2648,7901	2044,784	-33954,3	1540,16586	-19546,261	-18824,6101	58567,521	-17607,706	-1108,6242	1792,47491	-1938,555	-18216,158	700
-20455,6	20508	1465,6368	1253,4537	-16430,791	1036,191508	-20455,572	-18606,7398	59671,317	-17789,797	-429,44529	1144,82262	-2665,7752	-18198,268	710
-20781,1	20781,1	3,375E-12	621,10049	-1,064E-11	519,5259437	-20781,085	-18669,5027	29514,633	-17888,444	519,52594	570,313218	-2892,6414	-18278,973	720

Таблица Г5 – Силы действующие на шатунную шейку

$K_{Rш}, Н$	$P_k, Н$	$P_k, Н$	$\psi, рад$	$\psi, град$	$Rш.ш., Н$	$\varphi_{кв}, град$
-5275,0075	-12162,6	12162,55169	0	0	12163	0
-5275,0075	-11881,9	11881,93945	0,1235613	7,0795411	11973	10
-5275,0075	-11011,3	11011,29399	0,2394259	13,718094	11335	20
-5275,0075	-9700,49	9700,49233	0,3364785	19,278797	10277	30
-5275,0075	-8245,13	8245,131908	0,4007938	22,963791	8954,8	40
-5275,0075	-6908,18	6908,176016	0,4106709	23,529712	7534,7	50
-5275,0075	-5907,05	5907,050457	0,3371714	19,3185	6259,5	60
-5275,0075	-5366,08	5366,082774	0,1643523	9,416694	5439,4	70
-5275,0075	-5301,57	5301,574162	-0,0589669	-3,3785556	5310,8	80
-5275,0075	-5638,92	5638,915593	-0,2349824	-13,463499	5798,3	90
-5275,0075	-6241,11	6241,110654	-0,3225454	-18,480491	6580,5	100
-5275,0075	-6955,78	6955,783273	-0,3421295	-19,602578	7383,7	110
-5275,0075	-7651,36	7651,362144	-0,3212213	-18,404623	8063,8	120
-5275,0075	-8240,18	8240,176516	-0,2787707	-15,972386	8571,1	130
-5275,0075	-8687,04	8687,043773	-0,2262143	-12,961128	8914,2	140
-5275,0075	-8989,17	8989,172222	-0,169688	-9,7224077	9120,2	150
-5275,0075	-9171,26	9171,26357	-0,1125053	-6,4460802	9229,6	160
-5275,0075	-9269,91	9269,910304	-0,0559858	-3,2077481	9284,5	170
-5275,0075	-9305,84	9305,839164	-5,307E-17	-3,041E-15	9305,8	180
-5275,0075	-9288,16	9288,159439	0,0561307	3,2160527	9302,8	190
-5275,0075	-9206,94	9206,938098	0,1130905	6,4796087	9266,1	200
-5275,0075	-9036,27	9036,27282	0,17092	9,7929926	9169,9	210
-5275,0075	-8743,35	8743,35254	0,2283895	13,085755	8976,5	220
-5275,0075	-8305,14	8305,1361	0,282448	16,183076	8647,8	230
-5275,0075	-7740,05	7740,049923	0,3288216	18,840089	8178,2	240
-5275,0075	-7065,68	7065,684603	0,3574723	20,481654	7542,5	250
-5275,0075	-6362,31	6362,306304	0,353481	20,252971	6781,6	260
-5275,0075	-5748,23	5748,227019	0,2964016	16,982558	6010,3	270
-5275,0075	-5353,56	5353,55684	0,1711628	9,8069072	5432,9	280
-5275,0075	-5274,32	5274,319003	0,0012755	0,0730808	5274,3	290
-5275,0075	-5509,97	5509,969666	-0,138813	-7,9533979	5563,5	300
-5275,0075	-5883,16	5883,156364	-0,1881406	-10,77966	5988,8	310
-5275,0075	-5915,82	5915,820219	-0,1267341	-7,2613314	5963,6	320
-5275,0075	29601,61	-29601,6144	-0,7346519	-42,092451	39891	330
-5275,0075	67186,05	-67186,0548	-0,4679401	-26,810993	75279	340
-5275,0075	68289,85	-68289,8502	-0,2361157	-13,528434	70239	350
-5275,0075	38133,17	-38133,166	-2,789E-16	-1,598E-14	38133	360
-5275,0075	15368,11	-15368,106	0,2914705	16,700031	16045	370
-5275,0075	3750,038	-3750,03769	0,8453558	48,435322	5652,2	380
-5275,0075	9018,44	-9018,43977	0,8822246	50,547746	14193	390
-5275,0075	1263,421	-1263,42113	1,4079785	80,671228	7794,1	400
-5275,0075	-2214,33	2214,329983	-1,1965095	-68,554946	6056,6	410

-5275,0075	-3854,74	3854,739719	-0,878975	-50,36156	6042,5	420
-5275,0075	-4826,54	4826,544817	-0,7371851	-42,237597	6519,2	430
-5275,0075	-5654,38	5654,382593	-0,668878	-38,323885	7207,5	440
-5275,0075	-6522,97	6522,968388	-0,6172261	-35,364449	7998,9	450
-5275,0075	-7439,74	7439,739623	-0,5609128	-32,137934	8786	460
-5275,0075	-8335,99	8335,987661	-0,4960582	-28,422042	9478,5	470
-5275,0075	-9131,66	9131,664432	-0,4249154	-24,345858	10023	480
-5275,0075	-9771,31	9771,306955	-0,3508677	-20,103239	10405	490
-5275,0075	-10236,3	10236,33583	-0,2767209	-15,854942	10641	500
-5275,0075	-10206,1	10206,07672	-0,1977317	-11,329194	10409	510
-5275,0075	-9988,21	9988,206457	-0,1248407	-7,1528481	10067	520
-5275,0075	-10051	10050,96937	-0,0617166	-3,536101	10070	530
-5275,0075	-9623,88	9623,878425	-1,661E-16	-9,516E-15	9623,9	540
-5275,0075	-9503,5	9503,495322	0,0577988	3,3116267	9519,4	550
-5275,0075	-9319,31	9319,309042	0,114904	6,5835139	9381,2	560
-5275,0075	-9135,61	9135,608592	0,1734748	9,939375	9274,8	570
-5275,0075	-8828,62	8828,616654	0,2316263	13,271209	9070,9	580
-5275,0075	-8373,05	8373,049273	0,2862232	16,399381	8728,1	590
-5275,0075	-7767,88	7767,882204	0,331163	18,974245	8214,2	600
-5275,0075	-7052,12	7052,119952	0,3556137	20,375163	7522,8	610
-5275,0075	-6313,45	6313,448617	0,3412336	19,551246	6699,7	620
-5275,0075	-5683,52	5683,516668	0,2605755	14,929879	5882,1	630
-5275,0075	-5316,05	5316,051905	0,0907092	5,1972523	5338	640
-5275,0075	-5349,68	5349,676008	-0,1355522	-7,7665674	5399,2	650
-5275,0075	-5864,36	5864,359191	-0,318079	-18,224584	6174,1	660
-5275,0075	-6845,51	6845,514853	-0,3997983	-22,906755	7431,6	670
-5275,0075	-8169,65	8169,646265	-0,3948841	-22,625192	8850,8	680
-5275,0075	-9619,56	9619,562404	-0,3333498	-19,099539	10180	690
-5275,0075	-10927,7	10927,72722	-0,2378052	-13,625232	11244	700
-5275,0075	-11837	11837,03875	-0,1231909	-7,058317	11927	710
-5275,0075	-12162,6	12162,55169	-2,775E-16	-1,59E-14	12163	720

Таблица Гб – 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	18083,4	18083,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18083,4
Рк.ш 10	18022,3	18022,3	18022	0	0	0	0	0	0	0	0	18022,3
Рк.ш 20	17913,1	17913,1	17913	0	0	0	0	0	0	0	0	17913,1
Рк.ш 30	17774,9	17774,9	17775	0	0	0	0	0	0	0	0	17774,9
Рк.ш 40	17525,7	17525,7	17526	0	0	0	0	0	0	0	0	17525,7
Рк.ш 50	17131,9	17131,9	17132	0	0	0	0	0	0	0	0	17131,9
Рк.ш 60	16586,5	16586,5	16587	0	0	0	0	0	0	0	0	16586,5
Рк.ш 70	15896,4	15896,4	15896	0	0	0	0	0	0	0	0	15896,4
Рк.ш 80	15131,4	15131,4	0	0	0	0	0	0	0	0	15131	15131,4
Рк.ш 90	14427,4	14427,4	0	0	0	0	0	0	0	0	14427	14427,4
Рк.ш 100	13971,1	13971,1	0	0	0	0	0	0	0	0	13971	13971,1

Rk.III 110	13935,2	13935,2	0	0	0	0	0	0	0	0	13935	13935,2
Rk.III 120	14369,3	14369,3	0	0	0	0	0	0	0	0	14369	14369,3
Rk.III 130	15116,6	15116,6	0	0	0	0	0	0	0	0	15117	15116,6
Rk.III 140	15798,7	15798,7	0	0	0	0	0	0	0	0	15799	15798,7
Rk.III 150	11784,7	11784,7	0	0	0	0	0	0	0	0	11785	11784,7
Rk.III 160	25013,5	25013,5	0	0	0	0	0	0	0	0	25013	25013,5
Rk.III 170	20987,1	20987,1	0	0	0	0	0	0	0	0	20987	20987,1
Rk.III 180	4366,77	4366,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4366,77
Rk.III 190	7384,81	7384,81	7384,8	0	0	0	0	0	0	0	0	7384,81
Rk.III 200	12759	12759	12759	0	0	0	0	0	0	0	0	12759
Rk.III 210	10466,6	10466,6	10467	0	0	0	0	0	0	0	0	10466,6
Rk.III 220	13015,7	13015,7	13016	0	0	0	0	0	0	0	0	13015,7
Rk.III 230	13889,7	13889,7	13890	0	0	0	0	0	0	0	0	13889,7
Rk.III 240	14024,1	14024,1	14024	0	0	0	0	0	0	0	0	14024,1
Rk.III 250	14033	14033	14033	0	0	0	0	0	0	0	0	14033
Rk.III 260	14241,7	14241,7	14242	0	0	0	0	0	0	0	0	14241,7
Rk.III 270	14739,5	14739,5	14739	0	0	0	0	0	0	0	0	14739,5
Rk.III 280	15454,2	15454,2	15454	0	0	0	0	0	0	0	0	15454,2
Rk.III 290	16245,5	16245,5	16246	0	0	0	0	0	0	0	0	16245,5
Rk.III 300	16986,8	16986,8	0	0	0	0	0	0	0	0	16987	16986,8
Rk.III 310	17598,2	17598,2	0	0	0	0	0	0	0	0	17598	17598,2
Rk.III 320	18049,8	18049,8	0	0	0	0	0	0	0	0	18050	18049,8
Rk.III 330	18177,9	0	0	0	0	0	0	0	0	18177,909	18178	18177,9
Rk.III 340	18161	18161	0	0	0	0	0	0	0	0	18161	18161
Rk.III 350	18248,5	18248,5	0	0	0	0	0	0	0	0	18248	18248,5
Rk.III 360	18067,3	18067,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18067,3
Rk.III 370	18025,3	18025,3	18025	0	0	0	0	0	0	0	0	18025,3
Rk.III 380	17940,1	17940,1	17940	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 390	17839	17839	17839	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 400	0	17645,2	17645	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17323	17323,3
Rk.III 420	16847,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16848	16847,7
Rk.III 430	16229,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16229	16229,1
Rk.III 440	15501,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15501	15501,4
Rk.III 450	14768,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14768	14768,3
Rk.III 460	14194,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14195	14194,9
Rk.III 470	13970,5	13970,5	0	0	0	0	0	0	0	0	13970	13970,5
Rk.III 480	14220,5	14220,5	0	0	0	0	0	0	0	0	14220	14220,5
Rk.III 490	14909,2	14909,2	0	0	0	0	0	0	0	0	14909	14909,2
Rk.III 500	15807,7	15807,7	0	0	0	0	0	0	0	0	15808	15807,7
Rk.III 510	16513	16513	0	0	0	0	0	0	0	0	16513	16513
Rk.III 520	12067	12067	0	0	0	0	0	0	0	0	12067	12067
Rk.III 530	25040,1	25040,1	0	0	0	0	0	0	0	0	25040	25040,1
Rk.III 540	21109,4	21109,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21109,4
Rk.III 550	4366,77	4366,77	4366,8	0	0	0	0	0	0	0	0	4366,77
Rk.III 560	7051,87	7051,87	7051,9	0	0	0	0	0	0	0	0	7051,87
Rk.III 570	12273,4	12273,4	12273	0	0	0	0	0	0	0	0	12273,4
Rk.III 580	9725,43	9725,43	9725,4	0	0	0	0	0	0	0	0	9725,43
Rk.III 590	12289,9	12289,9	12290	0	0	0	0	0	0	0	0	12289,9
Rk.III 600	13245,2	13245,2	13245	0	0	0	0	0	0	0	0	13245,2
Rk.III 610	13561	13561	13561	0	0	0	0	0	0	0	0	13561
Rk.III 620	13825,6	13825,6	13826	0	0	0	0	0	0	0	0	13825,6
Rk.III 630	14297,9	14297,9	14298	0	0	0	0	0	0	0	0	14297,9
Rk.III 640	15000,4	15000,4	15000	0	0	0	0	0	0	0	0	15000,4
Rk.III 650	15824,1	15824,1	0	0	0	0	0	0	0	0	15824	15824,1
Rk.III 660	16635,5	16635,5	0	0	0	0	0	0	0	0	16636	16635,5
Rk.III 670	17334,7	17334,7	0	0	0	0	0	0	0	0	17335	17334,7
Rk.III 680	17872,4	17872,4	0	0	0	0	0	0	0	0	17872	17872,4
Rk.III 690	18245,9	18245,9	0	0	0	0	0	0	0	0	18246	18245,9
Rk.III 700	18304,1	18304,1	0	0	0	0	0	0	0	0	18304	18304,1
Rk.III 710	18234,2	18234,2	0	0	0	0	0	0	0	0	18234	18234,2
ΣRk.III i	18287,9	18287,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18287,9

Таблица Г8 - 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	10390,543	10390,543	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10390,543
Рк.ш 10	10276,757	10276,757	10276,757	0	0	0	0	0	0	0	0	10276,757
Рк.ш 20	9906,5028	9906,5028	9906,5028	0	0	0	0	0	0	0	0	9906,5028
Рк.ш 30	9315,3017	9315,3017	9315,3017	0	0	0	0	0	0	0	0	9315,3017
Рк.ш 40	8610,8822	8610,8822	8610,8822	0	0	0	0	0	0	0	0	8610,8822
Рк.ш 50	7907,7003	7907,7003	7907,7003	0	0	0	0	0	0	0	0	7907,7003
Рк.ш 60	7336,2224	7336,2224	7336,2224	0	0	0	0	0	0	0	0	7336,2224
Рк.ш 70	7006,4525	7006,4525	7006,4525	0	0	0	0	0	0	0	0	7006,4525
Рк.ш 80	6961,8128	6961,8128	0	0	0	0	0	0	0	0	6961,8128	6961,8128
Рк.ш 90	7160,6094	7160,6094	0	0	0	0	0	0	0	0	7160,6094	7160,6094
Рк.ш 100	7502,665	7502,665	0	0	0	0	0	0	0	0	7502,665	7502,665
Рк.ш 110	7885,0466	7885,0466	0	0	0	0	0	0	0	0	7885,0466	7885,0466
Рк.ш 120	8233,9448	8233,9448	0	0	0	0	0	0	0	0	8233,9448	8233,9448
Рк.ш 130	8511,445	8511,445	0	0	0	0	0	0	0	0	8511,445	8511,445
Рк.ш 140	8710,3447	8710,3447	0	0	0	0	0	0	0	0	8710,3447	8710,3447
Рк.ш 150	8837,4686	8837,4686	0	0	0	0	0	0	0	0	8837,4686	8837,4686
Рк.ш 160	8909,9743	8909,9743	0	0	0	0	0	0	0	0	8909,9743	8909,9743
Рк.ш 170	8947,9931	8947,9931	0	0	0	0	0	0	0	0	8947,9931	8947,9931
Рк.ш 180	8962,1863	8962,1863	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8962,1863
Рк.ш 190	8957,1483	8957,1483	8957,1483	0	0	0	0	0	0	0	0	8957,1483
Рк.ш 200	8928,058	8928,058	8928,058	0	0	0	0	0	0	0	0	8928,058
Рк.ш 210	8861,7836	8861,7836	8861,7836	0	0	0	0	0	0	0	0	8861,7836
Рк.ш 220	8740,2164	8740,2164	8740,2164	0	0	0	0	0	0	0	0	8740,2164
Рк.ш 230	8547,217	8547,217	8547,217	0	0	0	0	0	0	0	0	8547,217
Рк.ш 240	8285,1974	8285,1974	8285,1974	0	0	0	0	0	0	0	0	8285,1974
Рк.ш 250	7952,357	7952,357	7952,357	0	0	0	0	0	0	0	0	7952,357
Рк.ш 260	7581,8297	7581,8297	7581,8297	0	0	0	0	0	0	0	0	7581,8297
Рк.ш 270	7236,8082	7236,8082	7236,8082	0	0	0	0	0	0	0	0	7236,8082
Рк.ш 280	7001,3506	7001,3506	7001,3506	0	0	0	0	0	0	0	0	7001,3506
Рк.ш 290	6946,427	6946,427	6946,427	0	0	0	0	0	0	0	0	6946,427
Рк.ш 300	7074,7297	7074,7297	0	0	0	0	0	0	0	0	7074,7297	7074,7297
Рк.ш 310	7272,4419	7272,4419	0	0	0	0	0	0	0	0	7272,4419	7272,4419
Рк.ш 320	7276,9433	7276,9433	0	0	0	0	0	0	0	0	7276,9433	7276,9433
Рк.ш 330	16994,99	0	0	0	0	0	0	0	0	16994,99	16994,99	16994,99
Рк.ш 340	33849,11	33849,11	0	0	0	0	0	0	0	0	33849,11	33849,11
Рк.ш 350	30946,07	30946,07	0	0	0	0	0	0	0	0	30946,07	30946,07
Рк.ш 360	14757,316	14757,316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14757,316
Рк.ш 370	4087,0201	4087,0201	4087,0201	0	0	0	0	0	0	0	0	4087,0201
Рк.ш 380	3224,3929	3224,3929	3224,3929	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 390	5483,065	5483,065	5483,065	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 400	0	5320,9416	5320,9416	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6105,9302	6105,9302
Рк.ш 420	6656,4818	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6656,4818	6656,4818
Рк.ш 430	7070,6075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7070,6075	7070,6075
Рк.ш 440	7478,1613	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7478,1613	7478,1613
Рк.ш 450	7916,7188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7916,7188	7916,7188
Рк.ш 460	8362,3053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8362,3053	8362,3053
Рк.ш 470	8772,2358	8772,2358	0	0	0	0	0	0	0	0	8772,2358	8772,2358
Рк.ш 480	9112,3841	9112,3841	0	0	0	0	0	0	0	0	9112,3841	9112,3841
Рк.ш 490	9367,1899	9367,1899	0	0	0	0	0	0	0	0	9367,1899	9367,1899
Рк.ш 500	9538,8401	9538,8401	0	0	0	0	0	0	0	0	9538,8401	9538,8401
Рк.ш 510	9467,6698	9467,6698	0	0	0	0	0	0	0	0	9467,6698	9467,6698
Рк.ш 520	9324,4559	9324,4559	0	0	0	0	0	0	0	0	9324,4559	9324,4559
Рк.ш 530	9339,9157	9339,9157	0	0	0	0	0	0	0	0	9339,9157	9339,9157
Рк.ш 540	9121,2059	9121,2059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9121,2059
Рк.ш 550	9065,185	9065,185	9065,185	0	0	0	0	0	0	0	0	9065,185
Рк.ш 560	8985,0296	8985,0296	8985,0296	0	0	0	0	0	0	0	0	8985,0296
Рк.ш 570	8913,0859	8913,0859	8913,0859	0	0	0	0	0	0	0	0	8913,0859
Рк.ш 580	8785,4862	8785,4862	8785,4862	0	0	0	0	0	0	0	0	8785,4862
Рк.ш 590	8584,6706	8584,6706	8584,6706	0	0	0	0	0	0	0	0	8584,6706
Рк.ш 600	8301,3213	8301,3213	8301,3213	0	0	0	0	0	0	0	0	8301,3213
Рк.ш 610	7944,0148	7944,0148	7944,0148	0	0	0	0	0	0	0	0	7944,0148
Рк.ш 620	7549,6845	7549,6845	7549,6845	0	0	0	0	0	0	0	0	7549,6845

Рк.ш 630	7191,0569	7191,0569	7191,0569	0	0	0	0	0	0	0	0	7191,0569
Рк.ш 640	6971,4862	6971,4862	6971,4862	0	0	0	0	0	0	0	0	6971,4862
Рк.ш 650	6993,6264	6993,6264	0	0	0	0	0	0	0	0	6993,6264	6993,6264
Рк.ш 660	7305,5205	7305,5205	0	0	0	0	0	0	0	0	7305,5205	7305,5205
Рк.ш 670	7866,1296	7866,1296	0	0	0	0	0	0	0	0	7866,1296	7866,1296
Рк.ш 680	8564,9926	8564,9926	0	0	0	0	0	0	0	0	8564,9926	8564,9926
Рк.ш 690	9269,8921	9269,8921	0	0	0	0	0	0	0	0	9269,8921	9269,8921
Рк.ш 700	9862,459	9862,459	0	0	0	0	0	0	0	0	9862,459	9862,459
Рк.ш 710	10254,006	10254,006	0	0	0	0	0	0	0	0	10254,006	10254,006
ΣРк.ш i	10390,543	10390,543	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10390,543

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Д.1 Расчет поршневой группы [5]

Д.1.1 Расчет поршня

Напряжение изгиба в днище поршня

$$\sigma_{из} = p_{ZД}(r_i/\delta)^2 = 7,659(31,75/6,5)^2 = 182,2 \text{ МПа}, \quad (\text{Д.1})$$

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 x – x

$$\sigma_{сж} = P_{ZД}/F_{x-x} = 0,0409/0,00103 = 39,9 \text{ МПа}, \quad (\text{Д.2})$$

где $P_{ZД} = p_{ZД} \cdot F_{П} = 7,659 \cdot 53,45 \cdot 10^{-4} = 0,0409 \text{ МН}$; (Д.3)

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

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

$$F = (d_k - d_i) d_M / 2 = (73,5 - 63,5) \cdot 1/2 = 5 \text{ мм}^2. \quad (\text{Д.6})$$

Напряжение разрыва в сечении x – x:

$$\omega_{x-x \max} = \pi n_{x-x \max} / 30 = 3,14 \cdot 7500 / 30 = 785 \text{ рад/с}; \quad (\text{Д.7})$$

масса головки поршня с кольцами, расположенными выше сечения x – x:

$$m_{x-x} = 0,5 m_n = 0,5 \cdot 0,316 = 0,158 \text{ кг}; \quad (\text{Д.8})$$

максимальная разрывающая сила

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{x-x \max}^2 (1 + \lambda) = 0,158 \cdot 0,0374 \cdot 785^2 (1 + 0,289) = 0,0045 \text{ МН}; \quad (\text{Д.9})$$

Напряжение разрыва

$$\sigma_p = P_j / F_{x-x} = 0,0045 / 0,00103 = 4,4 \text{ МПа}. \quad (\text{Д.10})$$

Напряжение в верхней кольцевой перемычке:

среза

$$\tau = 0,0314 p_{z\text{д}} D / h_{\text{II}} = 0,0314 \cdot 7,659 \cdot 82,5 / 3,7 = 5,4 \text{ МПа}; \quad (\text{Д.11})$$

изгиба

$$\sigma_{\text{из}} = 0,0045 p_{z\text{д}} (D / h_{\text{II}})^2 = 0,0045 \cdot 7,659 \cdot (82,5 / 3,7)^2 = 17,1 \text{ МПа}; \quad (\text{Д.12})$$

сложное

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{из}}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{17,1^2 + 4 \cdot 5,4^2} = 20,2 \text{ МПа}. \quad (\text{Д.13})$$

удельное давление поршня на стенку цилиндра:

$$q_1 = N_{\text{max}} / (h_{\text{ю}} D) = 0,0079 / (31,3 \cdot 82,5) \cdot 10^{-3} = 3,059 \text{ МПа}; \quad (\text{Д.14})$$

$$q_2 = N_{\text{max}} / (H D) = 0,0079 / (50,3 \cdot 82,5) \cdot 10^{-3} = 1,904 \text{ МПа}. \quad (\text{Д.15})$$

Диаметры головки и юбки поршня:

$$D_{\Gamma} = D - \Delta_{\Gamma} = 82 - 0,57 = 81,43 \text{ мм}; \quad (\text{Д.16})$$

$$D_{\text{Ю}} = D - \Delta_{\text{Ю}} = 82 - 0,165 = 81,835 \text{ мм}, \quad (\text{Д.17})$$

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

Диаметральные зазоры в горячем состоянии

$$\Delta'_{\varepsilon} = D[1 + \alpha_{\text{ц}}(T_{\text{ц}} - T_0)] - D_{\varepsilon}[1 + \alpha_{\text{н}}(T_{\text{н}} - T_0)] = \quad (\text{Д.18})$$

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

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{ю}} &= D[1 + \alpha_{\text{ц}}(T_{\text{ю}} - T_0)] - D_{\text{ю}}[1 + \alpha_{\text{н}}(T_{\text{ю}} - T_0)] = \\ &= 82,5[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 293)] - 82,335[1 + 22 \cdot 10^{-6}(413 - 293)] = 0,056 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (\text{Д.19})$$

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

Д.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

$$P_{\text{ср}} = 0,152 E \frac{A_0/t}{(D/t-1)^3(D/t)} = 0,152 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot \frac{11,7/3,9}{(82,5/3,9-1)^3(82,5/3,9)} = 0,265 \text{ МПа}, \quad (\text{Д.20})$$

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

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

$$p = p_{\text{ср}} \mu_{\text{к}} \quad (\text{Д.21})$$

Значения $\mu_{\text{к}}$ для различных углов ψ , а также результаты расчета p приведены ниже.

Таблица Д.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

$$\sigma_{из1} = 2,61 p_{cp} (D/t - 1)^2 = 2,61 \cdot 0,265 (82,5/3,9 - 1)^2 = 279 \text{ МПа.} \quad (\text{Д.22})$$

$$\sigma_{из2} = \frac{4E(1 - 0,114 A_0/t)}{m(D/t - 1,4)(D/t)} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^5 (1 - 0,114 \cdot 11,7/3,9)}{1,57(82,5/3,9 - 1,4)(82,5/3,9)} = 401 \text{ МПа.} \quad (\text{Д.23})$$

Напряжение изгиба при давлении кольца на поршень

Монтажный зазор в рамке поршневого кольца

$$\Delta_k = \Delta'_k + \pi D [\alpha_k (T_k - T_0) - \alpha_y (T_y - T_0)] = \quad (\text{Д.24})$$

$$0,08 + 3,14 \cdot 82,5 [11 \cdot 10^{-6} (493 - 293) - 11 \cdot 10^{-6} (383 - 293)] = 0,414 \text{ мм,}$$

Д.1.3 Расчет поршневого пальца

Расчетная сила, действующая на поршневой палец:

газовая

$$P_{z \max} = p_{z \max} F_n = 9,1489 \cdot 53,45 \cdot 10^4 = 0,0409 \text{ МН;} \quad (\text{Д.25})$$

инерционная

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

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

расчетная

$$P = P_{z \max} + k P_j = 0,0409 - 0,82 \cdot 0,00703 = 0,0352 \text{ МН.} \quad (\text{Д.26})$$

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

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна

$$q_{uv} = P/d_n l_{uv} = 0,0352/0,022 \cdot 0,028 = 68,1 \text{ МПа.} \quad (\text{Д.27})$$

Удельное давление пальца на бобышки

$$q_{\bar{o}} = P/d_n (l_n - b) = 0,0352/0,022(0,028 - 0,032) = 53,3 \text{ МПа.} \quad (\text{Д.28})$$

Напряжение изгиба в среднем сечении пальца

$$\sigma_{uz} = \frac{P(l_n + 2b - 1,5l_{uv})}{1,2(1 - \alpha^4)d_n^3} = \frac{0,0352(0,068 + 2 \cdot 0,032 - 1,5 \cdot 0,028)}{1,2(1 - 0,682^4)0,022^3} = 262,5 \text{ МПа,} \quad (\text{Д.29})$$

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

Касательная напряжения среза в сечениях между бобышками и головкой шатуна

$$\tau = \frac{0,85P(1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4)d_n^2} = \frac{0,85 \cdot 0,0352(1 + 0,682 + 0,682^2)}{(1 - 0,682^2) \cdot 0,022^2} = 132 \text{ МПа.} \quad (\text{Д.30})$$

Наибольшее увеличение горизонтального диаметра пальца при овализации:

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

Напряжение овализации на внешней поверхности пальца:
в горизонтальной плоскости (точки 1, $\psi = 0^0$)

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha 0} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] \\ &= \frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,19 \frac{(2 + 0,682)(1 + 0,682)}{(1 - 0,682)^2} - \frac{1}{1 - 0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 73 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (\text{Д.31})$$

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

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90} &= -\frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} + \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,174 \frac{(2+0,682)(1+0,682)}{(1-0,682)^2} + \frac{0,636}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -92,6 \text{ МПа}\end{aligned} \quad , (Д.32)$$

Напряжение овализации на внутренней поверхности пальца:

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

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

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

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

Д.2 Расчет шатуна.[5]

Д.2.1 Расчет стержня шатуна

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

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

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

$$P_{сж} = \left[F_n P_r - m_j R \omega^2 (1 + \lambda) \right] \cdot 10^{-6} = -0,010971 \text{ МН}$$

Площадь и моменты инерции

$$F_{ср} = h_{ш} b_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш}) = 15 \cdot 14 - (14 - 7)(15 - 2 \cdot 4,4) = 166,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

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

$$J_y = [b_{ш}^3 \cdot h_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})^3 (h_{ш} - 2t_{ш})] / 12 = [15 \cdot 14^3 - (14 - 7)^3 (15 - 2 \cdot 4,4)] / 12 = 3252,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Максимальное напряжение от сжимающей силы:

в плоскости качания шатуна

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

где $K_x = 1,268$

в плоскости, перпендикулярной плоскости качания шатуна:

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

где $K_y = 1,095$

Минимальное напряжение от растягивающей силы

$$\sigma_{\min} = P_r / F_{ср} = 0,029719 / 166,6 \cdot 10^{-6} = -65,852 \text{ МПа}.$$

Среднее напряжение и амплитуды цикла:

$$\sigma_{m,x} := \frac{\sigma_{\max, x} + \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{m,x} = 80,2371 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{m.y} := \frac{\sigma_{max.y} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_{m.y} = 64.7456 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a.x} := \frac{\sigma_{max.x} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_{a.x} = 146.0893 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a.y} := \frac{\sigma_{max.y} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_{a.y} = 130.5978 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a.k.x} := \frac{\sigma_{a.x} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_M \cdot \varepsilon_{II}}$$

$$\sigma_{a.k.x} = 277.8492 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{a.k.y} := \frac{\sigma_{a.y} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_M \cdot \varepsilon_{II}}$$

$$\sigma_{a.k.y} = 248.3857 \text{ МПа}$$

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.

$$n_{T.\sigma.x} := \frac{\sigma_T}{\sigma_{a.k.x} + \sigma_{m.x}}$$

$$n_{T.\sigma.x} = 1.1729$$

$$n_{T.\sigma.y} := \frac{\sigma_T}{\sigma_{a.k.y} + \sigma_{m.y}}$$

$$n_{T.\sigma.y} = 1.34129$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Е.1 Расчет элементов системы смазки.[1]

Е.1.1 Расчет масляного насоса

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

Количество тепла, отводимого маслом от двигателя:

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

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

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

Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе

$$V^* = 2V_u = 2 \cdot 0,000238 = 0,000478 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

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

Расчетная производительность насоса

$$V_p = V^* / \eta_n = 0,000478 / 0,7 = 0,000682 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

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

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

Диаметр внешней окружности шестерни

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

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

Частота вращения шестерни (насоса)

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

$$b = \frac{60 \cdot V_p}{2\pi m^2 z n_n} = \frac{60 \cdot 0,000682}{2 \cdot 3,14 \cdot 4,5^2 \cdot 7 \cdot 3000} = 0,015 \text{ м.}, \quad (\text{E.1})$$

Длина зуба шестерни

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

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

Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:

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

Е.1.2 Расчет масляного радиатора

Количество тепла, отводимого маслом от двигателя $Q_m=4530$ кДж/с.

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

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

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

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

Коэффициент теплопередачи от масла к воде

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

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

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

Поверхность охлаждения масляного радиатора, омываемая водой:

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

Е.2 Расчет элементов системы охлаждения.[1]

Е.2.1 Расчет водяного насоса

По данным теплового баланса количество тепла, отводимого от двигателя водой: $Q_{\text{в}}=69730 \text{ Дж}/\text{с}$; средняя теплоемкость воды $c_{\text{ж}}=4187 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$, средняя плотность воды $\rho_{\text{ж}}=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; напор, создаваемый насосом, принимается $p_{\text{ж}}=120000 \text{ Па}$; частота вращения насоса $n_{\text{в.н}}=4600 \text{ об}/\text{мин}$.

Циркуляционный расход воды в системе охлаждения

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

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

Расчетная производительность насоса

$$G_{ж.п} = G_{ж.с} / \eta = 0,00173 / 0,82 = 0,00212 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (\text{E.4})$$

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

Радиус входного отверстия крыльчатки

$$r_1 = \sqrt{G_{ж.п} / (\pi c_1) + r_0^2} = \sqrt{0,00212 / (3,14 \cdot 1,8) + 0,01^2} = 0,0193 \text{ м}, \quad (\text{E.5})$$

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

$$\begin{aligned} u_2 &= \sqrt{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{ctg} \beta_2} \sqrt{p_{ж.с} / (\rho_{ж.с} \eta_h)} = \\ &= \sqrt{1 + \operatorname{tg} 10^0 \operatorname{ctg} 45^0} \sqrt{120000 / (1000 \cdot 0,65)} = 14,7 \text{ м/с}, \end{aligned} \quad (\text{E.6})$$

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

Радиус крыльчатки колеса на выходе

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

Окружная скорость входа потока

$$u_1 = u_2 r_1 / r_2 = 14,7 \cdot 0,0193 / 0,0305 = 9,32 \text{ м/с}, \quad (\text{E.8})$$

Угол между скоростями c_1 и u_1 принимается $\alpha_1=90^0$, при этом $\operatorname{tg} \beta_1 = c_1 / u_1 = 1,8 / 9,32 = 0,1956$, откуда $\beta_1 = 10^0 15'$.

Ширина лопатки на входе

$$b_1 = \frac{G_{ж.п}}{(2\pi r_1 - z\delta_1 / \sin \beta_1) \cdot 1,8} = \frac{0,00212}{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0193 - 4 \cdot 0,003 / \sin 10^{\circ} 15') \cdot 1,8} = 0,0596 \text{ м}, \quad (\text{E.9})$$

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

Радиальная скорость потока на входе из колеса

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

Ширина лопатки на выходе

$$b_2 = \frac{G_{ж.п}}{(2\pi r_2 - z\delta_2 / \sin \beta_2) c_r} = \frac{0,00212}{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0305 - 4 \cdot 0,003 / \sin 45^{\circ}) \cdot 2,2} = 0,0037 \text{ м}, \quad (\text{E.11})$$

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

Мощность, потребляемая водяным насосом:

$$N_{в.н} = G_{ж.п} p_{ж} / (1000 \eta_m) = 0,00212 \cdot 120000 / (1000 \cdot 0,82) = 0,34 \text{ кВт}, \quad (\text{E.12})$$

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

Е.2.2 Расчет поверхности охлаждения водяного радиатора

Количество воздуха, проходящего через радиатор:

$$G_{\text{возд}} = Q_{\text{возд}} / (c_{\text{возд}} \Delta T_{\text{возд}}) = 69730 / (1000 \cdot 24) = 2,9 \text{ кг/с}, \quad (\text{E.13})$$

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

Массовый расход воды, проходящей через радиатор:

$$G_{\text{жс}} = G_{\text{жс}} \rho_{\text{жс}} = 0,00173 \cdot 1000 = 1,73 \text{ кг/с}. \quad (\text{E.14})$$

Средняя температура охлаждающего воздуха, проходящего через радиатор:

$$T_{\text{ср.возд}} = \frac{T_{\text{воздвх}} + (T_{\text{воздвх}} + \Delta T_{\text{возд}})}{2} = \frac{313 + (313 + 24)}{2} = 325 \text{ К}. \quad (\text{E.15})$$

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

Средняя температура воды в радиаторе

$$T_{\text{ср.вод}} = \frac{T_{\text{водвх}} + (T_{\text{водвх}} - \Delta T_{\text{в}})}{2} = 358,2 \text{ К}, \quad (\text{E.16})$$

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

Поверхность охлаждения радиатора

$$F = \frac{Q_{\text{вод}}}{K(T_{\text{ср.вод}} - T_{\text{ср.возд}})} = \frac{69730}{160(358,2 - 325)} = 11,51 \text{ м}^2, \quad (\text{E.17})$$

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

Е.2.3 Расчет вентилятора

Плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе

$$\rho_{\text{возд}} = p_0 \cdot 10^6 / (R_g T_{\text{ср.возд}}) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 325) = 1,07 \text{ кг/м}^3. \quad (\text{E.18})$$

Производительность вентилятора

$$G_{\text{возд}} = G'_{\text{возд}} / \rho_{\text{возд}} = 2,9 / 1,07 = 2,71 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (\text{E.19})$$

Фронтальная поверхность радиатора

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

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

Диаметр вентилятора

$$D_{\text{вент}} = 2 \sqrt{F_{\text{фр.рад}} / \pi} = 2 \sqrt{0,135 / 3,14} = 0,415 \text{ м}. \quad (\text{E.21})$$

Окружная скорость вентилятора

$$u = \psi_{\text{л}} \sqrt{\Delta p_{\text{мп}} / \rho_{\text{возд}}} = 3,41 \sqrt{800 / 1,07} = 93,4 \text{ м/с}, \quad (\text{E.22})$$

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

Частота вращения вентилятора

$$n_{\text{вент}} = 60u / (\pi D_{\text{вент}}) = 60 \cdot 93,4 / (3,14 \cdot 0,415) = 4600 \text{ об/мин}. \quad (\text{E.23})$$

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,

$$N_{\text{вент}} = G_{\text{возд}} \Delta p_{\text{мп}} / (1000 \eta_{\text{в}}) = 2,71 \cdot 800 / (1000 \cdot 0,38) = 5,7 \text{ кВт}, \quad (\text{E.24})$$

где $\eta_{\text{в}}=0,38$ – к.п.д. клепанного вентилятора.

Е.3 Расчет механизма газораспределения.[1]

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

Площадь проходного сечения при максимальном подъеме

$$F_{\text{кл}} = v_{\text{н.ср}} F_{\text{н}} / \omega_{\text{вн}} = 17,9 \cdot 54,5 / 140 = 5,85 \text{ см}^2, \quad (\text{E.25})$$

диаметр горловины клапана

$$d_{\text{гор}} = \sqrt{4F_{\text{гор}} / \pi} = \sqrt{4 \cdot 11,026 / 3,14} = 3,75 \text{ см}, \quad (\text{E.26})$$

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

Из условия возможного размещения клапанов в головке при верхнем расположении диаметр горловины может достигать

$$d_{гор} = 0,54D = 0,54 \cdot 82 = 34,23 \text{ мм.} \quad (\text{E.27})$$

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

$$h_{кл \max} = \sqrt{4,93d_{гор}^2 + 4,44F_{кл}} / 2,22 - d_{гор} = \sqrt{4,93 \cdot 34,23^2 + 4,44 \cdot 9,85} / 2,22 - 34,23 = 10,6 \text{ мм}$$

Е.3.2 Основные размеры впускного кулачка

Радиус начальной окружности

$$r_0 = (1,3 \dots 2,0)h_{кл \max} = 1,9 \cdot 10,6 = 20,1 \text{ мм; принимаем } r_0 = 20 \text{ мм;}$$

максимальный подъем толкателя

$$h_{т \max} = h_{кл \max} = 10,6 \text{ мм.}$$

Е.3.3 Профилирование безударного кулачка с плоским толкателем

Протяженность участка сбега

$$\Phi_0 = \frac{\pi^2 \Delta s}{2 \cdot 180 \omega_{ток}} = \frac{3,14 \cdot 0,2}{2 \cdot 180 \cdot 0,02} = 0,27416 \text{ рад} = 15^\circ 42', \quad (\text{E.28})$$

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

Протяженность других участков ускорения толкателя:

$$\Phi_1=24^0; \Phi_2=5^07^{\cdot}; \Phi_3=42^023^{\cdot}.$$

Перемещение толкателя задается полиномом

$$h_T = h_{T \max} \left[1 + C_2 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^2 + C_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^p + C_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^q + C_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^r + C_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^s \right], \quad (\text{E.29})$$

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:

$$C_2 = -\frac{pqrs}{(p-2)(q-2)(r-2)(s-2)}; \quad C_2 = \frac{2qrs}{(p-2)(q-p)(r-p)(s-p)}; \quad (\text{E.30})$$

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

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

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

Радиус кривизны профиля кулачка при плоском толкателе.

$$\rho = r_k - h_T + j_T \quad (E.31)$$

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

$$\rho_I = 1/\rho \quad (E.32)$$

Данные расчета представлены в таблице E.1.

Таблица E.1 - Профилирование безударного кулачка с плоским толкателем

φ^0 г.п.р.в.	h_T , мм	V_T , м/с	j_T , м/с ²	ρ	ρ	φ^0 г.п.р.в.	h_T , мм	V_T , м/с	j_T , 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

Диаграммы перемещения, скорости и ускорения толкателя представлены в приложении.

Е.3.4 Время сечения клапана

Время – сечения клапана

$$\int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt = M_t M_F F_{\text{abcd}}, \quad (E.34)$$

где $M_t = M_{\text{фп}} / (6n_p) = 1 / (6 \cdot 2600) = 5,952 \cdot 10^{-5}$ с/мм;

$M_F = M_{h_{\text{кл}}} \cdot 2,22 d_{\text{зоп}} = 0,1 \cdot 2,22 \cdot 34,23 = 7,60$ мм²/мм;

$$\int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt = 5,952 \cdot 7,60 \cdot 5129 = 2,32 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}, \quad (E.35)$$

где $F_{\text{abcd}} = 5129$ мм² – площадь под кривой подъема толкателя за такт впуска без учета площади, соответствующей выбору зазора 0,2 мм.

Средняя площадь проходного сечения клапана.

$$F_{\text{кл. ср}} = \int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt / (t_2 - t_1) = M_F F_{\text{abcd}} / l_{\text{ад}}, \quad (E.36)$$

где $l_{\text{ад}} = 90$ 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:

$$\omega_{\text{вн}} = v_{\text{н.ср}} \cdot F_{\text{н}} / F_{\text{кл.ср}} = 17,952 \cdot 53,5 / 4,33 = 220 \text{ м/с}; \quad (\text{E.37})$$

Полное время-сечение клапана

$$\int_{t_{\text{пр}}}^{t_{\text{х}}} F_{\text{кл}} dt = M_{\text{т}} M_{\text{ф}} F_{\text{вн}} = 5,952 \cdot 7,6 \cdot 5648 = 2,7 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}. \quad (\text{E.38})$$

где $t_{\text{пр}}$ – момент начала открытия впускного клапана; $t_{\text{х}}$ и $F_{\text{х}}$ – текущие значения времени и площади под кривой подъема толкателя.

Е.3.5 Расчет пружины клапана

Максимальная сила упругости пружин

$$P_{\text{прmax}} = K \cdot M_{\text{кл}} \cdot r_{\text{k}} \cdot \omega_{\text{р}}^2 / l_{\text{м}} = 309 \text{ Н} \quad (\text{E.39})$$

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

Минимальная сила упругости пружины

$$P_{\text{прmin}} = K \cdot M_{\text{кл}} \cdot \omega_{\text{р}}^2 / l_{\text{м}} = 156 \text{ Н} \quad (\text{E.40})$$

Жесткость пружины

$$c = K \cdot M_{\text{кл}} \cdot \omega_{\text{р}}^2 = 15,6 \text{ кН/м}. \quad (\text{E.41})$$

Деформация пружины:

предварительная

$$f_{min}=1,14r_0-r_0=2,8 \text{ мм} \quad (\text{E.42})$$

полная

$$f_{max}=f_{min}+h_{кmax}=13,35 \text{ мм.} \quad (\text{E.43})$$

Число рабочих витков пружины

$$i_p = \frac{G_2 \cdot \delta_{np} \cdot f_{max} \cdot 10^{-2}}{8 \cdot P_{npmax} \cdot 10^{-6} \cdot D_{np}^3} = 4,8 \quad (\text{E.44})$$

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

Полное число витков

$$i_n=i_p+2=4,8+2=6,8 \quad (\text{E.45})$$

Шаг витка

$$t = \delta_{np} + (f_{max}/i_p) + \Delta_{min} = 6,71 \text{ мм.} \quad (\text{E.46})$$

Длина пружины при полностью открытом клапане

$$L_{min}=i_n \cdot \delta_{np} + i_p \cdot \Delta_{min} = 25,73 \text{ мм.} \quad (\text{E.47})$$

Длина пружины при полностью закрытом клапане

$$L_0 = L_{min} + h_{кmax} = 25,73 + 10,6 = 36,29 \text{ мм.} \quad (\text{E.48})$$

Длина свободной пружины

$$L_{св} = L_{min} + f_{max} = 25,73 + 13,35 = 39,09 \text{ мм.} \quad (\text{E.49})$$

Максимальные и минимальные напряжения в пружине

$$\tau_{\max} := k'_B \cdot \frac{8 \cdot P_{\text{прmax}} \cdot D_{\text{пр}}}{\pi \cdot \delta_{\text{пр}}^3} \quad \tau_{\max} = 536 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\min} := k'_B \cdot \frac{8 \cdot P_{\text{прmin}} \cdot D_{\text{пр}}}{\pi \cdot \delta_{\text{пр}}^3} \quad \tau_{\min} = 271 \text{ МПа}$$
(E.50)

где $k'_B=1,235$.

Средние напряжения и амплитуды напряжений

$$\tau_m := \frac{|\tau_{\max} + \tau_{\min}|}{2} \quad \tau_m = 403.3 \text{ МПа}$$

$$\tau_a := \frac{|\tau_{\max} - \tau_{\min}|}{2} \quad \tau_a = 132.6 \text{ МПа}$$
(E.51)

Так как концентрация напряжений в витках пружины учитывается коэффициентом k' , а $k'_\tau/(\epsilon_M \epsilon_{II}) \approx 1$, то

$$\tau_{\text{ак}} := \tau_a \cdot A \quad \tau_{\text{ак}} = 132.6 \text{ МПа}$$

Запас прочности пружины

$$n_\tau := \frac{\tau_1}{|\tau_{\text{ак}} + \alpha_\tau \cdot \tau_m|} \quad n_\tau = 1.64$$
(E.52)

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

Расчет пружин на резонанс:

$$n_c := 2.17 \cdot 10^7 \cdot \frac{\delta_{\text{пр}}}{(i_p \cdot D_{\text{пр}}^2)} \quad n_c = 24890$$

$$\frac{n_c}{n_p} = 8.89$$
(E.53)

Е.3.6 Расчет распределительного вала

Максимальная сила от выпускного клапана, действующая на кулачок:

$$P_{T.\max} := \left[P_{\text{прmax}} + \frac{\pi \cdot d_B^2 \cdot |P_T - P_0|}{4} \right] + M_T \cdot \omega_K^2 \cdot r_K \cdot 10^{-5} \quad P_{T.\max} = 2846 \text{ Н} \quad , \quad (\text{E.54})$$

$$M_T := \left(m_{\text{кл}} + \frac{m_{\text{пр}}}{3} \right) + m_{\text{тол}} \quad M_T = 130 \text{ г} \quad , \quad (\text{E.55})$$

Стрела прогиба распределительного вала

$$y := 0.8 \cdot \frac{P_{T.\max} \cdot a^2 \cdot b^2}{E \cdot l \cdot (d_p^4 - \delta_p^4)} \quad y = 0.00155 \text{ мм} \quad , \quad (\text{E.56})$$

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

Напряжение смятия

$$\sigma_{\text{см}} := 0.418 \cdot \sqrt{P_{T.\max} \cdot \frac{E}{|b_K \cdot r_0|}} \quad \sigma_{\text{см}} = 410 \text{ МПа} \quad , \quad (\text{E.57})$$

где $b_K=14,8$ мм – ширина кулачка.

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
				<u>Документация</u>			
A4			16.БР.ЭМСУ.013.00.000.ПЗ	Пояснительная записка			
A1			16.БР.ЭМСУ.013.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1		
				<u>Сборочные единицы</u>			
		56	16.БР.ЭМСУ.013.56.000	Топливный насос	1		
		4	116.БР.ЭМСУ.013.04.000	Блок цилиндров	1		
		14	16.БР.ЭМСУ.013.14.000	Вал коленчатый	1		
		2	16.БР.ЭМСУ.013.02.000	Головка цилиндров	1		
		5	16.БР.ЭМСУ.013.05.000	Демпфер крутильных колебаний	1		
		20	16.БР.ЭМСУ.013.20.000	Поддон картера масляный	1		
		6	16.БР.ЭМСУ.013.06.000	Каналы выпускные	8		
		7	16.БР.ЭМСУ.013.07.000	Колпачок маслоотражательный	16		
		8	16.БР.ЭМСУ.013.08.000	Кольцо маслосъемное	8		
		9	16.БР.ЭМСУ.013.09.000	Маховик	1		
		10	16.БР.ЭМСУ.013.10.000	Насос водяной	1		
		21	16.БР.ЭМСУ.013.21.000	Насос масляный	1		
		49	16.БР.ЭМСУ.013.49.000	Приемник масляного насоса	1		
		03	16.БР.ЭМСУ.013.03.000	Прокладка головки блока	1		
		48	16.БР.ЭМСУ.013.48.000	Корпус масляного насоса	1		
			16.БР.ЭМСУ.013.00.000. СБ				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата			
Разраб.		Фрунтов А.И.			Литера	Лист	
Проверил		Смоленский В.			1	3	
Н. контр.		Егоров А.Г.			ТГУ, ЭМСБ-1201		
Утвердил		Павлов Д.А.					
					Дизельный двигатель с неразделенной КС		

