

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 Хисматуллин Руслан Ильдарович

1. Тема работы Автомобильный V-образный двигатель с рабочим объемом 3,2 л.

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 работе $D_{ц}=90$ мм; $L_{ш}=147,5$ мм; $R_{кшм}=39$ мм;
 $V_h = 3,2$ л; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $i = 6$ – число цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 10,5$ –
степень сжатия. Расчет производится на следующих скоростных режимах:
 $n_{min}=900$ мин⁻¹, $n = 2000$ мин⁻¹, $n_M=3200$ мин⁻¹, $n_N=5600$ мин⁻¹, $n_{max}=6000$ мин⁻¹.

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

Введение;

Обзор применяемых технологий непосредственного впрыска топлива в
цилиндр;

Тепловой расчет двигателя;

Расчет кинематики двигателя;

Расчет динамики двигателя;

Специальная часть

Безопасность и экологичность проекта

Расчет основных деталей двигателя;

Расчет механизмов 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

Конструкторский чертеж детали - 1 лист формата А1;

Сборочный чертеж форсунки - 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)

Р.И. Хисматуллин

(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 Хисматуллин Руслан Ильдарович
 по теме Автомобильный V-образный двигатель с рабочим объемом 3,2 л.

№ 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 кинематического и динамического 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 с учетом замечаний, полученных во время предварительной защиты	Сброшюрованная записка и подписанные чертежи	10 июня 2016 г.	100%		

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

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа состоит из семи частей. В первой части работы представлено описание перспективных путей повышения мощности двигателей с искровым зажиганием, во второй части проведен тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, в третьей кинематический расчет двигателя, в четвертой динамический расчет двигателя, в пятой прочностной расчет основных деталей двигателя, в шестой расчет систем двигателя, в седьмой дано описание конструкции двигателя спроектированного двигателя, проведен анализ его электронной системой распределенного впрыска топлива, в восьмой выполнена оценка безопасности и экологичности бакалаврской работы.

Пояснительная записка к бакалаврской работе состоит из 103 стр.

Графическая часть работы содержит 6 листов формата А1 и 2 листа в формате А0. Продольный и поперечный разрез двигателя.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1.Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием	9
2 Тепловой расчет двигателя	14
2.1 Топливо	14
2.2 Параметры рабочего тела	14
2.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы	15
2.4 Расчет процесса впуска	16
2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси.....	17
2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания.....	19
2.7 Расчет процессов расширения и выпуска	22
2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла	24
2.9 Эффективные показатели и параметры двигателя	25
2.10 Тепловой баланс двигателя	27
3 Расчет кинематики двигателя	29
4 Динамический расчет двигателя	30
4.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма.....	30
4.2 Удельные и полные силы инерции.....	30
4.3 Удельные суммарные силы.	31
4.4 Крутящие моменты.....	32
4.5 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала.....	33
4.6 Силы, действующие на колено вала.....	33
5 Расчет основных деталей двигателя	35
5.1 Расчет поршневой группы	35
5.1.1 Расчет поршня.....	35
5.1.2 Расчет поршневого кольца.....	37
5.1.3 Расчет поршневого пальца.....	38
5.2 Расчет шатуна	40

5.2.1 Расчет стержня шатуна.....	40
6 Специальная часть бакалаврской работы.....	42
6.1 Описание спроектированного двигателя рабочим объемом 3.2 л.....	42
6.2 Экономичность, токсичность и дымность отработавших газов ДВС.....	42
6.3 Температурное состояние деталей связанных с компактной камерой сгорания.....	44
7 Безопасность и экологичность объекта бакалаврской работы	45
7.1 Экологические показатели ДВС.....	45
7.2 Экономичность, токсичность и дымность отработавших газов ДВС.....	46
7.3 Шумность при работе ДВС с новой системой впуска и камерой сгорания.....	47
7.4 Эффективность применения новой камеры сгорания и впускных каналов.....	49
7.5 Выводы по разделу безопасность и экологичность бакалаврской работы.....	51
Заключение	52
Список использованных источников	53
Приложение А - Результаты теплового расчета.....	56
Приложение Б - Результаты кинематического расчета.....	67
Приложение В - Результаты динамического расчета.....	69
Приложение Г - Результаты расчетов сил действующих в КШМ.....	75
Приложение Д – Расчет механизмов и систем двигателя	90
Приложение Е – Спецификация сборочного чертежа.....	102

ВВЕДЕНИЕ

Прогресс в автомобильной отрасли материального производства, дальнейшее увеличение грузооборота автомобильного транспорта предусматриваем не только количественный рост автомобильного парка, но и значительное улучшение использование имеющихся автомобилей.

В области развития и совершенствования автомобильных двигателей основными задачами является: расширение использования экономичных двигателей, для грузовых автомобилей, снижение стоимости их изготовления и эксплуатации. На принципиально новый уровень ставится задача по уменьшению токсичных выбросов двигателей в атмосферу, а также ставятся задачи по снижению уровня шума работы двигателей. Выполнение этих задач требует от специалистов, связанных с производством и эксплуатацией автомобильных двигателе, глубоких знаний теории, конструкции и расчета автотракторных двигателей внутреннего сгорания.

Повышение мощностных показателей двигателей внутреннего сгорания остается наиболее актуальной проблемой современного двигателестроения. Наиболее простым и доступным способом повысить мощность двигателя без существенного увеличения его стоимости является разработка двигателя с увеличенным рабочим объемом.

Поэтому целью моей бакалаврской работы является разработка автомобильного бензинового V-образного двигателя, предназначенного для легкового автомобиля рабочим объемом 3.2 л. Имеющим более высокие показатели по мощности и крутящему моменту двигателя по сравнению с двигателем ВАЗ.

1 Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием

Повышение мощности может быть достигнуто за счет воздействия на рабочий процесс. А именно за счет повышения интенсификации процесса сгорания достигаемое различными способами проведение сгорания за более короткий промежуток времени, тем самым, повышая эффективность использования выделившейся в процессе сгорания теплоты. На рисунке 1.1 приведена зависимость влияния продолжительности сгорания на получаемую мощность при всех прочих одинаковых условиях. Так показано что увеличение продолжительности сгорания с 30 до 60 град. пкв уменьшает теоретически возможную мощность с 1.3% до 4.4% соответственно, что численно показывает эффективность сокращения продолжительности процесса сгорания ТВС.

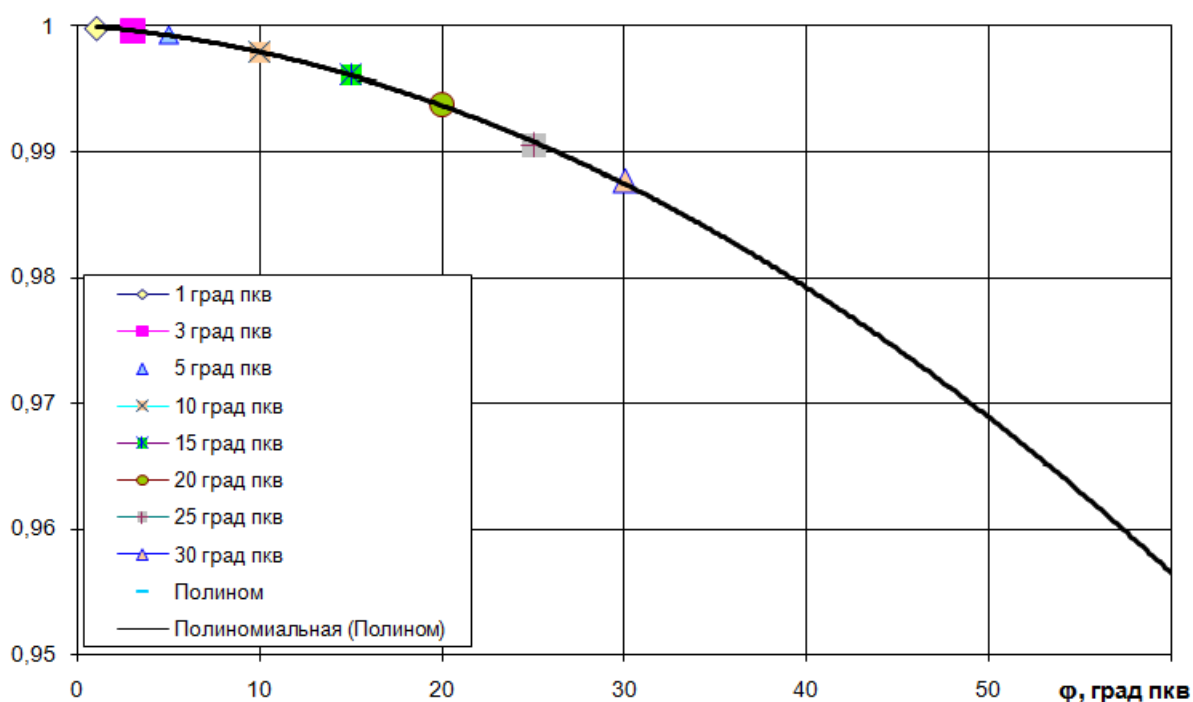


Рисунок 1.1 – Изменение эффективности сгорания ТВС в зависимости от продолжительности сгорания.

Одним из путей повышения интенсификации процесса сгорания является добавка промотора в топливно-воздушную смесь (ТВС) улучшающего протекание процесса сгорания. Как показал анализ литературы, наиболее

эффективно себя показала добавка газообразного водорода в ТВС. При этом добавка водорода значительной степени интенсифицирует процесс сгорания ТВС, тем самым он осуществляется за меньший промежуток времени вблизи ВМТ, а также повышается полнота сгорания топлива, что дает увеличение индикаторного КПД двигателя.

Помимо добавления дополнительных активных центров (промоутеров) в процесс сгорания, повысить интенсивность процесса сгорания, а, следовательно, и мощность двигателя можно при осуществлении расслоения заряда ТВС. А именно в основной части камеры сгорания создается зона обогащенной ТВС, скорость распространения пламени в которой выше, а в пристеночной зоне создается зона с бедной смесью со свободным кислородом, там осуществляется догорание ТВС, тем самым достигается повышение мощности при снижении токсичности отработавших газов.

Также перспективным направлением, в проектировании современных двигателей с высокой мощностью, является создание некоторых конструктивных факторов влияющих на процесс сгорания. Было показано, что на процесс сгорания оказывает влияние два фактора, во-первых, это конструкция системы впуска, которая задаёт начальные параметры потока и, во-вторых, это форма камеры сгорания, отвечающая непосредственно за протекание процесса сгорания.

Рассмотрим влияние формы камеры сгорания на процесс сгорания. Компактная шатровая камера сгорания позволяет достигнуть быстрого сгорания топлива благодаря увеличенной интенсивности турбулентности потока в камере сгорания и уменьшенным расстоянием, которое проходит пламя в процессе сгорания, тем самым, повысив эффективность выделяемого топливом при сгорании тепла.

Рассмотрим влияние конструкции системы впуска, на процесс сгорания. В процессе впуска в камере сгорания формируется вихревое движение, которое и определяет состояние ТВС в момент воспламенения, а именно, турбулентность и конвективную скорость потока в ВМТ. Рассматривая систему

впуска можно отметить, что за счет создания хорошо организованного вихревого движения удаляется заметно сократить продолжительность начальной и основной фазы горения, это достигается благодаря более высокой турбулентности и конвективной скорости потока, что определяет продолжительность воспламенения ТВС и скорость распространения пламени в основной фазе сгорания. Так на рисунке 1.2 приведена схема распространения турбулентного фронта пламени.

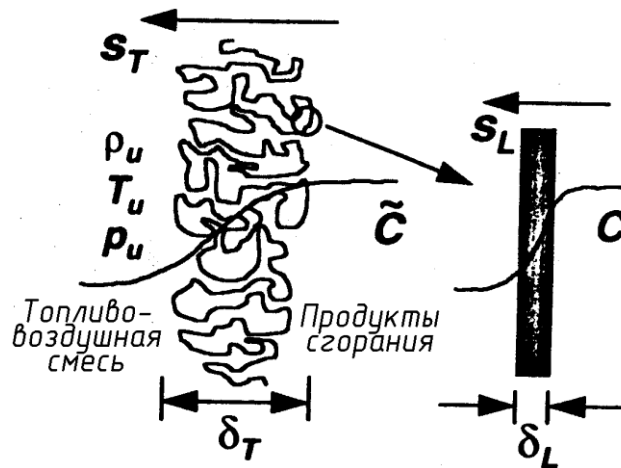


Рисунок 1.2 – Фронт турбулентного пламени

Таким образом, результируя сказанное: Во-первых, рассматривая влияние формы камеры сгорания на длительность сгорания, следует отметить, что длительность сгорания во многом зависит от расстояния от свечи зажигания до самой удаленной точки камеры сгорания. В связи с этим камеру сгорания следует конструировать так, чтобы свеча зажигания располагалась примерно по центру камеры сгорания, а камера сгорания имела форму близкую к сферической. Таким образом, применение компактной камеры сгорания позволяет сократить время сгорания не только основной фазы горения, но и значительно сократить время фазы догорания.[20], [24].

Во-вторых, рассматривая влияние параметров потока и формы камеры сгорания на детонационную стойкость, следует отметить, что увеличение интенсивности турбулентности и скорости потока несколько повышают детонационную стойкость, так как высокая турбулентность и высокие скорости потока разбавляют нагретые участки потока топливовоздушной смеси,

несколько препятствуя процессу самовоспламенения. В тоже время придание камере сгорания более компактной формы заметно повышает детонационную стойкость, это связано с тем, что в камере сгорания отсутствуют очень удаленные от свечи зажигания области камеры сгорания, а, следовательно, исключается возможность догорания топлива в процессе расширения и, следовательно, сильно перегретых участков поверхности камеры сгорания, в которых и начинается детонация.[24].

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

Увеличение частоты вращения коленчатого вала позволяет повысить мощность двигателя (1.1).

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_{л} \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт.} \quad (1.1)$$

где P_e - среднее эффективное давление равно $P_e = P_{it} - P_m$, МПа, среднему индикаторному давлению минус механические потери; $V_{л}$ - рабочий объем двигателя, n - частота вращения коленчатого вала, τ - тактность двигателя.

Таким образом, видно, что без увеличения рабочего объема увеличение мощности можно достигнуть следующими путями: применение наддува – его мы рассмотрели ранее, влиянием на процесс сгорания рассмотренным выше, осуществлением двухтактного цикла, что имеет свои значительные недостатки, а именно ухудшение условий протекания процесса сгорания, худшее наполнение, худшее использование выделившейся теплоты в процессе расширения, меньший ресурс двигателя. И последнее это увеличение частоты

вращения коленчатого вала, что ведет к увеличению механических потерь и повышенному износу двигателя.

Поэтому рассмотрим более внимательно возникающие проблемы на пути повышения частоты вращения коленчатого вала.

Во-первых, повышение частоты вращения коленчатого вала приводит к повышению средней скорости поршня (1.2), а, следовательно, к увеличению износа цилиндропоршневой группы. В связи с чем, при повышении частоты вращения коленчатого вала необходимо уменьшения радиуса кривошипа и длины шатуна, тем самым, снижая её.

$$V_n = \frac{S \cdot n}{30}, \text{ м/с} \quad (1.2)$$

где S - ход поршня равный 2 радиусам КВ, n - частота вращения коленчатого вала

Во-вторых, повышение частоты вращения коленчатого вала приводит к увеличению инерционных сил, поэтому необходимо облегчать шатун и поршень, без значительного ущерба их износостойкости. А именно уменьшать длину и соответственно размеры шатуна, а также длину юбки на поршне.

2 Тепловой расчет двигателя

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

Исходные данные: $D_{ц}=90$ мм; $L_{ш}=147,5$ мм; $R_{кшм}=39$ мм; $V_h=3,2$ л; $n_N=5600$ мин⁻¹; $i=6$ – число цилиндров; $\tau=4$ – тактность; $\varepsilon=10,5$ – степень сжатия. Расчет производится на следующих скоростных режимах: $n_{min}=900$ мин⁻¹, $n=2000$ мин⁻¹, $n_M=3200$ мин⁻¹, $n_N=5600$ мин⁻¹, $n_{max}=6000$ мин⁻¹.

2.1 Топливо

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

Низшая теплота сгорания топлива:

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

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

2.2 Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

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

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

Т.к. проектируемый двигатель оборудован каталитическим нейтрализатором отработавших газов, системой впрыска топлива и электронного управления позволяет принять коэффициент избытка воздуха на всех режимах $\alpha=1$.

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

Количество горючей смеси:

$$M_1 = \alpha L_0 + 1/m_T = 0,5247 \text{ кмоль гор. см/кг топл.} \quad (2.4)$$

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 = 0,0713 \text{ кмоль } CO_2/\text{кг топл.}; \quad (2.5)$$

$$M_{CO} = 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 = 0 \text{ кмоль } CO/\text{кг топл.}; \quad (2.6)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 = 0,0725 \text{ кмоль } H_2O/\text{кг топл.}; \quad (2.7)$$

$$M_{H_2} = 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 = 0 \text{ кмоль } H_2/\text{кг топл.}; \quad (2.8)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 = 0,4087 \text{ кмоль } N_2/\text{кг топл.} \quad (2.9)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = 0,5524 \text{ кмоль пр.сг/кг топл.} \quad (2.10)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 = 1,05243 \quad (2.11)$$

2.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы

Атмосферные условия:

$$p_0 = 0,1 \text{ МПа и } T_0 = 293 \text{ К.}$$

Давление остаточных газов:

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

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

Результаты расчета параметров окружающей среды и остаточных газов приведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

$n, \text{мин}^{-1}$	$\rho_k, \text{кг/м}^3$	$T_k, \text{К}$	$p_k, \text{Мпа}$	$T_r, \text{К}$	$p_r, \text{Мпа}$
Спроектированный двигатель					
900	1,189	293	0,1	1105	0,110
2000	1,189	293	0,1	1210	0,113
3200	1,189	293	0,1	1300	0,115
5000	1,189	293	0,1	1330	0,118
5600	1,189	293	0,1	1370	0,120
Двигатель ВАЗ-2112					
900	1,189	293	0,1	1080	0,109
2600	1,189	293	0,1	1161	0,112
3700	1,189	293	0,1	1245	0,114
5000	1,189	293	0,1	1265	0,116
5600	1,189	293	0,1	1305	0,118

2.4 Расчет процесса впуска

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

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n) = 0,2 (110 - 0,0125n) = 22 - 0,0025n. \quad (2.13)$$

Плотность заряда на впуске:

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

Потери давления на впуске.

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

Давление в конце впуска:

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

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} P_r}{\varepsilon \varphi_{доз} P_a - \varphi_{оч} P_r} = \frac{293 + 8}{1060} \cdot \frac{0,118}{10,5 \cdot 1,1 \cdot 0,085 - 0,118} = 0,0415, \quad (2.16)$$

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:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \cdot (\varphi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot P_a - \varphi_{оч} \cdot P_r) \quad (2.18)$$

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.

2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

n , мин ⁻¹	ΔT , °C	Δp_a , МПа	p_a , МПа	$\phi_{оч}$	$\phi_{доз}$	γ_r	T_a , К	η_v	V_a , К
Спроектированный двигатель									
900	19,75	0,010275	0,089725	0,99	0,9	0,041708	344,4699	0,728776	1,05061
2000	17	0,016054	0,083946	0,94	0,96	0,036777	341,9252	0,736186	1,11679
3200	12	0,021231	0,078769	0,88	1,05	0,030947	334,8677	0,775829	1,16563
5000	4	0,0271313	0,072869	0,84	0,97	0,034421	331,3737	0,667776	1,24686
5600	2	0,031466	0,068534	0,8	0,92	0,03652	332,8754	0,591791	1,33173
Двигатель ВАЗ-2112									
900	19,75	0,005779	0,094221	1	0,85	0,043126	344,4703	0,721787	1,00049
2600	15,5	0,010275	0,089725	0,94	0,93	0,036289	338,3532	0,770691	1,03394
3700	12,75	0,013588	0,086412	0,98	1	0,033797	336,4559	0,804532	1,06756
5000	9,5	0,016054	0,083946	0,81	0,95	0,029931	330,4714	0,758778	1,07938
5600	8	0,019425	0,080575	0,77	0,94	0,029751	330,0071	0,721778	1,12296

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений

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

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

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

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

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

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

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

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

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

n , мин ⁻¹	μ	n_l	P_c , МПа	T_c , К	θ° ПКВ	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
Спроектированный двигатель								
900	1,06057	1,3704	2,250885	822,9999	15	0,120855	1,73766	767,4028
2000	1,050572	1,37167	2,112198	819,3635	22	0,153412	1,2780	715,0775
3200	1,050858	1,3728	1,987199	804,5864	26	0,179064	1,03085	673,2341
5000	1,050688	1,37517	1,848629	800,6406	29	0,2086996	0,85129	647,9795
5600	1,050585	1,37525	1,738991	804,6256	32	0,242999	0,71139	630,4833
Двигатель ВАЗ-2112								
900	1,060488	1,37058	2,364652	823,3493	15	0,115161	1,82387	767,5247
2600	1,050596	1,372	2,259369	811,433	20	0,134725	1,46960	722,1175
3700	1,050718	1,3728	2,180028	808,4022	23	0,150917	1,26760	697,7188
5000	1,050909	1,37378	2,122703	795,8551	26	0,166039	1,09859	665,2796
5600	1,050917	1,3753	2,044748	797,5824	28	0,182916	0,97744	652,0824

2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_U - 119950(\alpha - 1)L_o}{H_U}, \quad (2.26)$$

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

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

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

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi(\varphi'_1) - \psi(\varphi'_2))}{K_{1-2} \psi(\varphi'_1) - \psi(\varphi'_2)}, \quad (2.30)$$

где

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

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

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

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

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

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

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

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

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

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

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

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:

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

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

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

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

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
Спроектированный двигатель							
900	1	0,81	0,81	2098,549	41,946456	42	3.1
2000	1	0,86	0,86	2310,212	43,440894	48	3.2
3200	1	0,96	0,96	2590,321	46,66714	54	3.3
5000	1	0,97	0,97	2555,006	43,03215	60	3.4
5600	1	0,99	0,99	2630,187	41,46473	70	3.5
Двигатель ВА3-2112							
900	1	0,81	0,81	2095,696	43,98798	40	3.1
2600	1	0,86	0,86	2284,733	46,40438	48	3.2
3700	1	0,96	0,96	2556,549	50,28953	55	3.3
5000	1	0,97	0,97	2592,875	50,44589	58	3.4
5600	1	0,99	0,99	2646,799	49,49647	62	3.5

Расчёт текущих параметров процесса сгорания проводится с определённым шагом – 1⁰ ПКВ, а значения указанных параметров приводятся в 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 находится методом последовательных приближений из уравнения:

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

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 от конца процесса сгорания до 540° поворота коленчатого вала находятся из соотношений

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

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

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

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	$P_b, \text{МПа}$	$T_b, \text{К}$	$T_r, \text{К}$	$\Delta, \%$
Спроектированный двигатель									
900	0,16606	2605,3	4,553	6,3267	1,1888	0,507	1838	1104,2	-0,065
2000	0,171561	2819,93	4,734	6,5096	1,1824	0,517	2004	1207	-0,194
3200	0,189587	3012,81	4,578	6,148	1,1752	0,541	2191	1307,5	0,579
5000	0,22103	2920,74	3,806	5,641	1,1774	0,496	2148	1331	0,081
5600	0,28784	2860,89	2,863	4,6278	1,1779	0,471	2178	1380,9	0,066
Двигатель ВАЗ-2112									
900	0,1494	2639,83	5,121	6,688	1,188	0,5354	1846,58	1086,178	0,572
2600	0,1684	2756,27	4,714	6,139	1,1835	0,5504	1975,7	1162,08	0,093
3700	0,1951	2913,76	4,303	5,474	1,1775	0,5815	2155,05	1244,545	-0,036
5000	0,1972	2929,05	4,279	5,474	1,1767	0,5789	2168,77	1265,439	0,0347
5600	0,2052	2976,31	4,179	5,474	1,175	0,5669	2209,79	1309,556	0,349

Температура остаточных газов принята правильно т.к. ошибка не более 5%.

2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла рассчитывается по методу трапеций;

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

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

н, мин ⁻¹	L _i , кДж	P _i , Мпа	N _i , кВт	η _i	g _i , г/кВт*ч
Спроектированный двигатель					
900	0,9854048	1,0366619	11,662446	0,3982229	205,78797
2000	1,1065808	1,095157	27,378926	0,4335122	189,03617
3200	1,2406601	1,1764051	58,820254	0,4418794	185,45667
5000	1,187885	1,0529843	94,768588	0,4595196	178,3373
5600	1,1750886	0,9750105	97,501045	0,480124	170,68399
Двигатель ВА3-2112					
900	1,0012	1,1060343	12,442886	0,4289854	191,03093
2600	1,09	1,1651984	37,868947	0,4405874	186,00051
3700	1,1957	1,2379594	57,255621	0,4484105	182,75552
5000	1,224	1,2533459	78,334121	0,4813589	170,24613
5600	1,2406	1,2210353	85,47247	0,4929888	166,22992

2.9 Эффективные показатели и параметры двигателя

Средняя скорость поршня:

$$v_n = \frac{Sn}{30}, \text{ м/с} \quad (2.56)$$

Среднее давление механических потерь

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

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
Спроектированный двигатель									
900	2,9	0,061176	0,975486	0,940988	0,3747	235,4	30,7	150,2	8,81
2000	6,4	0,08828	1,006877	0,919391	0,3985	229,3	81,3	197,3	12,88
3200	10,3	0,13756	1,038845	0,883067	0,3902	243,8	121,3	222,1	20,95
5000	16	0,216408	0,836576	0,794481	0,365	264,3	189,75	192,2	28,06
5600	18	0,23612	0,73889	0,757828	0,3638	278,8	206,4	138,8	32,7
Двигатель ВА3-2112									
900	2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	273,3719	11,68	123,99	3,377
2600	6,153	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	267,3998	33,96	124,72	9,043
3700	8,756	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	258,8332	50,11	129,3	12,464
5000	11,83	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	261,652	66,13	126,29	15,336
5600	13,25	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	271,5434	70,49	120,19	17,208

2.10 Тепловой баланс двигателя

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:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) M_2 \left[\overline{nc}_{V_2}^{II} \overline{t}_r + 8.315 \overline{t}_r \right] - M_1 \left[\overline{nc}_{V_1}^{II} \overline{t}_0 + 8.315 \overline{t}_0 \right], \quad (2.71)$$

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

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

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

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

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	2,4	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1
2000	5,2	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5
3200	10,9	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0
5000	16,9	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5
5600	16,6	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6

3 Расчет кинематики двигателя

Премещение поршня

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

Скорость поршня

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

Ускорении 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° угла поворота коленчатого вала. Расчитанные значения представлены в таблице 3.1, графики представлен на плакате "Диаграмм кинематического расчета".

4 Расчет динамики двигателя

4.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

Масса поршневой группы:

$$m_n = m'_n \cdot F_n = 75 \cdot 0,00622 = 0,316 \text{ кг}; \quad (4.4)$$

Масса шатуна:

$$m_{ш} = m'_{ш} \cdot F_n = 109,6 \cdot 0,00622 = 0,624 \text{ кг}; \quad (4.5)$$

Масса неуравновешанных частей одного колена вала без противовесов:

$$m_k = m'_k \cdot F_n = 150 \cdot 0,00622 = 0,805 \text{ кг}. \quad (4.6)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,624 = 0,165 \text{ кг}. \quad (4.7)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,624 = 0,473 \text{ кг}. \quad (4.8)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.п} = 0,316 + 0,165 = 0,481 \text{ кг}. \quad (4.9)$$

Массы, совершающие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{ш.к} = 0,805 + 0,473 = 1,278 \text{ кг}. \quad (4.10)$$

4.2 Удельные и полные силы инерции

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс

$$p_j = -j m_j / F_n = -j 0,481 \cdot 10^{-6} / 0,00535 = -j 141 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}. \quad (4.11)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -1,278 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -28,02 \text{ кН.} \quad (4.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна

$$K_{Ru} = -m_{u.k} R \omega^2 = -0,473 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -8,7 \text{ кН.} \quad (4.13)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_{.k} R \omega^2 = -0,805 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -19,32 \text{ кН.} \quad (4.14)$$

4.3 Удельные суммарные силы

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_z + p_j \text{ (МПа)}. \quad (4.15)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа)}. \quad (4.16)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа)}. \quad (4.17)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)}. \quad (4.18)$$

Удельная и полная тангенциальные силы

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа) и} \quad (4.19)$$

$$T = p_T \cdot 0,004776 \cdot 10^3 \quad (4.20)$$

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_i F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,2486 \cdot 0,00535 = 1063 \text{ Н;} \quad (4.21)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} Mp = \frac{1991 \cdot 1170}{240} \cdot 0,05 = 0,196 \text{ МПа}; \quad (4.22)$$

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

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{\Pi} = 0,196 \cdot 0,00535 \cdot 10^6 = 1049 \text{ Н}; \quad (4.23)$$

4.4 Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0374 \cdot 10^3 \text{ Нм}, \quad (4.24)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с
равными интервалами между вспышками

$$\Theta = 720 / i = 720 / 4 = 180^{\circ}, \quad (4.25)$$

Суммирование крутящих моментов всех четырех цилиндров двигателя
осуществляется табличным методом (таблице 4.2).

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 143,8 / 0,9052 = 158,8 \text{ Нм}, \quad (4.26)$$

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

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_m = \frac{1470 - 615}{60} 10 = 160,5 \text{ Нм}, \quad (4.27)$$

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

Максимальный и минимальный крутящие моменты

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

4.5 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала

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

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{R_{III}} = K + p_k F_{II} \text{ Н.} \quad (4.28)$$

По развернутой диаграмме R_{III} определяют

$$R_{III.\max} = 17,31 \text{ кН}; \quad R_{III.\min} = 0,577 \text{ кН}$$
$$R_{III.\text{cp}} = FM_p / OB = 28425 \cdot 0,1 / 240 = 10,66 \text{ кН};$$

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:

$$K_{pK} = P_K + K_{RK} = P_K - 8,960 \text{ кН.} \quad (4.28)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(PT_k \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_k})^2}, \quad (4.29)$$

Силы, действующие на коренные шейки

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

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1}$$

Изменение силы $R_{к.ш1}$ в зависимости от φ показывает полярная диаграмма R_k , но повернутая на 180° .

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (4.30)$$

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

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

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (4.31)$$

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

5 Расчет основных деталей двигателя

5.1 Расчет поршневой группы

5.1.1 Расчет поршня

Напряжение изгиба в днище поршня

$$\sigma_{из} = p_{ZД}(r_i/\delta)^2 = 7,659 \cdot (31,75/6,5)^2 = 182,2 \text{ МПа}, \quad (5.1)$$

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

$$\sigma_{сж} = P_{ZД}/F_{x-x} = 0,0409/0,00103 = 39,9 \text{ МПа}, \quad (5.2)$$

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

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

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

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

Напряжение разрыва в сечении x – x:

$$\omega_{x-x \max} = \pi n_{x-x \max} / 30 = 3,14 \cdot 7500 / 30 = 785 \text{ рад/с}; \quad (5.3)$$

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

$$m_{x-x} = 0,5 m_n = 0,5 \cdot 0,316 = 0,158 \text{ кг}; \quad (5.4)$$

максимальная разрывающая сила

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{x-x \max}^2 (1 + \lambda) = 0,158 \cdot 0,0374 \cdot 785^2 (1 + 0,289) = 0,0045 \text{ МН}; \quad (5.5)$$

Напряжение разрыва

$$\sigma_p = P_j / F_{x-x} = 0,0045 / 0,00103 = 4,4 \text{ МПа}. \quad (5.6)$$

Напряжение в верхней кольцевой перемычке:

среза

$$\tau = 0,0314 p_{zл} D / h_{II} = 0,0314 \cdot 7,659 \cdot 82,5 / 3,7 = 5,4 \text{ МПа}; \quad (5.7)$$

изгиба

$$\sigma_{из} = 0,0045 p_{zл} (D/h_{II})^2 = 0,0045 \cdot 7,659 \cdot (82,5/3,7)^2 = 17,1 \text{ МПа}; \quad (5.8)$$

сложное

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{17,1^2 + 4 \cdot 5,4^2} = 20,2 \text{ МПа}. \quad (5.9)$$

удельное давление поршня на стенку цилиндра:

$$q_1 = N_{max} / (h_{ю} D) = 0,0079 / (31,3 \cdot 82,5) \cdot 10^{-3} = 3,059 \text{ МПа}; \quad (5.10)$$

$$q_2 = N_{max} / (HD) = 0,0079 / (50,3 \cdot 82,5) \cdot 10^{-3} = 1,904 \text{ МПа}. \quad (5.11)$$

Диаметры головки и юбки поршня:

$$D_{Г} = D - \Delta_{Г} = 82 - 0,57 = 81,43 \text{ мм}; \quad (5.12)$$

$$D_{Ю} = D - \Delta_{Ю} = 82 - 0,165 = 81,835 \text{ мм}, \quad (5.13)$$

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

Диаметральные зазоры в горячем состоянии

$$\Delta'_{z} = D[1 + \alpha_{ц}(T_{ц} - T_0)] - D_{z}[1 + \alpha_n(T_n - T_0)] = \quad (5.14)$$

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

$$\Delta'_{ю} = D[1 + \alpha_{ц}(T_{ю} - T_0)] - D_{ю}[1 + \alpha_n(T_{ю} - T_0)] = \quad (5.15)$$

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

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

5.1.2 Расчет поршневого кольца

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

Среднее давление кольца на стенку цилиндра

$$P_{cp} = 0,152 E \frac{A_0/t}{(D/t-1)^3(D/t)} = 0,152 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot \frac{11,7/3,9}{(82,5/3,9-1)^3(82,5/3,9)} = 0,265 \text{ МПа}, \quad (5.16)$$

где $A_0=3t=3 \cdot 3,9=11,7$ мм.

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

$$p = p_{cp} \mu_k \quad (5.17)$$

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

Таблица 5.1 - 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

$$\sigma_{из1} = 2,61 p_{cp} (D/t - 1)^2 = 2,61 \cdot 0,265 (82,5/3,9 - 1)^2 = 279 \text{ МПа}. \quad (5.18)$$

$$\sigma_{из2} = \frac{4E(1 - 0,114 A_0/t)}{m(D/t - 1,4)(D/t)} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^5 (1 - 0,114 \cdot 11,7/3,9)}{1,57 (82,5/3,9 - 1,4)(82,5/3,9)} = 401 \text{ МПа}. \quad (5.19)$$

Напряжение изгиба при давлении кольца на поршень

Монтажный зазор в рамке поршневого кольца

$$\Delta_k = \Delta_k^{\text{н}} + \pi D [\alpha_k (T_k - T_0) - \alpha_y (T_y - T_0)] = \quad (5.20)$$

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

где $\Delta_k^{\text{н}}$ – минимально допустимый зазор замке кольца во время работы двигателя.

5.1.3 Расчет поршневого пальца

Материал поршневого пальца – сталь 15Х, $E=2 \cdot 10^5$ МПа. Палец плавающего типа.

Расчетная сила, действующая на поршневой палец:

газовая

$$P_{z \max} = p_{z \max} F_n = 9,1489 \cdot 53,45 \cdot 10^4 = 0,0409 \text{ МН}; \quad (5.21)$$

инерционная

$$P_j = -m_n \omega_m^2 R(1+\lambda) \cdot 10^{-6} = -0,316 \cdot 691^2 \cdot 0,0374(1+0,289) \cdot 10^{-6} = -0,00703 \text{ МН}, \quad (5.22)$$

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

расчетная

$$P = P_{z \max} + k P_j = 0,0409 - 0,82 \cdot 0,00703 = 0,0352 \text{ МН}. \quad (5.23)$$

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

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна

$$q_{uv} = P / d_n l_{uv} = 0,0352 / 0,022 \cdot 0,028 = 68,1 \text{ МПа}. \quad (5.24)$$

Удельное давление пальца на бобышки

$$q_b = P / d_n (l_n - b) = 0,0352 / 0,022(0,028 - 0,032) = 53,3 \text{ МПа}. \quad (5.25)$$

Напряжение изгиба в среднем сечении пальца

$$\sigma_{из} = \frac{P(l_n + 2b - 1,5l_{uv})}{1,2(1 - \alpha^4)d_n^3} = \frac{0,0352(0,068 + 2 \cdot 0,032 - 1,5 \cdot 0,028)}{1,2(1 - 0,682^4)0,022^3} = 262,5 \text{ МПа}, \quad (5.26)$$

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

Касательная напряжения среза в сечениях между бобышками и головкой шатуна

$$\tau = \frac{0,85P(1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4)d_n^2} = \frac{0,85 \cdot 0,0352(1 + 0,682 + 0,682^2)}{(1 - 0,682^4) \cdot 0,022^2} = 132 \text{ МПа}. \quad (5.27)$$

Наибольшее увеличение горизонтального диаметра пальца при овализации:

$$\Delta d_{n \max} = \frac{1,35P}{El_n} \left(\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right)^3 \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \frac{1,35 \cdot 0,0352}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,068} \left(\frac{1 + 0,682}{1 - 0,682} \right)^3 \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] \cdot 10^3 = 0,0159 \text{ мм} \quad (5.28)$$

Напряжение овализации на внешней поверхности пальца:

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

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} - \frac{1}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] \\ &= \frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,19 \frac{(2+0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2} - \frac{1}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 73 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (5.29)$$

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

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90} &= -\frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(2+\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} + \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,174 \frac{(2+0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2} + \frac{0,636}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -92,6 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (5.30)$$

Напряжение овализации на внутренней поверхности пальца:

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

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0} &= -\frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} + \frac{1}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,19 \frac{(1+2 \cdot 0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2 \cdot 0,682} + \frac{1}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -147 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (5.31)$$

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

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] \\ &= \frac{15 \cdot 0,0352}{0,068 \cdot 0,022} \left[0,174 \frac{(1+2 \cdot 0,682)(1+0,6862)}{(1-0,682)^2 \cdot 0,682} - \frac{0,636}{1-0,682} \right] \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 159 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (5.32)$$

5.2 Расчет шатуна

5.2.1 Расчет стержня шатуна

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

$$P_{сж} = F_n(p_{zd} - p_0) - m_j R \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi) \cdot 10^{-6} = 0,029719 \text{ МН}, \quad (5.33)$$

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

$$P_{сж} = F_n p_r - m_j R \omega^2 (1 + \lambda) \cdot 10^{-6} = -0,010971 \text{ МН} \quad (5.34)$$

Площадь и моменты инерции

$$F_{cp} = h_{ш} b_{ш} - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш}) = \quad (5.35)$$
$$= 15 \cdot 14 - (14 - 7)(15 - 2 \cdot 4,4) = 166,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$J_x = [b_{ш} h_{ш}^3 - (b_{ш} - a_{ш})(h_{ш} - 2t_{ш})^3] / 12 = \quad (5.36)$$
$$= [15^3 \cdot 14 - (14 - 7)(15 - 2 \cdot 4,4)^3] / 12 = 3798,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

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

Максимальное напряжение от сжимающей силы:

в плоскости качания шатуна

$$\sigma_{max,x} = K_x \cdot P_{сж} / F_{cp} \cdot 10^{-6} = 1,268 \cdot 0,029719 / 166,6 \cdot 10^{-6} = 226,32 \text{ МПа} \quad (5.37)$$

где $K_x = 1,268$

в плоскости, перпендикулярной плоскости качания шатуна:

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

где $K_y = 1,095$

Минимальное напряжение от растягивающей силы

$$\sigma_{min} = P_r / F_{cp} = 0,029719 / 166,6 \cdot 10^{-6} = -65,852 \text{ МПа}. \quad (5.38)$$

Среднее напряжение и амплитуды цикла:

$$\sigma_{m.x} := \frac{\sigma_{\max x} + \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{m.x} = 80.2371 \text{ МПа} \quad (5.39)$$

$$\sigma_{m.y} := \frac{\sigma_{\max y} + \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{m.y} = 64.7456 \text{ МПа} \quad (5.40)$$

$$\sigma_{a.x} := \frac{\sigma_{\max x} - \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{a.x} = 146.0893 \text{ МПа} \quad (5.41)$$

$$\sigma_{a.y} := \frac{\sigma_{\max y} - \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{a.y} = 130.5978 \text{ МПа} \quad (5.42)$$

$$\sigma_{a.k.x} := \frac{\sigma_{a.x} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_M \cdot \varepsilon_{II}} \quad \sigma_{a.k.x} = 277.8492 \text{ МПа} \quad (5.43)$$

$$\sigma_{a.k.y} := \frac{\sigma_{a.y} \cdot k_{\sigma}}{\varepsilon_M \cdot \varepsilon_{II}} \quad \sigma_{a.k.y} = 248.3857 \text{ МПа} \quad (5.44)$$

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

Запас прочности.

$$n_{T.\sigma.x} := \frac{\sigma_T}{\sigma_{a.k.x} + \sigma_{m.x}} \quad n_{T.\sigma.x} = 1.1729 \quad (5.45)$$

$$n_{T.\sigma.y} := \frac{\sigma_T}{\sigma_{a.k.y} + \sigma_{m.y}} \quad n_{T.\sigma.y} = 1.34129 \quad (5.46)$$

6 Специальная часть бакалаврской работы

6.1 Описание спроектированного двигателя рабочим объемом 3.2 л

Шестицилиндровый, V-образным, четырехтактный, бензиновый двигатель с распределенным впрыском топлива, жидкостного охлаждения, с четырьмя клапанами на цилиндр. Расчетная эффективная мощность $N_e=126$ кВт при частоте вращения коленчатого вала $n=5600$ об/мин. Двигатель шестицилиндровый ($i=6$) с V-образным расположением цилиндров и углом развала 45° , рабочим объемом $V_l=3,2$ л, диаметр цилиндра $D=90$ мм, ход поршня $S=82$ мм. Степень сжатия $\varepsilon =11$. Коленчатый вал – четырехпорный, чугунный, литой. Головка блока – из алюминиевого сплава. Привод распределительного вала – цепной механизм. Расположение клапанов – верхнее, рядное, наклонное. Привод клапанов – через гидрокомпенсаторы от двух распределительных валов (для впускных и выпускных клапанов).

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

6.2 Экономичность, токсичность и дымность отработавших газов ДВС

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

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

Данные мероприятия влияют на токсичность отработавших газов следующим образом:

CH – токсичность по данному компоненту снижается за счет большей интенсивности турбулентности в камере сгорания и её компактности, что позволяет лучше догорать CH за фронтом пламени и в пристеночной области. В случае увеличения зазора между вытеснителями до 1 мм в прогретом состоянии обеспечивается полное догорание смеси в данном зажатом объеме. Таким образом, обеспечивается снижение токсичности ОГ по CH на 15% по сравнению с базовыми показателями.

NO_x – токсичность по данному компоненту повышается, т.к. более быстрое и интенсивное сгорание обеспечивает большие значения температуры за фронтом пламени, что приводит к росту образования NO_x в процессе сгорания. Для выполнения норм по токсичности ОГ необходимо устанавливать современные каталитические нейтрализаторы накопительного типа, которые будут собирать избыточный NO_x в отстойник, и восстанавливать его при кратковременной работе на богатой смеси.

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

CO_2 – выбросы по данному компоненту увеличатся в связи с увеличением рабочего объема двигателя

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

6.3 Температурное состояние деталей связанных с компактной камерой сгорания

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

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

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

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

Таблица 6.1 - Сравнение расчетных эффективных и экономичных показателей базового и модернизированного двигателей.

n	g _e баз	g _e нов	Me баз	Me нов	Gt баз	Gt нов	Ne баз	Ne нов
мин ⁻¹	г/кВт*ч	г/кВт*ч	Н*м	Н*м	кг/ч	кг/ч	КВт	КВт
850	271,2995	248,33	109,6317	195,328	3,673048	5,936	9,5025	20
3400	240,2463	220,348	131,5549	218,25	12,36788	19,948	51,48	101
5000	254,6321	224,16	124,9823	207,32	17,0123	29,983	62,33	115
5600	262,2322	257,12	115,1884	190,08	18,2401	33,106	72,55	126
6200	271,3461	267,54	101,2225	173,41	18,95112	34,845	63,6	120

7 Безопасность и экологичность объекта бакалаврской работы

7.1 Экологические показатели ДВС

К экологическим показателям ДВС относятся параметры, характеризующие их воздействия (прямые и косвенные) на окружающую среду. В соответствии со вторым законом термодинамики, ДВС всегда будет выбрасывать теплоту в окружающее пространство и, таким образом, будет осуществляться тепловое загрязнение (подогрев) окружающей среды. Соответственно, чем выше будет КПД ДВС – тем лучше его топливная экономичность, и тем выше будут его экологические качества. Кроме тепловой энергии ДВС АТС выбрасывает в окружающую среду и паразитную механическую энергию в виде воздушных акустических излучений (шума) и вибрационных механических воздействий на присоединённые твёрдые структуры опорных элементов (рамы, кабины водителя, пассажирского помещения). Ещё одним видом загрязнения окружающей среды, производимым ДВС АТС, является осуществляемый в нём рабочий процесс сгорания топлива с соответствующим потреблением кислорода воздуха и сопутствующим протеканием химических превращений продуктов сгорания во вредные токсические вещества, выбрасываемые в атмосферу (CO_2 , CO , NO_x , CH , твёрдые частицы сажи). Продукт сгорания углеводородных топлив в ДВС – диоксид углерода (CO_2), не являясь токсичным веществом, представляет серьёзную экологическую опасность для окружающей среды. Он препятствует излучению теплоты земным шаром в окружающее пространство, что вызывает появление «парникового эффекта», с соответствующим возрастанием температуры атмосферы и сопутствующими негативными климатическими изменениями. В качестве косвенных неблагоприятных экологических воздействий ДВС на окружающую среду следует отнести расходуемые невозобновляемые конструкционные и эксплуатационные материалы, используемые в процессах производства ДВС и в процессах их эксплуатации (ремонта, технического

обслуживания) в составе АТС. Сюда же могут быть отнесены и затраты энергии (соответственно – нефти, газа, угля) при добыче и переработке сырья (металлической руды), с сопутствующими реализуемыми «экологически грязными» технологиями, а также технологические процессы изготовления конструкционных материалов (металлов, пластмасс и т.п.) и деталей узлов ДВС, характеризующихся аналогичными негативными экологическими воздействиями на окружающую среду. В этом отношении, уменьшение массы ДВС является одним из важных направлений улучшения экологических показателей ДВС. В процессе эксплуатации ДВС глушители шума системы выпуска которых содержат пористые звукопоглощающие вещества в виде волокнистых набивок резонансных и расширительных камер (базальтовое волокно, стеклянное волокно), может происходить их выдувание пульсирующим газовым потоком в открытую атмосферу, что является ещё одним негативным источником загрязнения ДВС окружающей среды [1, с.23].

7.2 Экономичность, токсичность и дымность отработавших газов ДВС

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

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

Данные мероприятия влияют на токсичность отработавших газов следующим образом:

СН – токсичность по данному компоненту снижается за счет большей интенсивности турбулентности в камере сгорания и её компактности, что позволяет лучше догорать СН за фронтом пламени и в пристеночной области. В случае увеличения зазора между вытеснителями до 1 мм в прогретом состоянии обеспечивается полное догорание смеси в данном зажатом объеме. Таким образом, обеспечивается снижение токсичности ОГ по СН на 15% по сравнению с базовыми показателями.

NO_x – токсичность по данному компоненту повышается, т.к. более быстрое и интенсивное сгорание обеспечивает большие значения температуры за фронтом пламени, что приводит к росту образования NO_x в процессе сгорания. Для выполнения норм по токсичности ОГ необходимо устанавливать современные каталитические нейтрализаторы накопительного типа, которые будут собирать избыточный NO_x в отстойник, и восстанавливать его при кратковременной работе на богатой смеси.

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

СО₂ – выбросы по данному компоненту увеличатся в связи с увеличением рабочего объема двигателя

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

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

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

Шум движущегося автомобиля складывается из шума, создаваемого двигателем и его системами, агрегатами автомобиля, кузовом, который

колеблется от воздействия двигателя, дороги, потока воздуха, и шума вспомогательного оборудования. Количественная оценка шума каждого источника представляет собой сложную экспериментальную задачу.

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

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

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

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

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

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

Однако можно предположить, что в связи с увеличением габаритов двигателя, а значит и действием инерционных сил, шум от работы ГРМ и КШМ может несколько возрасти. Также специально спроектированные профили впускных каналов обеспечивают большую скорость потока на впуске, а значит увеличение шумности. Уменьшение диаметра выпускных каналов для создания компактной формы камеры сгорания однозначно приведет к повышению скорости движения выхлопных газов и повышенному шуму на кромках клапана.

7.4 Эффективность применения новой камеры сгорания и впускных каналов

Применение новой конструкции впускных каналов позволило несколько поднять коэффициент наполнения на малых и средних оборотах, в то время как на высоких оборотах он несколько ниже, чем на базовом двигателе. Это произошло за счет того, что проходное сечение каналов было уменьшено практически на 10%, что заметно повысило скорость движения потока по каналам, тем самым увеличилась инерциальность потока. Высокие скорости потока в процессе впуска создают в цилиндре двигателя высокую турбулентность потока, что способствует хорошему перемешиванию смеси, тем самым, повышая её однородность, что улучшает протекание процесса горения. Применение новой системы впуска позволило создать в цилиндре двигателя хорошо сформировавшуюся структуру потока с вихревым движением по всем плоскостям, коэффициент вихревого движения в горизонтальной плоскости в процессе впуска достигал 3.4, а в вертикальной плоскости 2.9. Что выгодно отличает его от базового двигателя, в котором вихревое движение потока практически отсутствовало. В процессе сжатия за счёт более организованного

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

Содержание в отработавших газах оксида азота будет несколько выше из-за более высокой температуры и давления в процессе сгорания.

7.5 Выводы по разделу безопасность и экологичность бакалаврской работы

Предполагается, что проектируемая конструкция компактной камеры сгорания, соответствует предъявляемым нормативным требованиям в отношении достижения удовлетворительных характеристик безопасности и экологичности. Для этого она должна пройти обязательную сертификацию АТС в РФ, которая предусматривает процедуру отипования автомобилей, изложенную в системе сертификации ГОСТ Р. Также нужно пройти процесс омологации (официальное утверждение типа транспортного средства) т.е. сертификацию продукции в соответствии с Правилами Европейской экономической комиссии при Организации Объединённых наций (ЕЭК ООН). Он подразумевает контрольную проверку соответствия транспортного средства требованиям безопасности и экологичности с выдачей соответствующих подтверждающих документов.

В целом спроектированный двигатель удовлетворяет предъявляемым требованиям по токсичности и шуму, при условии установки на нем трехкомпонентного каталитического нейтрализатора и дополнительных устройств глушении шума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе спроектирован бензиновый двигатель с рабочим объемом $V_h=3.2$ л., работающим на номинальном скоростном режиме 5600 мин^{-1} . Основные конструктивные показатели по сравнению с двигателем ВАЗ: увеличен ход поршня с 71 до 78 мм, увеличен диаметр цилиндров с 82 до 90 мм, длина шатуна увеличилась с 121 до 147,5 мм, увеличилась общая длина двигателя с 510 до 525 мм, уменьшилась высота с 653 до 631 мм. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, основных деталей и систем двигателя.

Получено в двигателе с рабочим объемом $V_h=3.2$ л.:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 242 г/кВт*ч ;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600 \text{ мин}^{-1}$ 206 кВт , по сравнению с базовым увеличение составило 105% ;
- максимальный крутящий момент при номинальных оборотах $n=3200 \text{ мин}^{-1}$ 232 Н*м , по сравнению с базовым увеличение составило 85% ;
- для выполнения двигателем норм по токсичности необходимо установка каталитического нейтрализатора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
15	40	1	10,5	1,0524	1,833	768,617	1,002	0,9000	49,7618	0,0431	0,2644	3					
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	-15	0,11494	0,0429	1,20397	1,3E-06	768,6169	768,6169	774,7934	768,6169	771,7052			2,7E-06	1,83349	1	1	0
1	-14	0,11245	0,0374	1,17789	2E-05	774,7934	774,7934	781,1302	774,8006	777,9618	1,3584	6,5805	4E-05	1,88917	1	1	2,7E-06
2	-13	0,11013	0,0323	1,15355	8,8E-05	781,1302	781,1302	788,1034	781,1522	784,6168	1,3576	6,593	0,00018	1,94484	1	1	4,32E-05
3	-12	0,10797	0,0276	1,13096	0,00024	788,1034	788,1034	796,3754	788,1415	792,2394	1,3567	6,6062	0,00047	2,00143	1	1	0,000219
4	-11	0,10598	0,0232	1,11015	0,0005	796,3754	796,3754	806,7945	796,4314	801,585	1,3558	6,6212	0,00099	2,06044	1	1	0,000691
5	-10	0,10417	0,0192	1,09111	0,0009	806,7945	806,7945	820,3812	806,8691	813,5879	1,3546	6,6394	0,00181	2,12395	1,0001	1,0001	0,001685
6	-9	0,10252	0,0155	1,07385	0,00148	820,3812	820,3812	838,3046	820,4714	829,3429	1,3532	6,6623	0,00297	2,19461	1,0002	1,0001	0,003491
7	-8	0,10104	0,0123	1,05839	0,00227	838,3046	838,3046	861,8467	838,3985	850,0756	1,3514	6,6917	0,00453	2,27559	1,0003	1,0003	0,006458
8	-7	0,09974	0,0094	1,04473	0,00328	861,8467	861,8467	892,352	861,9164	877,0993	1,3491	6,7292	0,00656	2,37046	1,0006	1,0004	0,010992
9	-6	0,09861	0,0069	1,03288	0,00454	892,352	892,352	931,1622	892,3441	911,7571	1,3463	6,776	0,00907	2,48299	1,0009	1,0007	0,017549
10	-5	0,09765	0,0048	1,02285	0,00606	931,1622	931,1622	979,5392	930,99	955,3507	1,3429	6,8331	0,01211	2,61698	1,0013	1,0011	0,026624
11	-4	0,09686	0,0031	1,01463	0,00784	979,5392	979,5392	1038,58	979,077	1009,06	1,339	6,9004	0,01568	2,77592	1,0019	1,0016	0,038738
12	-3	0,09625	0,0017	1,00823	0,00988	1038,58	1038,58	1109,129	1037,665	1073,854	1,3346	6,9772	0,01976	2,96276	1,0027	1,0023	0,054418
13	-2	0,09582	0,0008	1,00366	0,01215	1109,129	1109,129	1191,697	1107,571	1150,413	1,3299	7,062	0,0243	3,17958	1,0037	1,0032	0,074175
14	-1	0,09556	0,0002	1,00091	0,01461	1191,697	1191,697	1286,388	1189,295	1239,043	1,3251	7,1526	0,02922	3,42733	1,0049	1,0043	0,098471
15	0	0,09547	0	1	0,0172	1286,388	1286,388	1392,839	1282,954	1339,614	1,3202	7,2463	0,0344	3,70558	1,0064	1,0057	0,127688
16	1	0,09556	0,0002	1,00091	0,01985	1392,839	1392,839	1510,177	1388,219	1451,508	1,3154	7,3405	0,03969	4,01232	1,0081	1,0073	0,16209
17	2	0,09582	0,0008	1,00366	0,02245	1510,177	1510,177	1637,001	1504,27	1573,589	1,3109	7,4328	0,0449	4,34387	1,0101	1,0091	0,201784
18	3	0,09625	0,0017	1,00823	0,0249	1637,001	1637,001	1771,385	1629,769	1704,193	1,3067	7,5209	0,0498	4,6948	1,0124	1,0113	0,246685
19	4	0,09686	0,0031	1,01463	0,02707	1771,385	1771,385	1910,923	1762,858	1841,154	1,3029	7,6033	0,05415	5,05804	1,0149	1,0137	0,296483
20	5	0,09765	0,0048	1,02285	0,02885	1910,923	1910,923	2052,803	1901,187	1981,863	1,2995	7,6788	0,05769	5,42505	1,0176	1,0163	0,350628
21	6	0,09861	0,0069	1,03288	0,03011	2052,803	2052,803	2193,931	2041,995	2123,367	1,2964	7,7466	0,06022	5,78618	1,0205	1,0191	0,408323
22	7	0,09974	0,0094	1,04473	0,03076	2193,931	2193,931	2331,082	2182,218	2262,506	1,2938	7,8065	0,06151	6,13115	1,0236	1,022	0,468539
23	8	0,10104	0,0123	1,05839	0,03073	2331,082	2331,082	2461,093	2318,647	2396,087	1,2916	7,8583	0,06145	6,44964	1,0266	1,0251	0,530052

24	9	0,10252	0,0155	1,07385	0,02999	2461,093	2461,093	2581,053	2448,119	2521,073	1,2898	7,9023	0,05998	6,73197	1,0297	1,0282	0,591505
25	10	0,10417	0,0192	1,09111	0,02857	2581,053	2581,053	2688,499	2567,709	2634,776	1,2882	7,9389	0,05713	6,9698	1,0327	1,0312	0,651486
26	11	0,10598	0,0232	1,11015	0,02652	2688,499	2688,499	2781,576	2674,931	2735,038	1,287	7,9686	0,05304	7,15668	1,0356	1,0342	0,708618
27	12	0,10797	0,0276	1,13096	0,02397	2781,576	2781,576	2859,152	2767,903	2820,364	1,286	7,992	0,04794	7,28859	1,0383	1,037	0,761661
28	13	0,11013	0,0323	1,15355	0,02105	2859,152	2859,152	2920,865	2845,462	2890,008	1,2853	8,0098	0,04211	7,36411	1,0407	1,0395	0,809597
29	14	0,11245	0,0374	1,17789	0,01795	2920,865	2920,865	2967,1	2907,219	2943,982	1,2848	8,0227	0,0359	7,38452	1,0428	1,0418	0,851705
30	15	0,11494	0,0429	1,20397	0,01483	2967,1	2967,1	2998,9	2953,537	2983	1,2844	8,0315	0,02966	7,35346	1,0446	1,0437	0,887605
31	16	0,1176	0,0488	1,23178	0,01185	2998,9	2998,9	3017,815	2985,439	3008,358	1,2842	8,0369	0,0237	7,27652	1,0461	1,0454	0,917261
32	17	0,12041	0,055	1,26131	0,00914	3017,815	3017,815	3025,722	3004,464	3021,769	1,2841	8,0394	0,01828	7,16061	1,0473	1,0467	0,940959
33	18	0,1234	0,0616	1,29255	0,0068	3025,722	3025,722	3024,627	3012,479	3025,174	1,2841	8,0398	0,0136	7,01328	1,0482	1,0478	0,959243
34	19	0,12654	0,0685	1,32547	0,00486	3024,627	3024,627	3016,495	3011,489	3020,561	1,2842	8,0385	0,00973	6,84205	1,0489	1,0486	0,97284
35	20	0,12984	0,0758	1,36007	0,00334	3016,495	3016,495	3003,112	3003,457	3009,804	1,2843	8,036	0,00668	6,65394	1,0494	1,0491	0,982566
36	21	0,1333	0,0834	1,39632	0,0022	3003,112	3003,112	2985,994	2990,17	2994,553	1,2844	8,0326	0,00439	6,45504	1,0497	1,0496	0,989245
37	22	0,13692	0,0914	1,43422	0,00138	2985,994	2985,994	2966,351	2973,144	2976,172	1,2846	8,0285	0,00276	6,25036	1,0499	1,0498	0,993637
38	23	0,14069	0,0997	1,47373	0,00083	2966,351	2966,351	2945,092	2953,591	2955,721	1,2847	8,024	0,00166	6,0438	1,0501	1,05	0,996399
39	24	0,14462	0,1084	1,51485	0,00047	2945,092	2945,092	2922,866	2932,422	2933,979	1,2849	8,0193	0,00094	5,83823	1,0502	1,0501	0,998055
40	25	0,1487	0,1174	1,55755	0,00026	2922,866	2922,866	2900,109	2910,284	2911,487	1,2851	8,0143	0,00051	5,63566	1,0502	1,0502	0,999

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
20	50	1	10,5	1,05243	1,481636	727,1108	1,038792	0,923	49,56278	0,036466	0,2644068	3,2					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	Dx1-2	P	m	m1-2	X
0	-20	0,13456	0,07580	1,36007	0,00000	727,1108	727,1108	733,9924	727,1108	730,5516			0,00000	1,48164	1	1	0
1	-19	0,13113	0,06852	1,32547	0,00000	733,9924	733,9924	740,8621	733,9924	737,4273	1,36399	6,49467	0,00001	1,53470	1	1	1E-0
2	-18	0,12787	0,06159	1,29255	0,00002	740,8621	740,8621	747,8422	740,8621	744,3522	1,36301	6,50950	0,00004	1,58852	1	1	2E-0
3	-17	0,12478	0,05501	1,26131	0,00006	747,8422	747,8422	755,1243	747,842	751,4833	1,36204	6,52425	0,00012	1,64320	1	1	0,00
4	-16	0,12186	0,04880	1,23178	0,00013	755,1243	755,1243	762,973	755,1238	759,0487	1,36106	6,53926	0,00027	1,69898	1	1,00001	0,00
5	-15	0,11911	0,04294	1,20397	0,00025	762,973	762,973	771,7277	762,9722	767,3504	1,36004	6,55498	0,00050	1,75632	1	1,00002	0,00
6	-14	0,11653	0,03745	1,17789	0,00043	771,7277	771,7277	781,8019	771,7264	776,7648	1,35894	6,57201	0,00085	1,81584	1	1,00003	0,00
7	-13	0,11412	0,03233	1,15355	0,00067	781,8019	781,8019	793,6811	781,7999	787,7415	1,35772	6,59104	0,00134	1,87842	1,0001	1,00007	0,00

8	-12	0,11189	0,02757	1,13096	0,00100	793,6811	793,6811	807,9174	793,6782	800,7993	1,35633	6,61284	0,00200	1,94514	1,0002	1,00012	0,00
9	-11	0,10983	0,02319	1,11015	0,00142	807,9174	807,9174	825,1199	807,913	816,5186	1,35472	6,63824	0,00285	2,01733	1,0003	1,00021	0,01
10	-10	0,10795	0,01918	1,09111	0,00195	825,1199	825,1199	845,9429	825,1133	835,5314	1,35285	6,66805	0,00390	2,09648	1,0004	1,00033	0,01
11	-9	0,10624	0,01555	1,07385	0,00260	845,9429	845,9429	871,0685	845,9332	858,5057	1,35069	6,70303	0,00520	2,18429	1,0006	1,0005	0,02
12	-8	0,10471	0,01229	1,05839	0,00337	871,0685	871,0685	901,1863	871,0542	886,1274	1,34820	6,74379	0,00674	2,28254	1,0009	1,00073	0,03
13	-7	0,10336	0,00942	1,04473	0,00428	901,1863	901,1863	936,9698	901,1654	919,0781	1,34538	6,79073	0,00856	2,39304	1,0012	1,00103	0,04
14	-6	0,10219	0,00692	1,03288	0,00532	936,9698	936,9698	979,0498	936,9398	958,0098	1,34223	6,84397	0,01065	2,51756	1,0016	1,00142	0,06
15	-5	0,10119	0,00481	1,02285	0,00651	979,0498	979,0498	1027,988	979,0077	1003,519	1,33879	6,90332	0,01302	2,65770	1,0022	1,00191	0,08
16	-4	0,10038	0,00308	1,01463	0,00783	1027,988	1027,988	1084,246	1027,93	1056,117	1,33511	6,96824	0,01566	2,81479	1,0028	1,00251	0,11
17	-3	0,09975	0,00173	1,00823	0,00928	1084,246	1084,246	1148,161	1084,169	1116,204	1,33124	7,03791	0,01855	2,98979	1,0036	1,00323	0,14
18	-2	0,09929	0,00077	1,00366	0,01084	1148,161	1148,161	1219,918	1148,062	1184,04	1,32727	7,11124	0,02167	3,18315	1,0046	1,0041	0,17
19	-1	0,09902	0,00019	1,00091	0,01249	1219,918	1219,918	1299,521	1219,792	1259,72	1,32326	7,18697	0,02498	3,39474	1,0057	1,00511	0,21
20	0	0,09893	0,00000	1,00000	0,01421	1299,521	1299,521	1386,776	1299,368	1343,149	1,31930	7,26377	0,02842	3,62376	1,0069	1,00629	0,26
21	1	0,09902	0,00019	1,00091	0,01596	1386,776	1386,776	1481,264	1386,594	1434,02	1,31544	7,34032	0,03192	3,86867	1,0084	1,00764	0,31
22	2	0,09929	0,00077	1,00366	0,01770	1481,264	1481,264	1582,337	1481,054	1531,801	1,31175	7,41540	0,03540	4,12716	1,01	1,00917	0,36
23	3	0,09975	0,00173	1,00823	0,01938	1582,337	1582,337	1689,103	1582,102	1635,72	1,30827	7,48791	0,03876	4,39616	1,0118	1,01087	0,42
24	4	0,10038	0,00308	1,01463	0,02095	1689,103	1689,103	1800,435	1688,845	1744,769	1,30502	7,55698	0,04189	4,67184	1,0137	1,01275	0,48
25	5	0,10119	0,00481	1,02285	0,02235	1800,435	1800,435	1914,981	1800,158	1857,708	1,30203	7,62188	0,04470	4,94969	1,0158	1,01479	0,54
26	6	0,10219	0,00692	1,03288	0,02353	1914,981	1914,981	2031,198	1914,691	1973,089	1,29931	7,68211	0,04706	5,22470	1,0181	1,01698	0,60
27	7	0,10336	0,00942	1,04473	0,02443	2031,198	2031,198	2147,389	2030,9	2089,293	1,29685	7,73731	0,04886	5,49145	1,0205	1,0193	0,66
28	8	0,10471	0,01229	1,05839	0,02501	2147,389	2147,389	2261,761	2147,088	2204,575	1,29467	7,78731	0,05002	5,74433	1,023	1,02173	0,71
29	9	0,10624	0,01555	1,07385	0,02523	2261,761	2261,761	2372,493	2261,462	2317,127	1,29274	7,83204	0,05046	5,97781	1,0255	1,02423	0,76
30	10	0,10795	0,01918	1,09111	0,02507	2372,493	2372,493	2477,806	2372,199	2425,15	1,29106	7,87155	0,05013	6,18668	1,028	1,02677	0,81
31	11	0,10983	0,02319	1,11015	0,02451	2477,806	2477,806	2576,049	2477,521	2526,928	1,28960	7,90599	0,04902	6,36628	1,0306	1,02931	0,85
32	12	0,11189	0,02757	1,13096	0,02357	2576,049	2576,049	2665,77	2575,775	2620,909	1,28837	7,93556	0,04714	6,51276	1,0331	1,03182	0,88
33	13	0,11412	0,03233	1,15355	0,02227	2665,77	2665,77	2745,785	2665,507	2705,777	1,28733	7,96053	0,04454	6,62328	1,0354	1,03425	0,91
34	14	0,11653	0,03745	1,17789	0,02067	2745,785	2745,785	2815,237	2745,535	2780,511	1,28648	7,98121	0,04134	6,69615	1,0377	1,03657	0,94
35	15	0,11911	0,04294	1,20397	0,01882	2815,237	2815,237	2873,628	2814,999	2844,432	1,28580	7,99794	0,03763	6,73092	1,0398	1,03874	0,95
36	16	0,12186	0,04880	1,23178	0,01679	2873,628	2873,628	2920,832	2873,401	2897,23	1,28526	8,01107	0,03359	6,72834	1,0417	1,04074	0,97
37	17	0,12478	0,05501	1,26131	0,01468	2920,832	2920,832	2957,084	2920,614	2938,958	1,28486	8,02099	0,02935	6,69033	1,0434	1,04254	0,98
38	18	0,12787	0,06159	1,29255	0,01255	2957,084	2957,084	2982,948	2956,875	2970,016	1,28457	8,02807	0,02509	6,61981	1,0449	1,04414	0,98
39	19	0,13113	0,06852	1,32547	0,01048	2982,948	2982,948	2999,258	2982,746	2991,103	1,28439	8,03268	0,02097	6,52044	1,0461	1,04551	0,99
40	20	0,13456	0,07580	1,36007	0,00855	2999,258	2999,258	3007,047	2999,06	3003,152	1,28429	8,03519	0,01710	6,39645	1,0472	1,04668	0,99

41	21	0,13814	0,08344	1,39632	0,00680	3007,047	3007,047	3007,474	3006,853	3007,26	1,284256	8,03592	0,01360	6,25231	1,0481	1,04764	0,99
42	22	0,14189	0,09141	1,43422	0,00527	3007,474	3007,474	3001,744	3007,282	3004,609	1,284285	8,03520	0,01053	6,09250	1,0488	1,04842	0,99
43	23	0,14580	0,09973	1,47373	0,00397	3001,744	3001,744	2991,034	3001,553	2996,389	1,284362	8,03330	0,00794	5,92129	1,0493	1,04903	
44	24	0,14987	0,10839	1,51485	0,00290	2991,034	2991,034	2976,439	2990,843	2983,737	1,284476	8,03047	0,00581	5,74258	1,0497	1,04949	
45	25	0,15409	0,11738	1,55755	0,00206	2976,439	2976,439	2958,928	2976,248	2967,684	1,28462	8,02692	0,00413	5,55973	1,05	1,04984	
46	26	0,15847	0,12670	1,60181	0,00142	2958,928	2958,928	2939,322	2958,736	2949,125	1,284786	8,02282	0,00284	5,37557	1,0502	1,05009	
47	27	0,16300	0,13634	1,64762	0,00094	2939,322	2939,322	2918,286	2939,128	2928,804	1,284968	8,01833	0,00189	5,19236	1,0503	1,05027	
48	28	0,16768	0,14630	1,69494	0,00061	2918,286	2918,286	2896,338	2918,09	2907,312	1,285163	8,01354	0,00122	5,01183	1,0504	1,05039	
49	29	0,17252	0,15658	1,74377	0,00038	2896,338	2896,338	2873,866	2896,141	2885,102	1,285366	8,00854	0,00075	4,83522	1,0505	1,05047	
50	30	0,17749	0,16717	1,79406	0,00023	2873,866	2873,866	2851,149	2873,668	2862,507	1,285575	8,00340	0,00045	4,66342	1,0505	1,05052	

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
30	60	1	10,5	1,0524	0,9772	651,6674	1,0701	0,96	50,1665	0,0339	0,2644	3,4					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	TИстина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-30	0,1828	0,1672	1,7941	5,2E-08	651,6674	651,6674	659,7184	651,6674	655,6929			1,04E-07	0,97722	1	1	0
1	-29	0,1777	0,1566	1,7438	1E-06	659,7184	659,7184	666,8143	658,6808	663,2663	1,37598	6,3195	2,08E-06	1,01623	1	1	1,04E-07
2	-28	0,1727	0,1463	1,6949	5,4E-06	666,8143	666,8143	674,0203	665,7655	670,4173	1,37464	6,33846	1,08E-05	1,05675	1	1	2,19E-06
3	-27	0,1679	0,1363	1,6476	1,7E-05	674,0203	674,0203	681,4002	672,9603	677,7103	1,37341	6,35611	3,32E-05	1,09885	1	1	1,3E-05
4	-26	0,1632	0,1267	1,6018	3,9E-05	681,4002	681,4002	689,0471	680,3288	685,2237	1,37217	6,37384	7,71E-05	1,14265	1	1	4,62E-05
5	-25	0,1587	0,1174	1,5575	7,6E-05	689,0471	689,0471	697,0863	687,9642	693,0667	1,37093	6,39184	0,000152	1,18831	1,00001	1	0,000123
6	-24	0,1544	0,1084	1,5148	0,00013	697,0863	697,0863	705,677	695,9917	701,3816	1,36966	6,41035	0,000267	1,23607	1,00001	1,00001	0,000275
7	-23	0,1502	0,0997	1,4737	0,00022	705,677	705,677	715,0138	704,5708	710,3454	1,36835	6,42967	0,000433	1,28624	1,00003	1,00002	0,000542
8	-22	0,1462	0,0914	1,4342	0,00033	715,0138	715,0138	725,3274	713,896	720,1706	1,36696	6,45016	0,000661	1,33919	1,00005	1,00004	0,000975
9	-21	0,1423	0,0834	1,3963	0,00048	725,3274	725,3274	736,8839	724,1978	731,1056	1,36548	6,47222	0,000964	1,39542	1,00008	1,00007	0,001636
10	-20	0,1386	0,0758	1,3601	0,00068	736,8839	736,8839	749,9843	735,7426	743,4341	1,36388	6,49629	0,001352	1,45552	1,00013	1,00011	0,0026
11	-19	0,1351	0,0685	1,3255	0,00092	749,9843	749,9843	764,9617	748,8313	757,473	1,36213	6,52285	0,001838	1,52017	1,0002	1,00017	0,003951
12	-18	0,1317	0,0616	1,2925	0,00122	764,9617	764,9617	782,1781	763,7969	773,5699	1,36021	6,55235	0,002434	1,59017	1,00029	1,00025	0,005789
13	-17	0,1285	0,055	1,2613	0,00158	782,1781	782,1781	802,0191	781,0014	792,0986	1,35809	6,58525	0,003152	1,66644	1,00042	1,00036	0,008223
14	-16	0,1255	0,0488	1,2318	0,002	802,0191	802,0191	824,8877	800,8304	813,4534	1,35575	6,62194	0,004004	1,74996	1,00058	1,0005	0,011375

15	-15	0,1227	0,0429	1,204	0,0025	824,8877	824,8877	851,1964	823,6869	838,042	1,35319	6,66273	0,004999	1,84182	1,00078	1,00068	0,015379
16	-14	0,12	0,0374	1,1779	0,00307	851,1964	851,1964	881,3583	849,9835	866,2773	1,3504	6,70783	0,006146	1,94315	1,00103	1,00091	0,020378
17	-13	0,1176	0,0323	1,1535	0,00373	881,3583	881,3583	915,7771	880,1334	898,5677	1,34739	6,75729	0,007454	2,05511	1,00135	1,00119	0,026524
18	-12	0,1153	0,0276	1,131	0,00446	915,7771	915,7771	954,8359	914,5402	935,3065	1,34417	6,81102	0,008927	2,17884	1,00172	1,00153	0,033978
19	-11	0,1131	0,0232	1,1101	0,00528	954,8359	954,8359	998,8853	953,5872	976,8606	1,34079	6,86877	0,010568	2,31542	1,00218	1,00195	0,042906
20	-10	0,1112	0,0192	1,0911	0,00619	998,8853	998,8853	1048,232	997,6256	1023,559	1,33726	6,93013	0,012375	2,46584	1,00271	1,00244	0,053474
21	-9	0,1094	0,0155	1,0739	0,00717	1048,232	1048,232	1103,126	1046,962	1075,679	1,33364	6,99453	0,014342	2,63089	1,00334	1,00303	0,065848
22	-8	0,1079	0,0123	1,0584	0,00823	1103,126	1103,126	1163,748	1101,847	1133,437	1,32996	7,06129	0,01646	2,81115	1,00407	1,0037	0,08019
23	-7	0,1065	0,0094	1,0447	0,00936	1163,748	1163,748	1230,197	1162,462	1196,973	1,32628	7,12966	0,018714	3,00692	1,0049	1,00448	0,096651
24	-6	0,1053	0,0069	1,0329	0,01054	1230,197	1230,197	1302,478	1228,906	1266,338	1,32264	7,19884	0,021081	3,21811	1,00585	1,00538	0,115364
25	-5	0,1042	0,0048	1,0228	0,01177	1302,478	1302,478	1380,49	1301,184	1341,484	1,31908	7,26803	0,023535	3,44428	1,00692	1,00639	0,136445
26	-4	0,1034	0,0031	1,0146	0,01302	1380,49	1380,49	1464,016	1379,196	1422,253	1,31563	7,33644	0,026041	3,68449	1,00811	1,00752	0,159979
27	-3	0,1028	0,0017	1,0082	0,01428	1464,016	1464,016	1552,715	1462,726	1508,365	1,31233	7,40338	0,028559	3,93734	1,00943	1,00877	0,18602
28	-2	0,1023	0,0008	1,0037	0,01552	1552,715	1552,715	1646,113	1551,431	1599,414	1,3092	7,46822	0,031043	4,20089	1,01088	1,01016	0,21458
29	-1	0,102	0,0002	1,0009	0,01672	1646,113	1646,113	1743,605	1644,839	1694,859	1,30626	7,53042	0,033441	4,47271	1,01246	1,01167	0,245623
30	0	0,1019	0	1	0,01785	1743,605	1743,605	1844,45	1742,343	1794,027	1,30351	7,58954	0,035697	4,74984	1,01415	1,0133	0,279064
31	1	0,102	0,0002	1,0009	0,01888	1844,45	1844,45	1947,782	1843,204	1896,116	1,30097	7,64526	0,037752	5,02889	1,01596	1,01506	0,314761
32	2	0,1023	0,0008	1,0037	0,01977	1947,782	1947,782	2052,62	1946,553	2000,201	1,29863	7,69732	0,039546	5,30607	1,01788	1,01692	0,352513
33	3	0,1028	0,0017	1,0082	0,02051	2052,62	2052,62	2157,887	2051,412	2105,253	1,29649	7,74557	0,041021	5,57727	1,01988	1,01888	0,392059
34	4	0,1034	0,0031	1,0146	0,02106	2157,887	2157,887	2262,431	2156,7	2210,159	1,29455	7,78992	0,042122	5,83824	1,02196	1,02092	0,43308
35	5	0,1042	0,0048	1,0228	0,0214	2262,431	2262,431	2365,056	2261,266	2313,743	1,29281	7,83036	0,042804	6,08465	1,0241	1,02303	0,475202
36	6	0,1053	0,0069	1,0329	0,02151	2365,056	2365,056	2464,557	2363,915	2414,806	1,29125	7,86691	0,043027	6,3123	1,02627	1,02518	0,518006
37	7	0,1065	0,0094	1,0447	0,02138	2464,557	2464,557	2559,753	2463,439	2512,155	1,28987	7,89965	0,042768	6,51725	1,02845	1,02736	0,561033
38	8	0,1079	0,0123	1,0584	0,02101	2559,753	2559,753	2649,53	2558,658	2604,642	1,28865	7,9287	0,042015	6,69595	1,03062	1,02954	0,6038
39	9	0,1094	0,0155	1,0739	0,02039	2649,53	2649,53	2732,878	2648,459	2691,204	1,2876	7,9542	0,040776	6,84543	1,03275	1,03169	0,645815
40	10	0,1112	0,0192	1,0911	0,01954	2732,878	2732,878	2808,926	2731,829	2770,902	1,28668	7,97632	0,039074	6,9634	1,03482	1,03379	0,686592
41	11	0,1131	0,0232	1,1101	0,01848	2808,926	2808,926	2876,974	2807,898	2842,95	1,28591	7,99524	0,036951	7,04833	1,0368	1,03581	0,725666
42	12	0,1153	0,0276	1,131	0,01723	2876,974	2876,974	2936,515	2875,965	2906,744	1,28526	8,01117	0,034465	7,0995	1,03868	1,03774	0,762617
43	13	0,1176	0,0323	1,1535	0,01584	2936,515	2936,515	2987,256	2935,525	2961,886	1,28472	8,02433	0,031685	7,11707	1,04042	1,03955	0,797082
44	14	0,12	0,0374	1,1779	0,01435	2987,256	2987,256	3029,118	2986,284	3008,187	1,2843	8,03492	0,028695	7,10197	1,04203	1,04123	0,828767
45	15	0,1227	0,0429	1,204	0,01279	3029,118	3029,118	3062,235	3028,162	3045,677	1,28396	8,04319	0,025582	7,05591	1,04349	1,04276	0,857462
46	16	0,1255	0,0488	1,2318	0,01122	3062,235	3062,235	3086,936	3061,293	3074,586	1,28371	8,04935	0,022436	6,98125	1,04478	1,04413	0,883044
47	17	0,1285	0,055	1,2613	0,00967	3086,936	3086,936	3103,723	3086,007	3095,33	1,28354	8,05363	0,019343	6,88085	1,04592	1,04535	0,90548

48	18	0,1317	0,0616	1,2925	0,00819	3103,723	3103,723	3113,237	3102,805	3108,48	1,28344	8,05625	0,016381	6,75796	1,0469	1,04641	0,924823
49	19	0,1351	0,0685	1,3255	0,00681	3113,237	3113,237	3116,222	3112,329	3114,73	1,28339	8,05742	0,013616	6,61605	1,04773	1,04732	0,941203
50	20	0,1386	0,0758	1,3601	0,00555	3116,222	3116,222	3113,484	3115,324	3114,853	1,28339	8,05734	0,011101	6,45864	1,04842	1,04808	0,95482
51	21	0,1423	0,0834	1,3963	0,00443	3113,484	3113,484	3105,852	3112,594	3109,668	1,28344	8,0562	0,008868	6,28919	1,04899	1,0487	0,96592
52	22	0,1462	0,0914	1,4342	0,00347	3105,852	3105,852	3094,143	3104,969	3099,998	1,28352	8,05418	0,006936	6,11098	1,04944	1,04921	0,974789
53	23	0,1502	0,0997	1,4737	0,00265	3094,143	3094,143	3079,127	3093,266	3086,635	1,28363	8,05142	0,005307	5,92697	1,04979	1,04961	0,981725
54	24	0,1544	0,1084	1,5148	0,00198	3079,127	3079,127	3061,51	3078,257	3070,319	1,28377	8,04806	0,003969	5,73982	1,05006	1,04992	0,987032
55	25	0,1587	0,1174	1,5575	0,00145	3061,51	3061,51	3041,914	3060,645	3051,712	1,28392	8,04422	0,002898	5,55176	1,05026	1,05016	0,991001
56	26	0,1632	0,1267	1,6018	0,00103	3041,914	3041,914	3020,867	3041,054	3031,39	1,28409	8,04002	0,002064	5,36468	1,0504	1,05033	0,993899
57	27	0,1679	0,1363	1,6476	0,00072	3020,867	3020,867	2998,808	3020,012	3009,837	1,28427	8,03552	0,001433	5,18008	1,05051	1,05046	0,995963
58	28	0,1727	0,1463	1,6949	0,00048	2998,808	2998,808	2976,09	2997,958	2987,449	1,28446	8,03079	0,000968	4,99909	1,05058	1,05055	0,997396
59	29	0,1777	0,1566	1,7438	0,00032	2976,09	2976,09	2952,985	2975,245	2964,538	1,28466	8,02591	0,000636	4,82259	1,05063	1,05061	0,998364
60	30	0,1828	0,1672	1,7941	0,0002	2952,985	2952,985	2929,702	2952,145	2941,343	1,28486	8,02089	0,000406	4,65117	1,05066	1,05065	0,999

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
40	70	1	10,5	1,052	0,648	573,433	1,074	0,97	50,697	0,030	0,264	3,6					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	TИстина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-40	0,2427	0,289	2,3727	1,1E-08	573,433	573,4332	579,58	573,433	576,508			2,25E-08	0,64774	1	1	0
1	-39	0,2362	0,2756	2,309	2,6E-07	579,582	579,582	585,83	579,582	582,708	1,39204	6,101488	5,23E-07	0,67273	1	1	2,25E-08
2	-38	0,2298	0,2624	2,2466	1,5E-06	585,834	585,8337	592,2	585,834	589,018	1,39063	6,119976	2,98E-06	0,69889	1	1	5,45E-07
3	-37	0,2236	0,2496	2,1854	4,9E-06	592,202	592,2019	598,71	592,202	595,456	1,38922	6,138527	9,7E-06	0,72626	1	1	3,52E-06
4	-36	0,2174	0,2369	2,1255	1,2E-05	598,711	598,7105	605,4	598,71	602,053	1,38781	6,157187	2,37E-05	0,75495	1	1	1,32E-05
5	-35	0,2114	0,2246	2,0668	2,4E-05	605,396	605,3956	612,31	605,395	608,852	1,3864	6,176032	4,85E-05	0,78503	1	1,000001	3,69E-05
6	-34	0,2056	0,2125	2,0095	4,4E-05	612,307	612,3074	619,51	612,307	615,909	1,38497	6,195169	8,81E-05	0,81664	1	1,000003	8,54E-05
7	-33	0,1999	0,2008	1,9536	7,4E-05	619,511	619,5114	627,09	619,511	623,301	1,38353	6,214739	0,000147	0,84991	1,00001	1,000007	0,000174
8	-32	0,1943	0,1893	1,899	0,00012	627,09	627,0899	635,14	627,089	631,116	1,38205	6,234919	0,000231	0,88504	1,00002	1,000013	0,000321
9	-31	0,1888	0,1781	1,8458	0,00017	635,143	635,143	643,79	635,142	639,466	1,38052	6,255916	0,000344	0,92224	1,00003	1,000022	0,000551
10	-30	0,1835	0,1672	1,7941	0,00025	643,79	643,7896	653,17	643,788	648,479	1,37893	6,277969	0,000492	0,96177	1,00005	1,000037	0,000895
11	-29	0,1784	0,1566	1,7438	0,00034	653,168	653,1677	663,44	653,166	658,302	1,37726	6,301344	0,000682	1,00395	1,00007	1,000058	0,001387

12	-28	0,1734	0,1463	1,6949	0,00046	663,435	663,4353	674,77	663,432	669,102	1,37549	6,32633	0,000919	1,04914	1,00011	1,000088	0,002069
13	-27	0,1686	0,1363	1,6476	0,00061	674,769	674,7695	687,37	674,765	681,068	1,37361	6,353229	0,001211	1,09775	1,00015	1,000129	0,002988
14	-26	0,1639	0,1267	1,6018	0,00078	687,367	687,3668	701,44	687,361	694,404	1,37159	6,382348	0,001564	1,15028	1,00021	1,000183	0,004199
15	-25	0,1593	0,1174	1,5575	0,00099	701,442	701,4416	717,23	701,434	709,333	1,36941	6,413986	0,001984	1,20728	1,00029	1,000254	0,005763
16	-24	0,155	0,1084	1,5148	0,00124	717,225	717,2251	734,96	717,215	726,094	1,36708	6,448423	0,002479	1,26935	1,00039	1,000344	0,007748
17	-23	0,1508	0,0997	1,4737	0,00153	734,963	734,9628	754,91	734,948	744,938	1,36457	6,485903	0,003055	1,33718	1,00052	1,000458	0,010227
18	-22	0,1467	0,0914	1,4342	0,00186	754,912	754,9122	777,34	754,893	766,126	1,36189	6,526617	0,003718	1,4115	1,00068	1,000598	0,013282
19	-21	0,1428	0,0834	1,3963	0,00224	777,34	777,3396	802,52	777,313	789,928	1,35902	6,570691	0,004475	1,49313	1,00087	1,000771	0,017
20	-20	0,1391	0,0758	1,3601	0,00267	802,516	802,5159	830,71	802,48	816,614	1,35599	6,618174	0,00533	1,58289	1,00109	1,000979	0,021475
21	-19	0,1356	0,0685	1,3255	0,00314	830,713	830,7128	862,2	830,664	846,455	1,35279	6,669021	0,006289	1,68167	1,00136	1,001229	0,026805
22	-18	0,1322	0,0616	1,2925	0,00368	862,198	862,1977	897,23	862,133	879,713	1,34946	6,723094	0,007355	1,79036	1,00169	1,001525	0,033095
23	-17	0,129	0,055	1,2613	0,00426	897,229	897,2288	936,05	897,143	916,639	1,34601	6,780158	0,00853	1,90987	1,00206	1,001872	0,04045
24	-16	0,126	0,0488	1,2318	0,00491	936,049	936,0492	978,88	935,938	957,465	1,34247	6,839887	0,009815	2,04105	1,00249	1,002277	0,048979
25	-15	0,1232	0,0429	1,204	0,0056	978,881	978,8814	1025,9	978,739	1002,4	1,33888	6,901873	0,011209	2,18471	1,00299	1,002744	0,058794
26	-14	0,1205	0,0374	1,1779	0,00635	1025,92	1025,921	1077,3	1025,74	1051,62	1,33525	6,96564	0,012708	2,34157	1,00356	1,003279	0,070003
27	-13	0,118	0,0323	1,1535	0,00715	1077,33	1077,329	1133,2	1077,1	1105,28	1,33164	7,030665	0,014308	2,51223	1,00421	1,003888	0,082711
28	-12	0,1157	0,0276	1,131	0,008	1133,23	1133,228	1193,7	1132,95	1163,46	1,32806	7,096397	0,016	2,6971	1,00494	1,004576	0,097019
29	-11	0,1136	0,0232	1,1101	0,00889	1193,69	1193,694	1258,7	1193,36	1226,22	1,32456	7,162277	0,017772	2,8964	1,00575	1,005347	0,113019
30	-10	0,1116	0,0192	1,0911	0,00981	1258,75	1258,747	1328,3	1258,35	1293,55	1,32114	7,227757	0,019611	3,11008	1,00666	1,006207	0,130791
31	-9	0,1099	0,0155	1,0739	0,01075	1328,35	1328,348	1402,4	1327,88	1365,37	1,31785	7,292319	0,021498	3,33782	1,00766	1,007159	0,150402
32	-8	0,1083	0,0123	1,0584	0,01171	1402,39	1402,392	1480,7	1401,85	1441,55	1,31469	7,355487	0,023414	3,57894	1,00875	1,008205	0,1719
33	-7	0,1069	0,0094	1,0447	0,01267	1480,7	1480,699	1563	1480,08	1521,86	1,31168	7,416836	0,025332	3,8324	1,00994	1,009349	0,195314
34	-6	0,1057	0,0069	1,0329	0,01361	1563,01	1563,014	1649	1562,31	1606,01	1,30883	7,476001	0,027226	4,09678	1,01123	1,010589	0,220646
35	-5	0,1046	0,0048	1,0228	0,01453	1649	1649	1738,2	1648,21	1693,62	1,30615	7,532676	0,029065	4,37022	1,01262	1,011927	0,247872
36	-4	0,1038	0,0031	1,0146	0,01541	1738,23	1738,234	1830,2	1737,36	1784,22	1,30365	7,586618	0,030817	4,6505	1,0141	1,013361	0,276937
37	-3	0,1031	0,0017	1,0082	0,01622	1830,22	1830,215	1924,4	1829,26	1877,29	1,30131	7,637639	0,032447	4,93497	1,01567	1,014885	0,307755
38	-2	0,1027	0,0008	1,0037	0,01696	1924,36	1924,357	2020	1923,32	1972,18	1,29915	7,685609	0,033918	5,22063	1,01732	1,016496	0,340201
39	-1	0,1024	0,0002	1,0009	0,0176	2020	2020	2116,4	2018,89	2068,21	1,29716	7,730444	0,035197	5,50419	1,01905	1,018185	0,37412
40	0	0,1023	0	1	0,01812	2116,42	2116,417	2212,8	2115,23	2164,62	1,29533	7,772102	0,036247	5,7821	1,02084	1,019945	0,409316
41	1	0,1024	0,0002	1,0009	0,01852	2212,82	2212,823	2308,4	2211,57	2260,61	1,29366	7,810579	0,037039	6,05069	1,02269	1,021763	0,445564
42	2	0,1027	0,0008	1,0037	0,01877	2308,39	2308,392	2402,3	2307,07	2355,33	1,29215	7,845903	0,037542	6,30622	1,02457	1,023629	0,482602
43	3	0,1031	0,0017	1,0082	0,01887	2402,27	2402,269	2493,6	2400,89	2447,93	1,29078	7,878128	0,037736	6,54503	1,02648	1,025528	0,520145
44	4	0,1038	0,0031	1,0146	0,0188	2493,6	2493,595	2581,5	2492,16	2537,56	1,28955	7,907329	0,037603	6,76363	1,0284	1,027444	0,557881

45	5	0,1046	0,0048	1,0228	0,01857	2581,52	2581,522	2665,2	2580,04	2623,38	1,28845	7,933599	0,037134	6,95884	1,03032	1,029362	0,595484
46	6	0,1057	0,0069	1,0329	0,01817	2665,24	2665,237	2744	2663,72	2704,61	1,28748	7,957047	0,03633	7,12785	1,03221	1,031265	0,632618
47	7	0,1069	0,0094	1,0447	0,0176	2743,98	2743,983	2817,1	2742,43	2780,53	1,28662	7,97779	0,0352	7,26839	1,03406	1,033135	0,668949
48	8	0,1083	0,0123	1,0584	0,01688	2817,08	2817,082	2884	2815,5	2850,52	1,28588	7,99596	0,033762	7,37873	1,03585	1,034956	0,704149
49	9	0,1099	0,0155	1,0739	0,01602	2883,95	2883,951	2944,1	2882,34	2914,04	1,28524	8,011692	0,032044	7,45779	1,03757	1,036712	0,737911
50	10	0,1116	0,0192	1,0911	0,01504	2944,12	2944,12	2997,2	2942,49	2970,68	1,28469	8,02513	0,030082	7,50513	1,0392	1,038387	0,769955
51	11	0,1136	0,0232	1,1101	0,01396	2997,25	2997,247	3043,1	2995,61	3020,18	1,28424	8,03642	0,027921	7,521	1,04073	1,039969	0,800037
52	12	0,1157	0,0276	1,131	0,0128	3043,12	3043,122	3081,7	3041,47	3062,4	1,28386	8,045713	0,025609	7,50625	1,04216	1,041445	0,827958
53	13	0,118	0,0323	1,1535	0,0116	3081,67	3081,675	3113	3080,02	3097,32	1,28356	8,053162	0,023201	7,46232	1,04346	1,042808	0,853567
54	14	0,1205	0,0374	1,1779	0,01038	3112,97	3112,969	3137,2	3111,31	3125,09	1,28333	8,058917	0,020751	7,39118	1,04464	1,044051	0,876769
55	15	0,1232	0,0429	1,204	0,00916	3137,2	3137,202	3154,7	3135,55	3145,94	1,28316	8,063132	0,018313	7,2952	1,0457	1,04517	0,89752
56	16	0,126	0,0488	1,2318	0,00797	3154,68	3154,684	3165,8	3153,04	3160,26	1,28305	8,065954	0,015938	7,17706	1,04663	1,046164	0,915833
57	17	0,129	0,055	1,2613	0,00684	3165,83	3165,831	3171,1	3164,19	3168,48	1,28298	8,067528	0,013672	7,03968	1,04744	1,047036	0,931771
58	18	0,1322	0,0616	1,2925	0,00578	3171,14	3171,137	3171,2	3169,51	3171,15	1,28297	8,067996	0,011553	6,88606	1,04814	1,04779	0,945443
59	19	0,1356	0,0685	1,3255	0,0048	3171,16	3171,161	3166,5	3169,54	3168,83	1,28299	8,06749	0,00961	6,7192	1,04873	1,048432	0,956995
60	20	0,1391	0,0758	1,3601	0,00393	3166,5	3166,495	3157,7	3164,89	3162,12	1,28304	8,066136	0,007865	6,54203	1,04922	1,048971	0,966605
61	21	0,1428	0,0834	1,3963	0,00316	3157,75	3157,749	3145,5	3156,16	3151,64	1,28312	8,064054	0,006329	6,35729	1,04962	1,049416	0,97447
62	22	0,1467	0,0914	1,4342	0,0025	3145,53	3145,526	3130,4	3143,95	3137,96	1,28323	8,06135	0,005004	6,16751	1,04994	1,049777	0,980799
63	23	0,1508	0,0997	1,4737	0,00194	3130,4	3130,404	3112,9	3128,85	3121,66	1,28336	8,058125	0,003884	5,97495	1,05019	1,050066	0,985803
64	24	0,155	0,1084	1,5148	0,00148	3112,92	3112,923	3093,6	3111,38	3103,25	1,28351	8,054465	0,002959	5,78157	1,05039	1,050292	0,989687
65	25	0,1593	0,1174	1,5575	0,00111	3093,57	3093,572	3072,8	3092,05	3083,18	1,28367	8,05045	0,00221	5,58906	1,05054	1,050466	0,992646
66	26	0,1639	0,1267	1,6018	0,00081	3072,78	3072,784	3050,9	3071,28	3061,86	1,28384	8,046146	0,001617	5,39879	1,05065	1,050598	0,994856

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
Q	f	a	e	m	Py	Ty	Va	z	E2	g	l	m					
28	65	1	10,5	1,0524	0,9774	648,92	1,117	0,94	47,2320	0,0296	0,2933884	3,8					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2исти	T1-2	k1-2	K1-2	Dx1-2	P	m	m1-2	X
0	-28	0,18203	0,14954	1,71031	6,86E-09	648,93	648,93	655,97	648,93	652,45			1,37E-08	0,977444	1	1	0
1	-27	0,17689	0,13936	1,66198	1,84E-07	655,97	655,97	663,05	655,97	659,51	1,377	6,31	3,68E-07	1,016792	1	1	1,37E-08

2	-26	0,17191	0,12951	1,61519	1,15E-06	663,05	663,05	670,15	663,05	666,60	1,375	6,33	2,29E-06	1,057533	1	1	3,82E-07
3	-25	0,16709	0,11999	1,56997	3,99E-06	670,15	670,15	677,30	670,16	673,73	1,374	6,35	7,97E-06	1,099656	1	1	2,68E-06
4	-24	0,16245	0,11081	1,52635	1,02E-05	677,30	677,30	684,51	677,31	680,90	1,373	6,36	2,04E-05	1,143154	1,000001	1	1,06E-05
5	-23	0,15798	0,10197	1,48433	2,17E-05	684,51	684,51	691,81	684,52	688,16	1,372	6,38	4,35E-05	1,188028	1,000002	1,000001	3,11E-05
6	-22	0,15368	0,09346	1,44396	4,08E-05	691,81	691,81	699,26	691,83	695,53	1,370	6,40	8,17E-05	1,234292	1,000004	1,000003	7,46E-05
7	-21	0,14956	0,08531	1,40523	7,02E-05	699,26	699,26	706,92	699,29	703,09	1,369	6,42	0,00014	1,281981	1,000008	1,000006	0,000156
8	-20	0,14562	0,07751	1,36818	0,000113	706,92	706,92	714,89	706,96	710,90	1,368	6,43	0,000225	1,331157	1,000015	1,000012	0,000297
9	-19	0,14185	0,07007	1,33281	0,000172	714,89	714,89	723,27	714,94	719,08	1,367	6,45	0,000343	1,381914	1,000027	1,000021	0,000522
10	-18	0,13827	0,06298	1,29916	0,000251	723,27	723,27	732,21	723,34	727,74	1,366	6,47	0,000502	1,434387	1,000044	1,000035	0,000865
11	-17	0,13487	0,05626	1,26723	0,000354	732,21	732,21	741,85	732,29	737,03	1,364	6,49	0,000708	1,488757	1,00007	1,000057	0,001367
12	-16	0,13166	0,0499	1,23703	0,000485	741,85	741,85	752,38	741,95	747,11	1,363	6,51	0,00097	1,545261	1,000106	1,000088	0,002075
13	-15	0,12863	0,04392	1,2086	0,000649	752,38	752,38	764,02	752,51	758,20	1,362	6,53	0,001298	1,604192	1,000155	1,00013	0,003045
14	-14	0,12579	0,0383	1,18193	0,00085	764,02	764,02	776,99	764,17	770,50	1,360	6,55	0,0017	1,665907	1,000221	1,000188	0,004343
15	-13	0,12315	0,03306	1,15704	0,001093	776,99	776,99	791,55	777,17	784,27	1,359	6,58	0,002186	1,730828	1,000308	1,000264	0,006044
16	-12	0,12069	0,0282	1,13395	0,001382	791,55	791,55	807,99	791,77	799,77	1,357	6,61	0,002764	1,799437	1,000419	1,000363	0,008229
17	-11	0,11842	0,02372	1,11266	0,001723	807,99	807,99	826,60	808,25	817,29	1,355	6,64	0,003445	1,872275	1,00056	1,000489	0,010993
18	-10	0,11635	0,01962	1,09319	0,002119	826,60	826,60	847,69	826,92	837,14	1,353	6,67	0,004238	1,949929	1,000735	1,000648	0,014438
19	-9	0,11447	0,0159	1,07554	0,002576	847,69	847,69	871,59	848,07	859,64	1,351	6,71	0,005151	2,033021	1,000951	1,000843	0,018677
20	-8	0,11279	0,01257	1,05973	0,003096	871,59	871,59	898,63	872,04	885,11	1,348	6,75	0,006193	2,122186	1,001213	1,001082	0,023828
21	-7	0,1113	0,00963	1,04576	0,003684	898,63	898,63	929,12	899,16	913,87	1,346	6,79	0,007369	2,218048	1,001529	1,001371	0,030021
22	-6	0,11001	0,00708	1,03364	0,004342	929,12	929,12	963,39	929,74	946,25	1,343	6,84	0,008685	2,321195	1,001904	1,001716	0,037389
23	-5	0,10892	0,00492	1,02337	0,005072	963,39	963,39	1001,72	964,11	982,55	1,340	6,89	0,010144	2,432141	1,002346	1,002125	0,046074
24	-4	0,10802	0,00315	1,01496	0,005873	1001,72	1001,72	1044,38	1002,56	1023,05	1,337	6,94	0,011747	2,551299	1,002863	1,002605	0,056218
25	-3	0,10733	0,00177	1,00842	0,006745	1044,38	1044,38	1091,61	1045,35	1068,00	1,334	6,99	0,013491	2,67894	1,003461	1,003162	0,067965
26	-2	0,10683	0,00079	1,00374	0,007685	1091,61	1091,61	1143,58	1092,71	1117,60	1,330	7,05	0,015369	2,815162	1,004148	1,003805	0,081456
27	-1	0,10653	0,0002	1,00094	0,008687	1143,58	1143,58	1200,42	1144,82	1172,00	1,327	7,11	0,017374	2,959857	1,004931	1,004539	0,096825
28	0	0,10643	0	1	0,009744	1200,42	1200,42	1262,18	1201,81	1231,30	1,324	7,17	0,019488	3,112681	1,005816	1,005373	0,114199
29	1	0,10653	0,0002	1,00094	0,010847	1262,18	1262,18	1328,84	1263,72	1295,51	1,321	7,23	0,021694	3,273033	1,006808	1,006312	0,133687
30	2	0,10683	0,00079	1,00374	0,011983	1328,84	1328,84	1400,29	1330,54	1364,56	1,318	7,30	0,023965	3,440039	1,007913	1,00736	0,155381
31	3	0,10733	0,00177	1,00842	0,013136	1400,29	1400,29	1476,32	1402,16	1438,30	1,315	7,36	0,026272	3,612544	1,009133	1,008523	0,179346
32	4	0,10802	0,00315	1,01496	0,014289	1476,32	1476,32	1556,63	1478,36	1516,47	1,312	7,42	0,028579	3,78911	1,010471	1,009802	0,205618
33	5	0,10892	0,00492	1,02337	0,015422	1556,63	1556,63	1640,80	1558,83	1598,71	1,309	7,47	0,030844	3,968032	1,011926	1,011199	0,234197
34	6	0,11001	0,00708	1,03364	0,016511	1640,80	1640,80	1728,30	1643,17	1684,55	1,306	7,53	0,033022	4,147358	1,013497	1,012712	0,265041

35	7	0,1113	0,00963	1,04576	0,017531	1728,30	1728,30	1818,50	1730,83	1773,40	1,304	7,58	0,035063	4,324921	1,015179	1,014338	0,298063
36	8	0,11279	0,01257	1,05973	0,018458	1818,50	1818,50	1910,64	1821,19	1864,57	1,301	7,63	0,036915	4,498384	1,016964	1,016072	0,333126
37	9	0,11447	0,0159	1,07554	0,019263	1910,64	1910,64	2003,91	1913,50	1957,27	1,299	7,68	0,038525	4,665295	1,018844	1,017904	0,370041
38	10	0,11635	0,01962	1,09319	0,019921	2003,91	2003,91	2097,36	2006,91	2050,63	1,297	7,73	0,039842	4,823148	1,020806	1,019825	0,408566
39	11	0,11842	0,02372	1,11266	0,020408	2097,36	2097,36	2190,03	2100,51	2143,69	1,296	7,77	0,040816	4,969458	1,022835	1,021821	0,448408
40	12	0,12069	0,0282	1,13395	0,020703	2190,03	2190,03	2280,87	2193,31	2235,45	1,294	7,80	0,041405	5,101831	1,024914	1,023874	0,489224
41	13	0,12315	0,03306	1,15704	0,020788	2280,87	2280,87	2368,87	2284,29	2324,87	1,292	7,84	0,041575	5,218049	1,027022	1,025968	0,53063
42	14	0,12579	0,0383	1,18193	0,020651	2368,87	2368,87	2452,99	2372,40	2410,93	1,291	7,87	0,041302	5,316142	1,029139	1,028081	0,572205
43	15	0,12863	0,04392	1,2086	0,020287	2452,99	2452,99	2532,27	2456,63	2492,63	1,290	7,90	0,040574	5,394464	1,031243	1,030191	0,613507
44	16	0,13166	0,0499	1,23703	0,019698	2532,27	2532,27	2605,82	2536,01	2569,04	1,289	7,92	0,039396	5,451754	1,033309	1,032276	0,654081
45	17	0,13487	0,05626	1,26723	0,018894	2605,82	2605,82	2672,87	2609,64	2639,34	1,288	7,94	0,037788	5,487187	1,035315	1,034312	0,693478
46	18	0,13827	0,06298	1,29916	0,017892	2672,87	2672,87	2732,79	2676,76	2702,83	1,287	7,96	0,035784	5,500411	1,03724	1,036277	0,731266
47	19	0,14185	0,07007	1,33281	0,016717	2732,79	2732,79	2785,13	2736,74	2758,96	1,287	7,98	0,033434	5,491563	1,039062	1,038151	0,767049
48	20	0,14562	0,07751	1,36818	0,015401	2785,13	2785,13	2829,59	2789,12	2807,36	1,286	7,99	0,030802	5,461261	1,040764	1,039913	0,800483
49	21	0,14956	0,08531	1,40523	0,013982	2829,59	2829,59	2866,10	2833,61	2847,84	1,286	8,00	0,027963	5,41058	1,042333	1,041549	0,831285
50	22	0,15368	0,09346	1,44396	0,012498	2866,10	2866,10	2894,75	2870,13	2880,42	1,285	8,01	0,024997	5,341005	1,043757	1,043045	0,859248
51	23	0,15798	0,10197	1,48433	0,010993	2894,75	2894,75	2915,81	2898,79	2905,28	1,285	8,01	0,021986	5,254368	1,04503	1,044393	0,884245
52	24	0,16245	0,11081	1,52635	0,009507	2915,81	2915,81	2929,73	2919,85	2922,77	1,285	8,02	0,019014	5,152764	1,04615	1,04559	0,906231
53	25	0,16709	0,11999	1,56997	0,008077	2929,73	2929,73	2937,08	2933,76	2933,41	1,285	8,02	0,016154	5,03847	1,047118	1,046634	0,925245
54	26	0,17191	0,12951	1,61519	0,006736	2937,08	2937,08	2938,52	2941,08	2937,80	1,285	8,02	0,013471	4,913842	1,04794	1,047529	0,941398
55	27	0,17689	0,13936	1,66198	0,005509	2938,52	2938,52	2934,78	2942,49	2936,65	1,285	8,02	0,011018	4,781234	1,048627	1,048284	0,95487
56	28	0,18203	0,14954	1,71031	0,004415	2934,78	2934,78	2926,62	2938,71	2930,70	1,285	8,02	0,00883	4,64291	1,049188	1,048907	0,965887
57	29	0,18734	0,16004	1,76017	0,003464	2926,62	2926,62	2914,80	2930,51	2920,71	1,285	8,02	0,006927	4,500976	1,049637	1,049412	0,974717
58	30	0,1928	0,17085	1,81153	0,002658	2914,80	2914,80	2900,03	2918,64	2907,41	1,285	8,01	0,005315	4,357325	1,04999	1,049814	0,981644
59	31	0,19843	0,18197	1,86436	0,001992	2900,03	2900,03	2882,97	2903,82	2891,50	1,285	8,01	0,003984	4,213599	1,050261	1,050125	0,986959
60	32	0,2042	0,1934	1,91864	0,001458	2882,97	2882,97	2864,20	2886,71	2873,58	1,285	8,01	0,002915	4,071178	1,050464	1,050362	0,990944
61	33	0,21013	0,20512	1,97434	0,00104	2864,195	2864,195	2844,212	2867,88	2854,204	1,286	8,00	0,002079	3,931172	1,050612	1,050538	0,993859
62	34	0,21621	0,21715	2,03144	0,000722	2844,21	2844,21	2823,43	2847,85	2833,82	1,286	8,00	0,001445	3,794438	1,050718	1,050665	0,995938
63	35	0,22243	0,22946	2,08991	0,000488	2823,43	2823,43	2802,16	2827,01	2812,79	1,286	7,99	0,000976	3,661603	1,050791	1,050755	0,997383
64	36	0,2288	0,24205	2,14972	0,000321	2802,16	2802,16	2780,68	2805,69	2791,42	1,286	7,99	0,000641	3,533094	1,050841	1,050816	0,998359
65	37	0,2353	0,25492	2,21085	0,000204	2780,68	2780,68	2759,16	2784,15	2769,92	1,286	7,98	0,000408	3,409174	1,050874	1,050858	0,999
66	26	0,1639	0,1267	1,6018	0,00081	3072,78	3072,784	3050,9	3071,28	3061,86	1,28384	8,04	0,001617	5,39879	1,05065	1,050598	0,994856
67	27	0,1686	0,1363	1,6476	0,00058	3050,93	3050,931	3028,3	3049,45	3039,63	1,28403	8,0461	0,001159	5,21187	1,05074	1,050695	0,996473

68	28	0,1734	0,1463	1,6949	0,00041	3028,33	3028,327	3005,2	3026,87	3016,78	1,28422	8,036	0,000812	5,02916	1,0508	1,050766	0,997632
69	29	0,1784	0,1566	1,7438	0,00028	3005,23	3005,228	2981,8	3003,79	2993,53	1,28441	8,03	0,000556	4,85131	1,05084	1,050816	0,998444
70	30	0,1835	0,1672	1,7941	0,00019	2981,84	2981,842	#3НАЧ!	2980,42	#3НАЧ!	1,28461	8,027	0,000372	4,67878	1,05086	1,050851	0,999

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	16440,1	4346,882	20787
10	0,175	0,748	5,542	16190,4	4084,733	20275,1
20	0,349	2,955	10,81	15448,7	3329,904	18778,6
30	0,524	6,514	15,56	14237,6	2173,441	16411
40	0,698	11,25	19,57	12593,9	754,8281	13348,7
50	0,873	16,96	22,69	10567,5	-754,828	9812,68
60	1,047	23,37	24,83	8220,06	-2173,44	6046,62
70	1,222	30,21	25,95	5622,86	-3329,9	2292,95
80	1,396	37,23	26,08	2854,8	-4084,73	-1229,9
90	1,571	44,16	25,32	1E-12	-4346,88	-4346,9
100	1,745	50,77	23,79	-2854,8	-4084,73	-6939,5
110	1,92	56,89	21,64	-5622,86	-3329,9	-8952,8
120	2,094	62,37	19,03	-8220,06	-2173,44	-10394
130	2,269	67,09	16,1	-10567,5	-754,828	-11322
140	2,443	71,01	12,98	-12593,9	754,8281	-11839
150	2,618	74,06	9,762	-14237,6	2173,441	-12064
160	2,793	76,25	6,509	-15448,7	3329,904	-12119
170	2,967	77,56	3,252	-16190,4	4084,733	-12106
180	3,142	78	2E-15	-16440,1	4346,882	-12093
190	3,316	77,56	-3,25	-16190,4	4084,733	-12106
200	3,491	76,25	-6,51	-15448,7	3329,904	-12119
210	3,665	74,06	-9,76	-14237,6	2173,441	-12064
220	3,84	71,01	-13	-12593,9	754,8281	-11839
230	4,014	67,09	-16,1	-10567,5	-754,828	-11322
240	4,189	62,37	-19	-8220,06	-2173,44	-10394
250	4,363	56,89	-21,6	-5622,86	-3329,9	-8952,8
260	4,538	50,77	-23,8	-2854,8	-4084,73	-6939,5
270	4,712	44,16	-25,3	-3E-12	-4346,88	-4346,9
280	4,887	37,23	-26,1	2854,8	-4084,73	-1229,9
290	5,061	30,21	-25,9	5622,86	-3329,9	2292,95
300	5,236	23,37	-24,8	8220,06	-2173,44	6046,62
310	5,411	16,96	-22,7	10567,5	-754,828	9812,68
320	5,585	11,25	-19,6	12593,9	754,8281	13348,7
330	5,76	6,514	-15,6	14237,6	2173,441	16411
340	5,934	2,955	-10,8	15448,7	3329,904	18778,6
350	6,109	0,748	-5,54	16190,4	4084,733	20275,1
360	6,283	3E-31	-0	16440,1	4346,882	20787
370	6,458	0,748	5,542	16190,4	4084,733	20275,1
380	6,632	2,955	10,81	15448,7	3329,904	18778,6
390	6,807	6,514	15,56	14237,6	2173,441	16411
400	6,981	11,25	19,57	12593,9	754,8281	13348,7
410	7,156	16,96	22,69	10567,5	-754,828	9812,68
420	7,33	23,37	24,83	8220,06	-2173,44	6046,62
430	7,505	30,21	25,95	5622,86	-3329,9	2292,95
440	7,679	37,23	26,08	2854,8	-4084,73	-1229,9
450	7,854	44,16	25,32	5E-12	-4346,88	-4346,9
460	8,029	50,77	23,79	-2854,8	-4084,73	-6939,5
470	8,203	56,89	21,64	-5622,86	-3329,9	-8952,8
480	8,378	62,37	19,03	-8220,06	-2173,44	-10394

490	8,552	67,09	16,1	-10567,5	-754,828	-11322
500	8,727	71,01	12,98	-12593,9	754,8281	-11839
510	8,901	74,06	9,762	-14237,6	2173,441	-12064
520	9,076	76,25	6,509	-15448,7	3329,904	-12119
530	9,25	77,56	3,252	-16190,4	4084,733	-12106
540	9,425	78	7E-15	-16440,1	4346,882	-12093
550	9,599	77,56	-3,25	-16190,4	4084,733	-12106
560	9,774	76,25	-6,51	-15448,7	3329,904	-12119
570	9,948	74,06	-9,76	-14237,6	2173,441	-12064
580	10,12	71,01	-13	-12593,9	754,8281	-11839
590	10,3	67,09	-16,1	-10567,5	-754,828	-11322
600	10,47	62,37	-19	-8220,06	-2173,44	-10394
610	10,65	56,89	-21,6	-5622,86	-3329,9	-8952,8
620	10,82	50,77	-23,8	-2854,8	-4084,73	-6939,5
630	11	44,16	-25,3	-7E-12	-4346,88	-4346,9
640	11,17	37,23	-26,1	2854,8	-4084,73	-1229,9
650	11,34	30,21	-25,9	5622,86	-3329,9	2292,95
660	11,52	23,37	-24,8	8220,06	-2173,44	6046,62
670	11,69	16,96	-22,7	10567,5	-754,828	9812,68
680	11,87	11,25	-19,6	12593,9	754,8281	13348,7
690	12,04	6,514	-15,6	14237,6	2173,441	16411
700	12,22	2,955	-10,8	15448,7	3329,904	18778,6
710	12,39	0,748	-5,54	16190,4	4084,733	20275,1
720	12,57	1E-30	-0	16440,1	4346,882	20787

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	$M_{\text{кр.ц}}$, Нм
0	0,0119	20787	-2,453	-2,441	0	0	1	-2,441	1	-2,441	0	0	0	0
10	0,0019	20276	-2,393	-2,3906	0,046	-0,11	1,0011	-2,393	0,976826	-2,335	0,218912	-0,52334	-3,25577	-126,975
20	-0,0081	18780	-2,216	-2,2241	0,0908	-0,202	1,0041	-2,233	0,908628	-2,021	0,427345	-0,95047	-5,91301	-230,607
30	-0,0101	16413	-1,937	-1,9468	0,1334	-0,26	1,0088	-1,964	0,799307	-1,556	0,615481	-1,19824	-7,45443	-290,723
40	-0,0131	13351	-1,575	-1,5886	0,1724	-0,274	1,0147	-1,612	0,655115	-1,041	0,774821	-1,23085	-7,65732	-298,635
50	-0,0161	9816	-1,158	-1,1744	0,2068	-0,243	1,0209	-1,199	0,484237	-0,569	0,898798	-1,05554	-6,56669	-256,101
60	-0,0191	6051	-0,714	-0,7331	0,2351	-0,172	1,0269	-0,753	0,296175	-0,217	0,983285	-0,72083	-4,48437	-174,89
70	-0,0221	2298	-0,271	-0,2932	0,2564	-0,075	1,0318	-0,303	0,100933	-0,03	1,026901	-0,30112	-1,87328	-73,058
80	-0,0241	-1225	0,1445	0,1204	0,2695	0,0324	1,0351	0,1246	-0,091891	-0,011	1,031004	0,124126	0,772203	30,11592
90	-0,0241	-4341	0,5122	0,4881	0,274	0,1337	1,0362	0,5058	-0,273984	-0,134	0,999344	0,487792	3,034624	118,3504
100	-0,0194	-6933	0,8181	0,7986	0,2695	0,2153	1,0351	0,8267	-0,438974	-0,351	0,937398	0,748642	4,657407	181,6389
110	-0,0194	-8945	1,0555	1,0361	0,2564	0,2656	1,0318	1,0691	-0,58276	-0,604	0,851531	0,882287	5,488832	214,0644
120	-0,0194	-10385	1,2255	1,206	0,2351	0,2836	1,0269	1,2385	-0,703463	-0,848	0,748138	0,902289	5,613267	218,9174
130	-0,0194	-11314	1,335	1,3156	0,2068	0,272	1,0209	1,3431	-0,801056	-1,054	0,632955	0,832696	5,180319	202,0324
140	-0,0184	-11830	1,3959	1,3775	0,1724	0,2375	1,0147	1,3976	-0,87681	-1,208	0,510616	0,703353	4,375656	170,6506
150	-0,0174	-12054	1,4224	1,4049	0,1334	0,1874	1,0088	1,4173	-0,932676	-1,31	0,38448	0,540171	3,36048	131,0587
160	-0,0164	-12108	1,4287	1,4123	0,0908	0,1282	1,0041	1,4181	-0,970741	-1,371	0,25669	0,362525	2,255317	87,95735
170	-0,0144	-12094	1,4271	1,4127	0,046	0,0649	1,0011	1,4142	-0,992788	-1,402	0,128384	0,181365	1,1283	44,00369
180	-0,0124	-12081	1,4256	1,4131	3E-17	5E-17	1	1,4131	-1	-1,413	1,23E-16	1,73E-16	1,08E-15	4,2E-14
190	-0,0104	-12093	1,4269	1,4165	-0,046	-0,065	1,0011	1,418	-0,992788	-1,406	-0,128384	-0,18186	-1,13137	-44,1233
200	-0,0084	-12105	1,4284	1,42	-0,091	-0,129	1,0041	1,4258	-0,970741	-1,378	-0,25669	-0,3645	-2,26758	-88,4356
210	-0,0064	-12050	1,4219	1,4155	-0,133	-0,189	1,0088	1,4279	-0,932676	-1,32	-0,38448	-0,54422	-3,38564	-132,04
220	-0,0044	-11824	1,3952	1,3908	-0,172	-0,24	1,0147	1,4112	-0,87681	-1,219	-0,510616	-0,71017	-4,4181	-172,306
230	-0,0030	-11307	1,3342	1,3312	-0,207	-0,275	1,0209	1,3591	-0,801056	-1,066	-0,632955	-0,84258	-5,24181	-204,431
240	0,0060	-10377	1,2245	1,2305	-0,235	-0,289	1,0269	1,2636	-0,703463	-0,866	-0,748138	-0,92058	-5,72709	-223,356
250	0,0184	-8936	1,0544	1,0728	-0,256	-0,275	1,0318	1,107	-0,58276	-0,625	-0,851531	-0,91352	-5,68316	-221,643

260	0,0355	-6922	0,8168	0,8523	-0,27	-0,23	1,0351	0,8822	-0,438974	-0,374	-0,937398	-0,79895	-4,97037	-193,844
270	0,0595	-4329	0,5108	0,5703	-0,274	-0,156	1,0362	0,591	-0,273984	-0,156	-0,999344	-0,56995	-3,54572	-138,283
280	0,0939	-1211	0,1429	0,2368	-0,27	-0,064	1,0351	0,2451	-0,091891	-0,022	-1,031004	-0,24413	-1,51874	-59,2311
290	0,1442	2313	-0,273	-0,1287	-0,256	0,033	1,0318	-0,133	0,100933	-0,013	-1,026901	0,132156	0,822164	32,06439
300	0,2200	6067	-0,716	-0,4959	-0,235	0,1166	1,0269	-0,509	0,296175	-0,147	-0,983285	0,487652	3,033751	118,3163
310	0,3374	9834	-1,16	-0,823	-0,207	0,1702	1,0209	-0,84	0,484237	-0,399	-0,898798	0,739717	4,601882	179,4734
320	0,5231	13370	-1,578	-1,0546	-0,172	0,1819	1,0147	-1,07	0,655115	-0,691	-0,774821	0,817106	5,08333	198,2499
330	0,8405	16433	-1,939	-1,0986	-0,133	0,1465	1,0088	-1,108	0,799307	-0,878	-0,615481	0,676171	4,206553	164,0556
331	0,8849	16705	-1,971	-1,0863	-0,129	0,1404	1,0083	-1,095	0,811929	-0,882	-0,597837	0,649416	4,040105	157,5641
332	0,9328	16969	-2,002	-1,0695	-0,125	0,1338	1,0078	-1,078	0,824192	-0,882	-0,57991	0,62024	3,858597	150,4853
333	0,9847	17226	-2,033	-1,0479	-0,121	0,1267	1,0073	-1,056	0,836091	-0,876	-0,561709	0,588639	3,662004	142,8182
334	1,0411	17475	-2,062	-1,021	-0,117	0,1191	1,0068	-1,028	0,847619	-0,865	-0,543243	0,554625	3,450399	134,5656
335	1,1026	17717	-2,091	-0,988	-0,112	0,1111	1,0063	-0,994	0,858769	-0,848	-0,52452	0,51823	3,223983	125,7353
336	1,1696	17950	-2,118	-0,9485	-0,108	0,1026	1,0058	-0,954	0,869534	-0,825	-0,505547	0,479515	2,983127	116,342
337	1,2429	18176	-2,145	-0,9018	-0,104	0,0937	1,0054	-0,907	0,879908	-0,793	-0,486335	0,438571	2,728414	106,4081
338	1,3232	18393	-2,17	-0,8472	-0,1	0,0843	1,0049	-0,851	0,889885	-0,754	-0,466891	0,395536	2,460685	95,96672
339	1,4110	18602	-2,195	-0,7839	-0,095	0,0746	1,0045	-0,787	0,899461	-0,705	-0,447225	0,350593	2,181091	85,06253
340	1,5073	18802	-2,219	-0,7113	-0,091	0,0646	1,0041	-0,714	0,908628	-0,646	-0,427345	0,303986	1,891141	73,75449
341	1,6125	18993	-2,241	-0,6286	-0,086	0,0543	1,0037	-0,631	0,917382	-0,577	-0,407261	0,256023	1,592756	62,11749
342	1,7276	19175	-2,263	-0,5351	-0,082	0,0439	1,0033	-0,537	0,925718	-0,495	-0,386983	0,207086	1,288314	50,24423
343	1,8531	19349	-2,283	-0,4301	-0,078	0,0333	1,003	-0,431	0,933631	-0,402	-0,366519	0,157638	0,980688	38,24683
344	1,9896	19513	-2,303	-0,3129	-0,073	0,0229	1,0027	-0,314	0,941116	-0,294	-0,34588	0,108225	0,673283	26,25805
345	2,1378	19668	-2,321	-0,183	-0,069	0,0126	1,0023	-0,183	0,94817	-0,173	-0,325075	0,059483	0,37005	14,43196
346	2,2981	19813	-2,338	-0,0399	-0,064	0,0026	1,0021	-0,04	0,954787	-0,038	-0,304114	0,012134	0,075488	2,944044
347	2,4707	19949	-2,354	0,1166	-0,06	-0,007	1,0018	0,1169	0,960965	0,112	-0,283008	-0,03301	-0,20537	-8,00962
348	2,6557	20076	-2,369	0,2868	-0,055	-0,016	1,0015	0,2872	0,9667	0,277	-0,261765	-0,07507	-0,46703	-18,2141
349	2,8531	20192	-2,383	0,4704	-0,051	-0,024	1,0013	0,471	0,971988	0,457	-0,240396	-0,11309	-0,70355	-27,4383
350	3,0625	20299	-2,395	0,6672	-0,046	-0,031	1,0011	0,6679	0,976826	0,652	-0,218912	-0,14607	-0,9087	-35,4394
351	3,2833	20396	-2,407	0,8766	-0,041	-0,036	1,0009	0,8774	0,981212	0,86	-0,197322	-0,17297	-1,07609	-41,9677
352	3,5145	20482	-2,417	1,0976	-0,037	-0,04	1,0007	1,0983	0,985143	1,081	-0,175638	-0,19278	-1,19932	-46,7735
353	3,7550	20559	-2,426	1,329	-0,032	-0,043	1,0005	1,3297	0,988617	1,314	-0,153869	-0,20449	-1,27217	-49,6147
354	4,0031	20626	-2,434	1,5692	-0,028	-0,043	1,0004	1,5698	0,991632	1,556	-0,132026	-0,20718	-1,28887	-50,2659

355	4,2568	20682	-2,441	1,8163	-0,023	-0,042	1,0003	1,8168	0,994186	1,806	-0,110119	-0,20001	-1,24429	-48,5273
356	4,5141	20729	-2,446	2,0681	-0,018	-0,038	1,0002	2,0684	0,996277	2,06	-0,088159	-0,18232	-1,13423	-44,2349
357	4,7722	20765	-2,45	2,3219	-0,014	-0,032	1,0001	2,3222	0,997905	2,317	-0,066156	-0,15361	-0,95563	-37,2696
358	5,0284	20791	-2,453	2,5751	-0,009	-0,024	1	2,5752	0,999069	2,573	-0,044122	-0,11362	-0,70683	-27,5665
359	5,2797	20806	-2,455	2,8246	-0,005	-0,013	1	2,8246	0,999767	2,824	-0,022066	-0,06233	-0,38775	-15,1222
360	5,5229	20811	-2,456	3,0672	-6E-17	-2E-16	1	3,0672	1	3,067	-2,45E-16	-7,5E-16	-4,7E-15	-1,8E-13
361	5,7549	20806	-2,455	3,2998	0,0046	0,0152	1	3,2998	0,999767	3,299	0,022066	0,072814	0,452985	17,6664
362	5,9725	20791	-2,453	3,5192	0,0092	0,0325	1	3,5193	0,999069	3,516	0,044122	0,155273	0,965976	37,67306
363	6,1727	20765	-2,45	3,7224	0,0138	0,0515	1,0001	3,7227	0,997905	3,715	0,066156	0,246259	1,532012	59,74848
364	6,3526	20729	-2,446	3,9066	0,0184	0,0721	1,0002	3,9072	0,996277	3,892	0,088159	0,344399	2,142557	83,55971
365	6,5099	20683	-2,441	4,0693	0,0231	0,0938	1,0003	4,0704	0,994186	4,046	0,110119	0,448106	2,787728	108,7214
366	6,6424	20627	-2,434	4,2084	0,0276	0,1164	1,0004	4,21	0,991632	4,173	0,132026	0,555622	3,456602	134,8075
367	6,7485	20560	-2,426	4,3224	0,0322	0,1394	1,0005	4,3246	0,988617	4,273	0,153869	0,665083	4,137573	161,3653
368	6,8271	20484	-2,417	4,4101	0,0368	0,1624	1,0007	4,4131	0,985143	4,345	0,175638	0,774575	4,818739	187,9308
369	6,8777	20397	-2,407	4,4709	0,0414	0,1851	1,0009	4,4747	0,981212	4,387	0,197322	0,882204	5,488316	214,0443
370	6,9002	20300	-2,395	4,5048	0,046	0,2071	1,0011	4,5096	0,976826	4,4	0,218912	0,98616	6,135038	239,2665
371	6,8953	20194	-2,383	4,5124	0,0505	0,2279	1,0013	4,5182	0,971988	4,386	0,240396	1,084773	6,748523	263,1924
372	6,8639	20077	-2,369	4,4948	0,0551	0,2475	1,0015	4,5016	0,9667	4,345	0,261765	1,176569	7,319603	285,4645
373	6,8075	19951	-2,354	4,4533	0,0596	0,2653	1,0018	4,4612	0,960965	4,279	0,283008	1,260312	7,840574	305,7824
374	6,7281	19815	-2,338	4,3899	0,0641	0,2814	1,0021	4,3989	0,954787	4,191	0,304114	1,335025	8,305379	323,9098
375	6,6278	19670	-2,321	4,3067	0,0686	0,2954	1,0023	4,3169	0,94817	4,084	0,325075	1,400017	8,709701	339,6783
376	6,5091	19515	-2,303	4,2063	0,0731	0,3074	1,0027	4,2175	0,941116	3,959	0,34588	1,454874	9,050975	352,988
377	6,3745	19351	-2,283	4,0911	0,0775	0,3172	1,003	4,1033	0,933631	3,82	0,366519	1,499455	9,328322	363,8046
378	6,2266	19178	-2,263	3,9637	0,082	0,3249	1,0033	3,9769	0,925718	3,669	0,386983	1,533869	9,542416	372,1542
379	6,0681	18996	-2,241	3,8266	0,0864	0,3306	1,0037	3,8409	0,917382	3,51	0,407261	1,558443	9,695291	378,1163
380	5,9014	18804	-2,219	3,6825	0,0908	0,3344	1,0041	3,6976	0,908628	3,346	0,427345	1,573685	9,790117	381,8146
381	5,7288	18604	-2,195	3,5335	0,0952	0,3363	1,0045	3,5494	0,899461	3,178	0,447225	1,580249	9,830953	383,4072
382	5,5524	18396	-2,171	3,3817	0,0995	0,3366	1,0049	3,3984	0,889885	3,009	0,466891	1,57889	9,822494	383,0773
383	5,3742	18179	-2,145	3,2291	0,1039	0,3354	1,0054	3,2464	0,879908	2,841	0,486335	1,570425	9,769833	381,0235
384	5,1958	17953	-2,119	3,0773	0,1082	0,3329	1,0058	3,0952	0,869534	2,676	0,505547	1,555703	9,678244	377,4515
385	5,0185	17720	-2,091	2,9276	0,1124	0,3292	1,0063	2,946	0,858769	2,514	0,52452	1,53557	9,552999	372,567
386	4,7089	17479	-2,062	2,6465	0,1167	0,3088	1,0068	2,6644	0,847619	2,243	0,543243	1,437674	8,943973	348,815

387	4,5521	17230	-2,033	2,519	0,1209	0,3046	1,0073	2,5373	0,836091	2,106	0,561709	1,414961	8,802668	343,304
388	4,3997	16973	-2,003	2,3969	0,1251	0,2998	1,0078	2,4155	0,824192	1,976	0,57991	1,390009	8,647438	337,2501
389	4,2519	16709	-1,972	2,2803	0,1292	0,2947	1,0083	2,2992	0,811929	1,851	0,597837	1,363251	8,480977	330,7581
390	4,1088	16437	-1,94	2,1692	0,1334	0,2893	1,0088	2,1883	0,799307	1,734	0,615481	1,335096	8,305819	323,9269
391	3,9704	16159	-1,907	2,0636	0,1375	0,2837	1,0094	2,0829	0,786336	1,623	0,632837	1,305923	8,124333	316,849
392	3,8367	15874	-1,873	1,9635	0,1415	0,2778	1,0099	1,983	0,773021	1,518	0,649895	1,276087	7,938715	309,6099
393	3,7077	15583	-1,839	1,8689	0,1455	0,272	1,0105	1,8885	0,759371	1,419	0,666648	1,245912	7,750993	302,2887
394	3,5833	15285	-1,804	1,7797	0,1495	0,266	1,0111	1,7994	0,745394	1,327	0,68309	1,215698	7,563025	294,958
395	3,4635	14980	-1,768	1,6958	0,1534	0,2602	1,0116	1,7155	0,731097	1,24	0,699213	1,185715	7,3765	287,6835
396	3,3482	14670	-1,731	1,6171	0,1573	0,2544	1,0122	1,6368	0,71649	1,159	0,715011	1,156211	7,192948	280,525
397	3,2372	14355	-1,694	1,5434	0,1612	0,2487	1,0128	1,5632	0,701579	1,083	0,730477	1,127405	7,013743	273,536
398	3,1306	14034	-1,656	1,4746	0,165	0,2433	1,0134	1,4944	0,686374	1,012	0,745605	1,099494	6,840109	266,7642
399	3,0281	13707	-1,617	1,4107	0,1687	0,238	1,014	1,4305	0,670883	0,946	0,760388	1,072653	6,673126	260,2519
400	2,9297	13376	-1,578	1,3513	0,1724	0,233	1,0147	1,3711	0,655115	0,885	0,774821	1,047034	6,513742	254,0359
410	2,1384	9840	-1,161	0,9772	0,2068	0,2021	1,0209	0,9977	0,484237	0,473	0,898798	0,878333	5,464234	213,1051
420	1,6134	6075	-0,717	0,8965	0,2351	0,2108	1,0269	0,9207	0,296175	0,266	0,983285	0,881548	5,484236	213,8852
430	1,2599	2322	-0,274	0,9859	0,2564	0,2528	1,0318	1,0173	0,100933	0,1	1,026901	1,012399	6,298278	245,6329
440	1,0165	-1200	0,1416	1,1581	0,2695	0,3121	1,0351	1,1987	-0,091891	-0,106	1,031004	1,193985	7,427948	289,69
450	0,8450	-4316	0,5093	1,3544	0,274	0,3711	1,0362	1,4034	-0,273984	-0,371	0,999344	1,353477	8,420169	328,3866
460	0,7219	-6908	0,8152	1,5371	0,2695	0,4143	1,0351	1,591	-0,438974	-0,675	0,937398	1,440875	8,963886	349,5916
470	0,6322	-8921	1,0527	1,6848	0,2564	0,4319	1,0318	1,7385	-0,58276	-0,982	0,851531	1,434682	8,92536	348,089
480	0,5661	-10361	1,2226	1,7887	0,2351	0,4206	1,0269	1,8369	-0,703463	-1,258	0,748138	1,338208	8,325178	324,6819
490	0,5174	-11289	1,3321	1,8496	0,2068	0,3825	1,0209	1,8883	-0,801056	-1,482	0,632955	1,170695	7,283059	284,0393
500	0,4819	-11805	1,393	1,8749	0,1724	0,3233	1,0147	1,9024	-0,87681	-1,644	0,510616	0,957362	5,955886	232,2796
510	0,3819	-12030	1,4195	1,8014	0,1334	0,2403	1,0088	1,8173	-0,932676	-1,68	0,38448	0,692601	4,30877	168,042
520	0,2819	-12084	1,4259	1,7078	0,0908	0,1551	1,0041	1,7148	-0,970741	-1,658	0,25669	0,438366	2,727136	106,3583
530	0,2719	-12070	1,4242	1,6961	0,046	0,078	1,0011	1,6979	-0,992788	-1,684	0,128384	0,217757	1,354698	52,83324
540	0,1719	-12057	1,4227	1,5946	1E-16	2E-16	1	1,5946	-1	-1,595	3,68E-16	5,86E-16	3,65E-15	1,42E-13
550	0,1519	-12068	1,4241	1,576	-0,046	-0,072	1,0011	1,5776	-0,992788	-1,565	-0,128384	-0,20233	-1,25873	-49,0904
560	0,1319	-12081	1,4255	1,5575	-0,091	-0,141	1,0041	1,5638	-0,970741	-1,512	-0,25669	-0,39978	-2,4871	-96,9967
570	0,1119	-12026	1,419	1,5309	-0,133	-0,204	1,0088	1,5444	-0,932676	-1,428	-0,38448	-0,58861	-3,66182	-142,811
580	0,0919	-11800	1,3924	1,4843	-0,172	-0,256	1,0147	1,506	-0,87681	-1,301	-0,510616	-0,7579	-4,715	-183,885

590	0,0719	-11282	1,3313	1,4032	-0,207	-0,29	1,0209	1,4326	-0,801056	-1,124	-0,632955	-0,88818	-5,52552	-215,495
600	0,0519	-10353	1,2217	1,2736	-0,235	-0,299	1,0269	1,3078	-0,703463	-0,896	-0,748138	-0,95279	-5,92746	-231,171
610	0,0319	-8912	1,0516	1,0835	-0,256	-0,278	1,0318	1,118	-0,58276	-0,631	-0,851531	-0,92261	-5,73966	-223,847
620	0,0119	-6898	0,8139	0,8258	-0,27	-0,223	1,0351	0,8548	-0,438974	-0,363	-0,937398	-0,77413	-4,81597	-187,823
630	0,0119	-4304	0,5079	0,5198	-0,274	-0,142	1,0362	0,5386	-0,273984	-0,142	-0,999344	-0,51948	-3,23173	-126,037
640	0,0119	-1187	0,14	0,1519	-0,27	-0,041	1,0351	0,1573	-0,091891	-0,014	-1,031004	-0,15665	-0,97453	-38,0069
650	0,0119	2337	-0,276	-0,2638	-0,256	0,0676	1,0318	-0,272	0,100933	-0,027	-1,026901	0,270938	1,685546	65,73629
660	0,0119	6091	-0,719	-0,7069	-0,235	0,1662	1,0269	-0,726	0,296175	-0,209	-0,983285	0,695038	4,323929	168,6332
670	0,0119	9858	-1,163	-1,1513	-0,207	0,2381	1,0209	-1,175	0,484237	-0,558	-0,898798	1,03481	6,437696	251,0701
680	0,0119	13395	-1,581	-1,5687	-0,172	0,2705	1,0147	-1,592	0,655115	-1,028	-0,774821	1,215427	7,561342	294,8923
690	0,0119	16458	-1,942	-1,9301	-0,133	0,2574	1,0088	-1,947	0,799307	-1,543	-0,615481	1,187932	7,39029	288,2213
700	0,0119	18826	-2,221	-2,2095	-0,091	0,2006	1,0041	-2,219	0,908628	-2,008	-0,427345	0,944234	5,874212	229,0943
710	0,0119	20323	-2,398	-2,3862	-0,046	0,1097	1,0011	-2,389	0,976826	-2,331	-0,218912	0,522369	3,24973	126,7395
720	0,0119	20836	-2,459	-2,4467	-1E-16	3E-16	1	-2,447	1	-2,447	-4,9E-16	1,2E-15	7,46E-15	2,91E-13

Таблица В2 – Суммирование значений крутящих моментов всех четырех цилиндров.

φ°	Цилиндры								$M_{кр.},$ 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	8E-14	540	-2E-13	0
10	10	-63,69	190	-22,09	370	-25,82	550	207	95,39
20	20	-115,9	200	-44,3	380	-50,76	560	336,8	125,8
30	30	-146,2	210	-66,2	390	-74,35	570	308,2	21,41
40	40	-150,4	220	-86,45	400	-95,27	580	258,3	-73,84
50	50	-129,3	230	-102,6	410	-111,1	590	217,8	-125,3
60	60	-88,82	240	-112,6	420	-118,7	600	199	-121,1
70	70	-37,91	250	-112,4	430	-114,5	610	198,2	-66,58
80	80	13,77	260	-99,49	440	-95,51	620	206,2	24,96
90	90	58,13	270	-73,12	450	-64,58	630	213,9	134,3
100	100	90,25	280	-35,59	460	-20,43	640	214,9	249,1
110	110	106,6	290	7,291	470	31,654	650	206,1	351,7

120	120	109,1	300	46,67	480	83,35	660	187,7	426,9
130	130	100,8	310	72,37	490	124,82	670	161,7	459,7
140	140	85,17	320	75,95	500	146,95	680	131	439
150	150	65,44	330	52,39	510	143,81	690	92,96	354,6
160	160	43,94	340	-0,163	520	114,38	700	57,66	215,8
170	170	22	350	-56,4	530	63,299	710	28,59	57,48
180	180	2E-14	360	-2E-13	540	1E-13	720	8E-14	7E-14

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	-7,60271488	-16,7289	16,7289	-31,4147	31,41475
10	-1,633106	-7,28722283	-16,4134	16,4945	-31,0993	31,1421
20	-2,972113	-6,31935783	-15,4456	15,7289	-30,1314	30,27762
30	-3,749546	-4,86942365	-13,9956	14,4892	-28,6815	28,92551
40	-3,857108	-3,26120099	-12,3874	12,9740	-27,0732	27,34661
50	-3,316155	-1,78661365	-10,9128	11,4055	-25,5986	25,81255
60	-2,277329	-0,68595285	-9,81215	10,0730	-24,498	24,60361
70	-0,972177	-0,09555468	-9,22175	9,2729	-23,9076	23,92734
80	0,353152	-0,0314757	-9,15767	9,1645	-23,8435	23,84612
90	1,490527	-0,40864865	-9,53485	9,6506	-24,2207	24,2665
100	2,314053	-1,08364657	-10,2098	10,4688	-24,8957	25,00299
110	2,733688	-1,87084698	-10,997	11,3317	-25,6829	25,82796
120	2,798621	-2,63150229	-11,7577	12,0862	-26,4435	26,59122
130	2,584028	-3,27029882	-12,3965	12,6630	-27,0823	27,20533
140	2,183895	-3,7501	-12,8763	13,0602	-27,5621	27,64852
150	1,677949	-4,07039094	-13,1966	13,3028	-27,8824	27,93287
160	1,126558	-4,26038545	-13,3866	13,4339	-28,0724	28,09501
170	0,564006	-4,36143516	-13,4876	13,4994	-28,1735	28,17911
180	5,39E-16	-4,39774297	-13,5239	13,5239	-28,2098	28,20977
190	-0,566367	-4,37968659	-13,5059	13,5178	-28,1917	28,19741
200	-1,135996	-4,29607797	-13,4223	13,4703	-28,1081	28,13106
210	-1,697387	-4,11754515	-13,2437	13,3521	-27,9296	27,98111
220	-2,216753	-3,8065235	-12,9327	13,1213	-27,6186	27,70737
230	-2,631792	-3,33074896	-12,4569	12,7319	-27,1428	27,27007
240	-2,886041	-2,71370173	-11,8399	12,1866	-26,5257	26,68227
250	-2,881713	-1,97215034	-11,0983	11,4664	-25,7842	25,94472
260	-2,550919	-1,19456816	-10,3208	10,6313	-25,0066	25,13637
270	-1,874973	-0,51404995	-9,64025	9,8209	-24,3261	24,39823
280	-0,912601	-0,08133826	-9,20754	9,2527	-23,8934	23,91079
290	0,186938	-0,01837398	-9,14457	9,1465	-23,8304	23,83114
300	1,196586	-0,36042309	-9,48662	9,5618	-24,1725	24,20205
310	1,855701	-0,99977855	-10,126	10,2946	-24,8118	24,88111
320	1,94734	-1,64648436	-10,7727	10,9473	-25,4585	25,53288
330	1,343224	-1,7444046	-10,8706	10,9533	-25,5564	25,59171
340	-0,004181	0,00888887	-9,11731	9,1173	-23,8031	23,80314
350	-1,446224	6,45332154	-2,67288	3,0391	-17,3587	17,41885
360	-4,34E-15	17,7259576	8,599761	8,5998	-6,08607	6,086073
363	5,307453	23,6828406	14,55664	15,4940	-0,12919	5,309026
370	8,634658	18,3591577	9,232961	12,6414	-5,45287	10,2123
380	7,902269	10,2624411	1,136244	7,9835	-13,5496	15,68557
390	6,623434	5,60014052	-3,52606	7,5035	-18,2119	19,37893
400	5,585779	3,00939811	-6,1168	8,2835	-20,8026	21,53951
410	5,102861	1,53702974	-7,58917	9,1452	-22,275	22,85202
420	5,081376	0,49944507	-8,62675	10,0121	-23,3126	23,85995
430	5,286883	-0,4712089	-9,59741	10,9573	-24,2832	24,8521
440	5,485031	-1,50379766	-10,63	11,9617	-25,3158	25,90322
450	5,509901	-2,58022839	-11,7064	12,9383	-26,3923	26,96128
460	5,285031	-3,61690273	-12,7431	13,7956	-27,4289	27,93346
470	4,812706	-4,52531625	-13,6515	14,4750	-28,3373	28,74313

480	4,146164	-5,24731053	-14,3735	14,9596	-29,0593	29,35364
490	3,358183	-5,76654311	-14,8927	15,2667	-29,5786	29,7686
500	2,383615	-5,7822048	-14,9084	15,0978	-29,5942	29,69007
510	1,478511	-5,5913911	-14,7176	14,7917	-29,4034	29,44057
520	0,732955	-5,66790501	-14,7941	14,8122	-29,4799	29,48905
530	1,93E-15	-5,24491018	-14,3711	14,3711	-29,0569	29,05694
540	-0,662148	-5,12036201	-14,2466	14,2619	-28,9324	28,93997
550	-1,301548	-4,92215633	-14,0484	14,1085	-28,7342	28,76365
560	-1,906487	-4,62478329	-13,751	13,8825	-28,4368	28,50065
570	-2,442837	-4,19474566	-13,3209	13,5431	-28,0068	28,11311
580	-2,849762	-3,60660732	-12,7328	13,0478	-27,4186	27,56634
590	-3,043964	-2,8621945	-11,9884	12,3688	-26,6742	26,84735
600	-2,934665	-2,00838935	-11,1346	11,5148	-25,8204	25,98666
610	-2,449102	-1,14688861	-10,2731	10,5610	-24,9589	25,07879
620	-1,655983	-0,45401071	-9,58021	9,7223	-24,266	24,32248
630	-0,523843	-0,04668903	-9,17289	9,1878	-23,8587	23,86447
640	0,811628	-0,07977441	-9,20597	9,2417	-23,8918	23,90559
650	2,137183	-0,64373975	-9,76994	10,0010	-24,4558	24,54898
660	3,200465	-1,7242845	-10,8505	11,3126	-25,5363	25,73609
670	3,768072	-3,18592023	-12,3121	12,8758	-26,998	27,25964
680	3,687311	-4,78860095	-13,9148	14,3951	-28,6006	28,83734
690	2,932831	-6,23583604	-15,362	15,6395	-30,0479	30,19066
700	1,623045	-7,24232788	-16,3685	16,4488	-31,0544	31,09674
710	3,73E-15	-7,60271488	-16,7289	16,7289	-31,4147	31,41475
720	0	0	-9,1262	9,1262	-23,812	23,81203

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	13383	13383	13383	0	0	0	0	0	0	0	13383	13383
Rш.ш 10	13170	13170	13170	0	0	0	0	0	0	0	13170	13170
Rш.ш 20	12460	12460	12460	0	0	0	0	0	0	0	12460	12460
Rш.ш 30	11291	11291	11291	0	0	0	0	0	0	0	0	11291
Rш.ш 40	9830,3	9830,3	9830,3	0	0	0	0	0	0	0	0	9830,3
Rш.ш 50	8262,1	8262,1	8262,1	0	0	0	0	0	0	0	0	8262,1
Rш.ш 60	6856	6856	6856	0	0	0	0	0	0	0	0	6856
Rш.ш 70	5956,2	5956,2	5956,2	0	0	0	0	0	0	0	5956,2	5956,2
Rш.ш 80	5823	5823	5823	0	0	0	0	0	0	0	5823	5823
Rш.ш 90	6366,4	6366,4	0	0	0	0	0	0	0	0	6366,4	6366,4
Rш.ш 100	7244	7244	0	0	0	0	0	0	0	0	7244	7244
Rш.ш 110	8125,3	8125,3	0	0	0	0	0	0	0	0	8125,3	8125,3
Rш.ш 120	8865,6	8865,6	0	0	0	0	0	0	0	0	8865,6	8865,6
Rш.ш 130	9412,7	9412,7	0	0	0	0	0	0	0	0	9412,7	9412,7
Rш.ш 140	9777,9	9777,9	0	0	0	0	0	0	0	0	9777,9	9777,9
Rш.ш 150	9993	9993	0	0	0	0	0	0	0	0	9993	9993
Rш.ш 160	10104	10104	10104	0	0	0	0	0	0	0	10104	10104
Rш.ш 170	10158	10158	10158	0	0	0	0	0	0	0	10158	10158
Rш.ш 180	10179	10179	10179	0	0	0	0	0	0	0	10179	10179
Rш.ш 190	10176	10176	10176	0	0	0	0	0	0	0	10176	10176
Rш.ш 200	10141	10141	10141	0	0	0	0	0	0	0	10141	10141
Rш.ш 210	10043	10043	10043	0	0	0	0	0	0	0	0	10043
Rш.ш 220	9840,2	9840,2	9840,2	0	0	0	0	0	0	0	0	9840,2
Rш.ш 230	9484	9484	9484	0	0	0	0	0	0	0	0	9484
Rш.ш 240	8971,3	8971,3	8971,3	0	0	0	0	0	0	0	0	8971,3
Rш.ш 250	8271,1	8271,1	8271,1	0	0	0	0	0	0	0	0	8271,1
Rш.ш 260	7427,1	7427,1	7427,1	0	0	0	0	0	0	0	0	7427,1
Rш.ш 270	6568,1	6568,1	6568,1	0	0	0	0	0	0	0	0	6568,1
Rш.ш 280	5932,7	5932,7	5932,7	0	0	0	0	0	0	0	5932,7	5932,7
Rш.ш 290	5802,1	5802,1	5802,1	0	0	0	0	0	0	0	5802,1	5802,1
Rш.ш 300	6256,7	6256,7	0	0	0	0	0	0	0	0	6256,7	6256,7
Rш.ш 310	7029,9	7029,9	0	0	0	0	0	0	0	0	7029,9	7029,9
Rш.ш 320	7678,3	7678,3	0	0	0	0	0	0	0	0	7678,3	7678,3
Rш.ш 330	7644,1	7644,1	0	0	0	0	0	0	0	0	7644,1	7644,1
Rш.ш 340	5771,9	5771,9	5771,9	0	0	0	0	0	0	0	5771,9	5771,9
Rш.ш 350	1595	1595	1595	0	0	0	0	0	0	0	1595	1595
Rш.ш 360	11945	11945	11945	0	0	0	0	0	0	0	11945	11945
Rш.ш 370	18672	18672	18672	0	0	0	0	0	0	0	18672	18672
Rш.ш 380	15257	15257	15257	0	0	15256,9	15257	15257	0	0	15257	15257

Rш.ш 390	0	0	0	0	0	0	0	0	9084,7	9084,7	9084,7	9084,7
Rш.ш 400	6625,9	6625,9	0	0	0	0	0	0	0	0	6625,9	6625,9
Rш.ш 410	6235,5	6235,5	0	0	0	0	0	0	0	0	6235,5	6235,5
Rш.ш 420	6636,9	6636,9	0	0	0	0	0	0	0	0	6636,9	6636,9
Rш.ш 430	7328,9	7328,9	0	0	0	0	0	0	0	0	7328,9	7328,9
Rш.ш 440	8187,7	8187,7	0	0	0	0	0	0	0	0	8187,7	8187,7
Rш.ш 450	9118,7	0	0	0	0	0	0	0	0	9118,7	9118,7	9118,7
Rш.ш 460	10013	10013	0	0	0	0	0	0	0	0	10013	10013
Rш.ш 470	10782	10782	0	0	0	0	0	0	0	0	10782	10782
Rш.ш 480	11374	11374	0	0	0	0	0	0	0	0	11374	11374
Rш.ш 490	11782	11782	0	0	0	0	0	0	0	0	11782	11782
Rш.ш 500	12026	12026	0	0	0	0	0	0	0	0	12026	12026
Rш.ш 510	11806	11806	0	0	0	0	0	0	0	0	11806	11806
Rш.ш 520	11468	11468	11468	0	0	0	0	0	0	0	11468	11468
Rш.ш 530	11472	11472	11472	0	0	0	0	0	0	0	11472	11472
Rш.ш 540	11026	11026	11026	0	0	0	0	0	0	0	11026	11026
Rш.ш 550	10921	10921	10921	0	0	0	0	0	0	0	10921	10921
Rш.ш 560	10782	10782	10782	0	0	0	0	0	0	0	10782	10782
Rш.ш 570	10579	10579	10579	0	0	0	0	0	0	0	0	10579
Rш.ш 580	10270	10270	10270	0	0	0	0	0	0	0	0	10270
Rш.ш 590	9810,4	9810,4	9810,4	0	0	0	0	0	0	0	0	9810,4
Rш.ш 600	9163,3	9163,3	9163,3	0	0	0	0	0	0	0	0	9163,3
Rш.ш 610	8323,6	8323,6	8323,6	0	0	0	0	0	0	0	0	8323,6
Rш.ш 620	7347,8	7347,8	7347,8	0	0	0	0	0	0	0	0	7347,8
Rш.ш 630	6450,9	6450,9	6450,9	0	0	0	0	0	0	0	0	6450,9
Rш.ш 640	5850,9	5850,9	5850,9	0	0	0	0	0	0	0	5850,9	5850,9
Rш.ш 650	5916,5	5916,5	5916,5	0	0	0	0	0	0	0	5916,5	5916,5
Rш.ш 660	6770,7	6770,7	0	0	0	0	0	0	0	0	6770,7	6770,7
Rш.ш 670	8159	8159	0	0	0	0	0	0	0	0	8159	8159
Rш.ш 680	9726,2	9726,2	0	0	0	0	0	0	0	0	9726,2	9726,2
Rш.ш 690	11194	11194	0	0	0	0	0	0	0	0	11194	11194
Rш.ш 700	12369	12369	0	0	0	0	0	0	0	0	12369	12369
Rш.ш 710	13124	13124	0	0	0	0	0	0	0	0	13124	13124
ΣRш.ш i	13383	13383	0	0	0	0	0	0	0	0	13383	13383

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
11414	0	22828,3	0	-22828,3	3E-13	1602,5	1602,5	180	5E-13	-19623,4	1E-12	-20046,9	20046,9	540	1,9E-12	-20470,5
11286	10	22572	-1633,1	-22512,8	533,37	1453,8	1548,5	190	-566,37	-19605,3	-614,26	-19975,6	19985,1	550	-662,15	-20346
10875	20	21749	-2972,1	-21545	918,06	1011,6	1366,1	200	-1136	-19521,7	-1218,8	-19834,7	19872,1	560	-1301,5	-20147,8
10221	30	20441,9	-3749,5	-20095	1026,1	375,94	1092,8	210	-1697,4	-19343,2	-1801,9	-19596,8	19679,4	570	-1906,5	-19850,4
9442,5	40	18884,9	-3857,1	-18486,8	820,18	-272,7	864,31	220	-2216,8	-19032,1	-2329,8	-19226,2	19366,9	580	-2442,8	-19420,4
8666,2	50	17332,4	-3316,2	-17012,2	342,18	-772,1	844,5	230	-2631,8	-18556,4	-2740,8	-18694,3	18894,1	590	-2849,8	-18832,2
8036,9	60	16073,7	-2277,3	-15911,6	-304,36	-1014	1058,6	240	-2886	-17939,3	-2965	-18013,6	18255,9	600	-3044	-18087,8
7676	70	15352	-972,18	-15321,2	-954,77	-938,3	1338,7	250	-2881,7	-17197,8	-2908,2	-17215,9	17459,8	610	-2934,7	-17234
7630,6	80	15261,2	353,152	-15257,1	-1452	-581,5	1564,2	260	-2550,9	-16420,2	-2500	-16396,3	16585,8	620	-2449,1	-16372,5
7852,6	90	15705,2	1490,53	-15634,3	-1682,7	-52,7	1683,6	270	-1875	-15739,7	-1765,5	-15709,6	15808,5	630	-1656	-15679,6
8236,3	100	16472,6	2314,05	-16309,3	-1613,3	501,15	1689,4	280	-912,6	-15307	-718,22	-15289,6	15306,5	640	-523,84	-15272,3
8656,8	110	17313,6	2733,69	-17096,5	-1273,4	926,24	1574,6	290	186,94	-15244	499,28	-15274,7	15282,8	650	811,628	-15305,4
9037,5	120	18075,1	2798,62	-17857,1	-801,02	1135,5	1389,6	300	1196,6	-15586	1666,9	-15727,7	15815,8	660	2137,18	-15869,4
9337,8	130	18675,5	2584,03	-18495,9	-364,16	1135,3	1192,2	310	1855,7	-16225,4	2528,1	-16587,6	16779,2	670	3200,46	-16949,9
9550,5	140	19101	2183,89	-18975,7	-118,28	1051,8	1058,4	320	1947,3	-16872,1	2857,7	-17641,8	17871,8	680	3768,07	-18411,5
9684,4	150	19368,8	1677,95	-19296	-167,36	1163	1175	330	1343,2	-16970	2515,3	-18492,1	18662,4	690	3687,31	-20014,2
9759,3	160	19518,5	1126,56	-19486	-565,37	2134,6	2208,2	340	-4,1806	-15216,7	1464,3	-18339,1	18397,5	700	2932,83	-21461,5
9797,6	170	19595,2	564,006	-19587	-1005,1	5407,4	5500	350	-1446,2	-8772,29	88,41	-15620,1	15620,4	710	1623,05	-22467,9
9811,7	180	19623,4	5,4E-13	-19623,4	-2E-12	11062	11062	360	-4E-12	2500,34	-3E-13	-10164	10164	720	3,7E-12	-22828,3
9806,7	190	19613,5	-566,37	-19605,3	2936,9	14031	14335	370	5307,5	8457,23	2653,7	-7185,55	7659,92	0	0	-22828,3
9777,4	200	19554,7	-1136	-19521,7	4885,3	11328	12336	380	8634,7	3133,54	3500,8	-9689,65	10302,7	10	-1633,1	-22512,8
9708,7	210	19417,5	-1697,4	-19343,2	4799,8	7190	8644,9	390	7902,3	-4963,17	2465,1	-13254,1	13481,4	20	-2972,1	-21545
9580,4	220	19160,8	-2216,8	-19032,1	4420,1	4703,3	6454,3	400	6623,4	-9625,47	1436,9	-14860,3	14929,6	30	-3749,5	-20095
9371	230	18742,1	-2631,8	-18556,4	4108,8	3170,1	5189,6	410	5585,8	-12216,2	864,34	-15351,5	15375,8	40	-3857,1	-18486,8
9085	240	18170	-2886	-17939,3	3994,5	2125,4	4524,7	420	5102,9	-13688,6	893,35	-15350,4	15376,4	50	-3316,2	-17012,2
8718,8	250	17437,5	-2881,7	-17197,8	3981,5	1235,8	4168,9	430	5081,4	-14726,2	1402	-15318,9	15382,9	60	-2277,3	-15911,6
8308,6	260	16617,1	-2550,9	-16420,2	3918,9	361,68	3935,6	440	5286,9	-15696,8	2157,4	-15509	15658,3	70	-972,18	-15321,2
7925,5	270	15850,9	-1875	-15739,7	3680	-494,9	3713,1	450	5485	-16729,4	2919,1	-15993,3	16257,5	80	353,152	-15257,1

7667,1	280	15334,1	-912,6	-15307	3211,3	-1249	3445,8	460	5509,9	-17805,8	3500,2	-16720,1	17082,5	90	1490,53	-15634,3
7622,6	290	15245,1	186,938	-15244	2549	-1799	3120,1	470	5285	-18842,5	3799,5	-17575,9	17981,9	100	2314,05	-16309,3
7816	300	15631,9	1196,59	-15586	1808,1	-2082	2757,8	480	4812,7	-19750,9	3773,2	-18423,7	18806,1	110	2733,69	-17096,5
8165,6	310	16331,2	1855,7	-16225,4	1145,2	-2124	2412,9	490	4146,2	-20472,9	3472,4	-19165	19477,1	120	2798,62	-17857,1
8492,1	320	16984,1	1947,34	-16872,1	705,42	-2060	2177,5	500	3358,2	-20992,2	2971,1	-19744	19966,3	130	2584,03	-18495,9
8511,5	330	17023,1	1343,22	-16970	520,2	-2019	2084,8	510	2383,6	-21007,8	2283,8	-19991,8	20121,8	140	2183,89	-18975,7
7608,4	340	15216,7	-4,1806	-15216,7	741,35	-2800	2896,6	520	1478,5	-20817	1578,2	-20056,5	20118,5	150	1677,95	-19296
4445,4	350	8890,71	-1446,2	-8772,29	1089,6	-6061	6157,8	530	732,95	-20893,5	929,76	-20189,8	20211,2	160	1126,56	-19486
1250,2	360	2500,34	-4E-12	2500,34	3E-12	-11485	11485	540	2E-12	-20470,5	282	-20028,8	20030,8	170	564,006	-19587
4992,3	370	9984,68	5307,45	8457,23	-2984,8	-14402	14708	550	-662,15	-20346	-331,07	-19984,7	19987,4	180	5,4E-13	-19623,4
4592,8	380	9185,66	8634,66	3133,54	-4968,1	-11641	12656	560	-1301,5	-20147,8	-933,96	-19876,5	19898,5	190	-566,37	-19605,3
4665,8	390	9331,61	7902,27	-4963,17	-4904,4	-7444	8914,1	570	-1906,5	-19850,4	-1521,2	-19686	19744,7	200	-1136	-19521,7
5842,1	400	11684,2	6623,43	-9625,47	-4533,1	-4897	6673,4	580	-2442,8	-19420,4	-2070,1	-19381,8	19492	210	-1697,4	-19343,2
6716,3	410	13432,7	5585,78	-12216,2	-4217,8	-3308	5360,3	590	-2849,8	-18832,2	-2533,3	-18932,2	19100,9	220	-2216,8	-19032,1
7304,4	420	14608,8	5102,86	-13688,6	-4073,4	-2200	4629,4	600	-3044	-18087,8	-2837,9	-18322,1	18540,6	230	-2631,8	-18556,4
7789,1	430	15578,2	5081,38	-14726,2	-4008	-1254	4199,6	610	-2934,7	-17234	-2910,4	-17586,7	17825,8	240	-2886	-17939,3
8281,6	440	16563,3	5286,88	-15696,8	-3868	-337,8	3882,7	620	-2449,1	-16372,5	-2665,4	-16785,1	16995,4	250	-2881,7	-17197,8
8802,8	450	17605,6	5485,03	-16729,4	-3570,5	524,89	3608,9	630	-1656	-15679,6	-2103,5	-16049,9	16187,2	260	-2550,9	-16420,2
9319,4	460	18638,9	5509,9	-17805,8	-3016,9	1266,8	3272	640	-523,84	-15272,3	-1199,4	-15506	15552,3	270	-1875	-15739,7
9784,8	470	19569,7	5285,03	-18842,5	-2236,7	1768,6	2851,4	650	811,63	-15305,4	-50,487	-15306,2	15306,3	280	-912,6	-15307
10164	480	20328,8	4812,71	-19750,9	-1337,8	1940,8	2357,2	660	2137,2	-15869,4	1162,1	-15556,7	15600	290	186,938	-15244
10444	490	20888,5	4146,16	-20472,9	-472,85	1761,5	1823,9	670	3200,5	-16949,9	2198,5	-16268	16415,9	300	1196,59	-15586
10630	500	21259,1	3358,18	-20992,2	204,94	1290,3	1306,5	680	3768,1	-18411,5	2811,9	-17318,5	17545,3	310	1855,7	-16225,4
10571	510	21142,6	2383,61	-21007,8	651,85	496,8	819,58	690	3687,3	-20014,2	2817,3	-18443,2	18657,1	320	1947,34	-16872,1
10435	520	20869,4	1478,51	-20817	727,16	-322,2	795,35	700	2932,8	-21461,5	2138	-19215,7	19334,3	330	1343,22	-16970
10453	530	20906,4	732,955	-20893,5	445,05	-787,2	904,3	710	1623	-22467,9	809,43	-18842,3	18859,7	340	-4,1806	-15216,7
10235	540	20470,5	1,9E-12	-20470,5	9E-13	-1179	1178,9	720	4E-12	-22828,3	-723,11	-15800,3	15816,8	350	-1446,2	-8772,29
10178	550	20356,7	-662,15	-20346	331,07	-1241	1284,6	0	0	-22828,3	-2E-12	-10164	10164	360	-4E-12	2500,343
10095	560	20189,8	-1301,5	-20147,8	-165,78	-1183	1194,1	10	-1633,1	-22512,8	1837,2	-7027,81	7263,97	370	5307,45	8457,226

9970,9	570	19941,7	-1906,5	-19850,4	-532,81	-847,3	1000,9	20	-2972,1	-21545	2831,3	-9205,71	9631,27	380	8634,66	3133,543
9786,7	580	19573,4	-2442,8	-19420,4	-653,35	-337,3	735,3	30	-3749,5	-20095	2076,4	-12529,1	12700	390	7902,27	-4963,17
9523,3	590	19046,6	-2849,8	-18832,2	-503,67	172,7	532,46	40	-3857,1	-18486,8	1383,2	-14056,1	14124	400	6623,43	-9625,47
9171,1	600	18342,2	-3044	-18087,8	-136,1	537,79	554,74	50	-3316,2	-17012,2	1134,8	-14614,2	14658,2	410	5585,78	-12216,2
8741	610	17482,1	-2934,7	-17234	328,67	661,22	738,4	60	-2277,3	-15911,6	1412,8	-14800,1	14867,4	420	5102,86	-13688,6
8277,3	620	16554,7	-2449,1	-16372,5	738,46	525,67	906,45	70	-972,18	-15321,2	2054,6	-15023,7	15163,5	430	5081,38	-14726,2
7883,4	630	15766,8	-1656	-15679,6	1004,6	211,27	1026,5	80	353,15	-15257,1	2820	-15477	15731,8	440	5286,88	-15696,8
7640,6	640	15281,3	-523,84	-15272,3	1007,2	-181	1023,3	90	1490,5	-15634,3	3487,8	-16181,8	16553,4	450	5485,03	-16729,4
7663,4	650	15326,9	811,628	-15305,4	751,21	-501,9	903,47	100	2314,1	-16309,3	3912	-17057,6	17500,4	460	5509,9	-17805,8
8006,3	660	16012,6	2137,18	-15869,4	298,25	-613,6	682,2	110	2733,7	-17096,5	4009,4	-17969,5	18411,3	470	5285,03	-18842,5
8624,7	670	17249,4	3200,46	-16949,9	-200,92	-453,6	496,12	120	2798,6	-17857,1	3805,7	-18804	19185,3	480	4812,71	-19750,9
9396,6	680	18793,2	3768,07	-18411,5	-592,02	-42,19	593,52	130	2584	-18495,9	3365,1	-19484,4	19772,9	490	4146,16	-20472,9
10176	690	20351	3687,31	-20014,2	-751,71	519,25	913,61	140	2183,9	-18975,7	2771	-19983,9	20175,1	500	3358,18	-20992,2
10830	700	21660,9	2932,83	-21461,5	-627,44	1082,7	1251,4	150	1677,9	-19296	2030,8	-20151,9	20254	510	2383,61	-21007,8
11263	710	22526,5	1623,05	-22467,9	-248,24	1491	1511,5	160	1126,6	-19486	1302,5	-20151,5	20193,6	520	1478,51	-20817
11414	720	22828,3	3,7E-12	-22828,3	282	1620,6	1645	170	564,01	-19587	648,48	-20240,3	20250,7	530	732,955	-20893,5

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	Ф _{кв} , град
-22828,3	22828,3	0	1,928E-12	-4,343E-12	5,38789E-13	-22828,329	-20470,5247	2500,3431	-19623,357	5,388E-13	1,2333E-12	-3204,9719	-20046,941	0
-22512,8	22572	-1633,1063	-662,1484	5307,4535	-566,366713	-22512,837	-20345,9765	8457,2261	-19605,301	1066,7396	-614,25757	-2907,5362	-19975,639	10
-21545	21749	-2972,1131	-1301,548	8634,6578	-1135,99642	-21544,972	-20147,7708	3133,5432	-19521,692	1836,1167	-1218,7722	-2023,2799	-19834,732	20
-20095	20441,9	-3749,5463	-1906,487	7902,2694	-1697,38722	-20095,038	-19850,3978	-4963,1734	-19343,16	2052,1591	-1801,9373	-751,87851	-19596,779	30
-18486,8	18884,9	-3857,1083	-2442,837	6623,4337	-2216,75344	-18486,815	-19420,3602	-9625,474	-19032,138	1640,3548	-2329,7953	545,3225	-19226,249	40
-17012,2	17332,4	-3316,1547	-2849,762	5585,7794	-2631,79248	-17012,228	-18832,2218	-12216,216	-18556,363	684,36224	-2740,7773	1544,1353	-18694,293	50
-15911,6	16073,7	-2277,3286	-3043,964	5102,8606	-2886,04118	-15911,567	-18087,809	-13688,585	-17939,316	-608,71256	-2965,0027	2027,7489	-18013,563	60
-15321,2	15352	-972,17746	-2934,665	5081,376	-2881,71284	-15321,169	-17234,0039	-14726,169	-17197,765	-1909,5354	-2908,1891	1876,5957	-17215,884	70
-15257,1	15261,2	353,15199	-2449,102	5286,8834	-2550,91855	-15257,09	-16372,5031	-15696,823	-16420,183	-2904,0705	-2500,0103	1163,0925	-16396,343	80

-15634,3	15705,2	1490,5267	-1655,983	5485,031	-1874,97291	-15634,263	-15679,6252	-16729,412	-15739,664	-3365,4996	-1765,4778	105,4013	-15709,645	90
-16309,3	16472,6	2314,0531	-523,8429	5509,9011	-912,601421	-16309,261	-15272,3035	-17805,843	-15306,953	-3226,6545	-718,22218	-1002,3083	-15289,628	100
-17096,5	17313,6	2733,688	811,62833	5285,0307	186,9376808	-17096,461	-15305,3889	-18842,517	-15243,988	-2546,7503	499,283004	-1852,473	-15274,689	110
-17857,1	18075,1	2798,6215	2137,1833	4812,7062	1196,586363	-17857,117	-15869,3543	-19750,931	-15586,038	-1602,0351	1666,88481	-2271,0792	-15727,696	120
-18495,9	18675,5	2584,0278	3200,4648	4146,1643	1855,700794	-18495,913	-16949,899	-20472,925	-16225,393	-728,32698	2528,08282	-2270,5203	-16587,646	130
-18975,7	19101	2183,8949	3768,0717	3358,1835	1947,340401	-18975,715	-18411,5347	-20992,158	-16872,099	-236,55445	2857,70607	-2103,6156	-17641,817	140
-19296	19368,8	1677,9487	3687,3113	2383,6145	1343,223804	-19296,005	-20014,2155	-21007,819	-16970,019	-334,7249	2515,26755	-2325,9863	-18492,117	150
-19486	19518,5	1126,5584	2932,8312	1478,5114	-4,18060312	-19486	-21461,4505	-20817,006	-15216,726	-1130,739	1464,3253	-4269,2743	-18339,088	160
-19587	19595,2	564,0065	1623,0451	732,9549	-1446,22448	-19587,05	-22467,9424	-20893,52	-8772,293	-2010,231	88,4103083	-10814,757	-15620,118	170
-19623,4	19623,4	5,388E-13	3,726E-12	1,928E-12	-4,3434E-12	-19623,357	-22828,3294	-20470,525	2500,3431	-4,882E-12	-3,088E-13	-22123,701	-10163,993	180
-19605,3	19613,5	-566,36671	0	-662,14843	5307,453491	-19605,301	-22828,3294	-20345,977	8457,2261	5873,8202	2653,72675	-28062,527	-7185,5517	190
-19521,7	19554,7	-1135,9964	-1633,106	-1301,5481	8634,657838	-19521,692	-22512,8373	-20147,771	3133,5432	9770,6543	3500,77577	-22655,236	-9689,6471	200
-19343,2	19417,5	-1697,3872	-2972,113	-1906,4874	7902,269428	-19343,16	-21544,9723	-19850,398	-4963,1734	9599,6566	2465,07818	-14379,986	-13254,073	210
-19032,1	19160,8	-2216,7534	-3749,546	-2442,8371	6623,433651	-19032,138	-20095,0382	-19420,36	-9625,474	8840,1871	1436,94369	-9406,664	-14860,256	220
-18556,4	18742,1	-2631,7925	-3857,108	-2849,7621	5585,779415	-18556,363	-18486,8155	-18832,222	-12216,216	8217,5719	864,335566	-6340,1471	-15351,516	230
-17939,3	18170	-2886,0412	-3316,155	-3043,9643	5102,860633	-17939,316	-17012,2282	-18087,809	-13688,585	7988,9018	893,352955	-4250,7315	-15350,406	240
-17197,8	17437,5	-2881,7128	-2277,329	-2934,6654	5081,376044	-17197,765	-15911,5674	-17234,004	-14726,169	7963,0889	1402,02371	-2471,5954	-15318,868	250
-16420,2	16617,1	-2550,9186	-972,1775	-2449,1021	5286,883388	-16420,183	-15321,1692	-16372,503	-15696,823	7837,8019	2157,35297	-723,35926	-15508,996	260
-15739,7	15850,9	-1874,9729	353,15199	-1655,9827	5485,03099	-15739,664	-15257,0902	-15679,625	-16729,412	7360,0039	2919,09149	989,74772	-15993,251	270
-15307	15334,1	-912,60142	1490,5267	-523,84294	5509,901136	-15306,953	-15634,2632	-15272,304	-17805,843	6422,5026	3500,21389	2498,8901	-16720,053	280
-15244	15245,1	186,93768	2314,0531	811,62833	5285,030669	-15243,988	-16309,2611	-15305,389	-18842,517	5098,093	3799,54187	3598,5288	-17575,889	290
-15586	15631,9	1196,5864	2733,688	2137,1833	4812,706184	-15586,038	-17096,4615	-15869,354	-19750,931	3616,1198	3773,1971	4164,8932	-18423,696	300
-16225,4	16331,2	1855,7008	2798,6215	3200,4648	4146,16429	-16225,393	-17857,1168	-16949,899	-20472,925	2290,4635	3472,39289	4247,532	-19165,021	310
-16872,1	16984,1	1947,3404	2584,0278	3768,0717	3358,183474	-16872,099	-18495,9133	-18411,535	-20992,158	1410,8431	2971,10562	4120,0588	-19744,035	320
-16970	17023,1	1343,2238	2183,8949	3687,3113	2383,614547	-16970,019	-18975,7145	-20014,215	-21007,819	1040,3907	2283,7547	4037,8002	-19991,767	330
-15216,7	15216,7	-4,1806031	1677,9487	2932,8312	1478,511407	-15216,726	-19296,0054	-21461,451	-20817,006	1482,692	1578,23005	5600,28	-20056,506	340
-8772,29	8890,71	-1446,2245	1126,5584	1623,0451	732,9548953	-8772,293	-19486	-22467,942	-20893,52	2179,1794	929,756636	12121,227	-20189,76	350
2500,34	2500,34	-4,343E-12	564,0065	3,726E-12	1,92774E-12	2500,3431	-19587,0497	-22828,329	-20470,525	6,271E-12	282,003249	22970,868	-20028,787	360

8457,23	9984,68	5307,4535	5,388E-13	-1633,1063	-662,14843	8457,2261	-19623,3575	-22512,837	-20345,977	-5969,6019	-331,07422	28803,203	-19984,667	370
3133,54	9185,66	8634,6578	-566,3667	-2972,1131	-1301,54807	3133,5432	-19605,3011	-21544,972	-20147,771	-9936,2059	-933,95739	23281,314	-19876,536	380
-4963,17	9331,61	7902,2694	-1135,996	-3749,5463	-1906,48742	-4963,1734	-19521,6925	-20095,038	-19850,398	-9808,7568	-1521,2419	14887,224	-19686,045	390
-9625,47	11684,2	6623,4337	-1697,387	-3857,1083	-2442,83712	-9625,474	-19343,1597	-18486,815	-19420,36	-9066,2708	-2070,1122	9794,8862	-19381,76	400
-12216,2	13432,7	5585,7794	-2216,753	-3316,1547	-2849,76206	-12216,216	-19032,138	-17012,228	-18832,222	-8435,5415	-2533,2578	6616,0054	-18932,18	410
-13688,6	14608,8	5102,8606	-2631,792	-2277,3286	-3043,96431	-13688,585	-18556,3635	-15911,567	-18087,809	-8146,8249	-2837,8784	4399,2242	-18322,086	420
-14726,2	15578,2	5081,376	-2886,041	-972,17746	-2934,6654	-14726,169	-17939,3162	-15321,169	-17234,004	-8016,0414	-2910,3533	2507,8344	-17586,66	430
-15696,8	16563,3	5286,8834	-2881,713	353,15199	-2449,10213	-15696,823	-17197,7648	-15257,09	-16372,503	-7735,9855	-2665,4075	675,6797	-16785,134	440
-16729,4	17605,6	5485,031	-2550,919	1490,5267	-1655,98265	-16729,412	-16420,1827	-15634,263	-15679,625	-7141,0136	-2103,4506	-1049,7869	-16049,904	450
-17805,8	18638,9	5509,9011	-1874,973	2314,0531	-523,842938	-17805,843	-15739,6645	-16309,261	-15272,304	-6033,7441	-1199,4079	-2533,5394	-15505,984	460
-18842,5	19569,7	5285,0307	-912,6014	2733,688	811,6283278	-18842,517	-15306,9528	-17096,461	-15305,389	-4473,4023	-50,486547	-3537,1283	-15306,171	470
-19750,9	20328,8	4812,7062	186,93768	2798,6215	2137,183256	-19750,931	-15243,9885	-17857,117	-15869,354	-2675,5229	1162,06047	-3881,5765	-15556,671	480
-20472,9	20888,5	4146,1643	1196,5864	2584,0278	3200,464842	-20472,925	-15586,0376	-18495,913	-16949,899	-945,69945	2198,5256	-3523,026	-16267,968	490
-20992,2	21259,1	3358,1835	1855,7008	2183,8949	3768,071738	-20992,158	-16225,3931	-18975,715	-18411,535	409,88826	2811,88627	-2580,6229	-17318,464	500
-21007,8	21142,6	2383,6145	1947,3404	1677,9487	3687,311299	-21007,819	-16872,0989	-19296,005	-20014,215	1303,6968	2817,32585	-993,60385	-18443,157	510
-20817	20869,4	1478,5114	1343,2238	1126,5584	2932,831204	-20817,006	-16970,0191	-19486	-21461,451	1454,3198	2138,0275	644,44494	-19215,735	520
-20893,5	20906,4	732,9549	-4,180603	564,0065	1623,045101	-20893,52	-15216,7256	-19587,05	-22467,942	890,09021	809,432249	1574,4229	-18842,334	530
-20470,5	20470,5	1,928E-12	-1446,224	5,388E-13	3,72578E-12	-20470,525	-8772,29297	-19623,357	-22828,329	1,798E-12	-723,11224	2357,8047	-15800,311	540
-20346	20356,7	-662,14843	-4,34E-12	-566,36671	0	-20345,977	2500,34314	-19605,301	-22828,329	662,14843	-2,172E-12	2482,3529	-10163,993	550
-20147,8	20189,8	-1301,5481	5307,4535	-1135,9964	-1633,1063	-20147,771	8457,22608	-19521,692	-22512,837	-331,55824	1837,17359	2365,0665	-7027,8056	560
-19850,4	19941,7	-1906,4874	8634,6578	-1697,3872	-2972,11308	-19850,398	3133,54319	-19343,16	-21544,972	-1065,6257	2831,27238	1694,5745	-9205,7146	570
-19420,4	19573,4	-2442,8371	7902,2694	-2216,7534	-3749,54627	-19420,36	-4963,17344	-19032,138	-20095,038	-1306,7092	2076,36158	674,67799	-12529,106	580
-18832,2	19046,6	-2849,7621	6623,4337	-2631,7925	-3857,10828	-18832,222	-9625,47398	-18556,363	-18486,815	-1007,3462	1383,16268	-345,40633	-14056,145	590
-18087,8	18342,2	-3043,9643	5585,7794	-2886,0412	-3316,15472	-18087,809	-12216,2164	-17939,316	-17012,228	-272,19042	1134,81235	-1075,5808	-14614,222	600
-17234	17482,1	-2934,6654	5102,8606	-2881,7128	-2277,32862	-17234,004	-13688,5848	-17197,765	-15911,567	657,33677	1412,76601	-1322,4365	-14800,076	610
-16372,5	16554,7	-2449,1021	5081,376	-2550,9186	-972,177456	-16372,503	-14726,1694	-16420,183	-15321,169	1476,9247	2054,59929	-1051,3339	-15023,669	620
-15679,6	15766,8	-1655,9827	5286,8834	-1874,9729	353,1519926	-15679,625	-15696,8234	-15739,664	-15257,09	2009,1346	2820,01769	-422,53501	-15476,957	630
-15272,3	15281,3	-523,84294	5485,031	-912,60142	1490,526651	-15272,304	-16729,4122	-15306,953	-15634,263	2014,3696	3487,77882	361,95962	-16181,838	640

-15305,4	15326,9	811,62833	5509,9011	186,93768	2314,053076	-15305,389	-17805,8429	-15243,988	-16309,261	1502,4247	3911,97711	1003,8722	-17057,552	650
-15869,4	16012,6	2137,1833	5285,0307	1196,5864	2733,68802	-15869,354	-18842,5172	-15586,038	-17096,461	596,50476	4009,35934	1227,1072	-17969,489	660
-16949,9	17249,4	3200,4648	4812,7062	1855,7008	2798,621492	-16949,899	-19750,9308	-16225,393	-17857,117	-401,84335	3805,66384	907,21779	-18804,024	670
-18411,5	18793,2	3768,0717	4146,1643	1947,3404	2584,027776	-18411,535	-20472,925	-16872,099	-18495,913	-1184,044	3365,09603	84,378589	-19484,419	680
-20014,2	20351	3687,3113	3358,1835	1343,2238	2183,894856	-20014,215	-20992,1576	-16970,019	-18975,715	-1503,4164	2771,03916	-1038,501	-19983,936	690
-21461,5	21660,9	2932,8312	2383,6145	-4,1806031	1677,948702	-21461,451	-21007,8193	-15216,726	-19296,005	-1254,8825	2030,78162	-2165,4451	-20151,912	700
-22467,9	22526,5	1623,0451	1478,5114	-1446,2245	1126,558376	-22467,942	-20817,0056	-8772,293	-19486	-496,48672	1302,53489	-2981,9424	-20151,503	710
-22828,3	22828,3	3,726E-12	732,9549	-4,343E-12	564,0064972	-22828,329	-20893,5195	2500,3431	-19587,05	564,0065	648,480696	-3241,2797	-20240,285	720

Таблица Г5 – Силы действующие на шатунную шейку

$K_{Rш}, Н$	$P_k, Н$	$P_k, Н$	$\psi, рад$	$\psi, град$	$Rш.ш., Н$	$\varphi_{кв}, град$
-5780,7604	-13383,5	13383,47526	0	0	13383	0
-5780,7604	-13068	13067,9832	0,1243255	7,1233258	13170	10
-5780,7604	-12100,1	12100,11821	0,2408585	13,800174	12460	20
-5780,7604	-10650,2	10650,18403	0,3385124	19,395331	11291	30
-5780,7604	-9041,96	9041,961366	0,4032071	23,102064	9830,3	40
-5780,7604	-7567,37	7567,374024	0,4130124	23,663867	8262,1	50
-5780,7604	-6466,71	6466,713226	0,3385993	19,400311	6856	60
-5780,7604	-5876,32	5876,315048	0,1639549	9,3939243	5956,2	70
-5780,7604	-5812,24	5812,236074	-0,0606855	-3,4770222	5823	80
-5780,7604	-6189,41	6189,40902	-0,2363191	-13,540089	6366,4	90
-5780,7604	-6864,41	6864,406939	-0,3251448	-18,629422	7244	100
-5780,7604	-7651,61	7651,607352	-0,3431365	-19,660273	8125,3	110
-5780,7604	-8412,26	8412,26266	-0,3211656	-18,401436	8865,6	120
-5780,7604	-9051,06	9051,059188	-0,2780965	-15,933754	9412,7	130
-5780,7604	-9530,86	9530,860372	-0,2252508	-12,90592	9777,9	140
-5780,7604	-9851,15	9851,15131	-0,1687111	-9,6664327	9993	150
-5780,7604	-10041,1	10041,14582	-0,111727	-6,4014844	10104	160
-5780,7604	-10142,2	10142,19553	-0,0555527	-3,1829343	10158	170
-5780,7604	-10178,5	10178,50334	-5,293E-17	-3,033E-15	10179	180
-5780,7604	-10160,4	10160,44696	0,0556847	3,1904969	10176	190
-5780,7604	-10076,8	10076,83834	0,1122595	6,4319931	10141	200
-5780,7604	-9898,31	9898,30552	0,1698308	9,730586	10043	210
-5780,7604	-9587,28	9587,283871	0,227225	13,019032	9840,2	220
-5780,7604	-9111,51	9111,509338	0,2811895	16,110973	9484	230
-5780,7604	-8494,46	8494,462098	0,3275194	18,765481	8971,3	240
-5780,7604	-7752,91	7752,910712	0,3558694	20,389814	8271,1	250
-5780,7604	-6975,33	6975,328536	0,3505976	20,087763	7427,1	260
-5780,7604	-6294,81	6294,810319	0,2894924	16,586695	6568,1	270
-5780,7604	-5862,1	5862,098637	0,1544386	8,8486798	5932,7	280
-5780,7604	-5799,13	5799,134353	-0,0322243	-1,8463157	5802,1	290
-5780,7604	-6141,18	6141,183467	-0,1924351	-11,02572	6256,7	300
-5780,7604	-6780,54	6780,538926	-0,267139	-15,305937	7029,9	310
-5780,7604	-7427,24	7427,24473	-0,2564172	-14,691622	7678,3	320
-5780,7604	-7525,16	7525,164971	-0,1766373	-10,120572	7644,1	330
-5780,7604	-5771,87	5771,871503	0,0007243	0,0414997	5771,9	340
-5780,7604	672,5612	-672,561164	-1,1355007	-65,059397	1595	350
-5780,7604	11945,2	-11945,1973	-3,636E-16	-2,083E-14	11945	360
-5780,7604	17902,08	-17902,0802	0,2882163	16,51358	18672	370
-5780,7604	12578,4	-12578,3973	0,6015857	34,468323	15257	380
-5780,7604	4481,681	-4481,6807	1,0548903	60,440762	9084,7	390
-5780,7604	-180,62	180,6198485	-1,5435333	-88,437941	6625,9	400
-5780,7604	-2771,36	2771,362264	-1,1102366	-63,611874	6235,5	410

-5780,7604	-4243,73	4243,730637	-0,8770597	-50,251817	6636,9	420
-5780,7604	-5281,32	5281,315301	-0,7661064	-43,894664	7328,9	430
-5780,7604	-6251,97	6251,969276	-0,7019544	-40,219026	8187,7	440
-5780,7604	-7284,56	7284,558036	-0,6453972	-36,978536	9118,7	450
-5780,7604	-8360,99	8360,988765	-0,5826769	-33,384928	10013	460
-5780,7604	-9397,66	9397,663103	-0,5122961	-29,352405	10782	470
-5780,7604	-10306,1	10306,07663	-0,4368824	-25,031518	11374	480
-5780,7604	-11028,1	11028,07091	-0,3596161	-20,604484	11782	490
-5780,7604	-11547,3	11547,30349	-0,2830134	-16,215472	12026	500
-5780,7604	-11563	11562,96518	-0,2032944	-11,647913	11806	510
-5780,7604	-11372,2	11372,15148	-0,1292864	-7,4075647	11468	520
-5780,7604	-11448,7	11448,66538	-0,0639337	-3,6631333	11472	530
-5780,7604	-11025,7	11025,67056	-1,748E-16	-1,002E-14	11026	540
-5780,7604	-10901,1	10901,12238	0,0606668	3,4759499	10921	550
-5780,7604	-10702,9	10702,91671	0,1210127	6,9335153	10782	560
-5780,7604	-10405,5	10405,54366	0,1812086	10,382489	10579	570
-5780,7604	-9975,51	9975,506036	0,2401574	13,760005	10270	580
-5780,7604	-9387,37	9387,367697	0,2947326	16,886933	9810,4	590
-5780,7604	-8642,95	8642,954871	0,3386247	19,401766	9163,3	600
-5780,7604	-7789,15	7789,149718	0,3603156	20,644565	8323,6	610
-5780,7604	-6927,65	6927,64898	0,3398123	19,469812	7347,8	620
-5780,7604	-6234,77	6234,771088	0,2596104	14,87458	6450,9	630
-5780,7604	-5827,45	5827,449403	0,0896514	5,1366444	5850,9	640
-5780,7604	-5860,53	5860,534781	-0,1376151	-7,8847669	5916,5	650
-5780,7604	-6424,5	6424,50012	-0,3211457	-18,400293	6770,7	660
-5780,7604	-7505,04	7505,044868	-0,4030912	-23,095426	8159	670
-5780,7604	-8966,68	8966,6806	-0,3978238	-22,793626	9726,2	680
-5780,7604	-10569,4	10569,36133	-0,3356659	-19,232242	11194	690
-5780,7604	-12016,6	12016,59642	-0,2393851	-13,715754	12369	700
-5780,7604	-13023,1	13023,08825	-0,123989	-7,1040451	13124	710
-5780,7604	-13383,5	13383,47526	-2,784E-16	-1,595E-14	13383	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	20046,9	20046,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20046,9
Рк.ш 10	19985,1	19985,1	19985	0	0	0	0	0	0	0	0	19985,1
Рк.ш 20	19872,1	19872,1	19872	0	0	0	0	0	0	0	0	19872,1
Рк.ш 30	19679,4	19679,4	19679	0	0	0	0	0	0	0	0	19679,4
Рк.ш 40	19366,9	19366,9	19367	0	0	0	0	0	0	0	0	19366,9
Рк.ш 50	18894,1	18894,1	18894	0	0	0	0	0	0	0	0	18894,1
Рк.ш 60	18255,9	18255,9	18256	0	0	0	0	0	0	0	0	18255,9
Рк.ш 70	17459,8	17459,8	17460	0	0	0	0	0	0	0	0	17459,8
Рк.ш 80	16585,8	16585,8	0	0	0	0	0	0	0	0	16586	16585,8
Рк.ш 90	15808,5	15808,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15809	15808,5
Рк.ш 100	15306,5	15306,5	0	0	0	0	0	0	0	0	15306	15306,5

Rk.III 110	15282,8	15282,8	0	0	0	0	0	0	0	0	15283	15282,8
Rk.III 120	15815,8	15815,8	0	0	0	0	0	0	0	0	15816	15815,8
Rk.III 130	16779,2	16779,2	0	0	0	0	0	0	0	0	16779	16779,2
Rk.III 140	17871,8	17871,8	0	0	0	0	0	0	0	0	17872	17871,8
Rk.III 150	18662,4	18662,4	0	0	0	0	0	0	0	0	18662	18662,4
Rk.III 160	18397,5	18397,5	0	0	0	0	0	0	0	0	18397	18397,5
Rk.III 170	15620,4	15620,4	0	0	0	0	0	0	0	0	15620	15620,4
Rk.III 180	10164	10164	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10164
Rk.III 190	7659,92	7659,92	7659,9	0	0	0	0	0	0	0	0	7659,92
Rk.III 200	10302,7	10302,7	10303	0	0	0	0	0	0	0	0	10302,7
Rk.III 210	13481,4	13481,4	13481	0	0	0	0	0	0	0	0	13481,4
Rk.III 220	14929,6	14929,6	14930	0	0	0	0	0	0	0	0	14929,6
Rk.III 230	15375,8	15375,8	15376	0	0	0	0	0	0	0	0	15375,8
Rk.III 240	15376,4	15376,4	15376	0	0	0	0	0	0	0	0	15376,4
Rk.III 250	15382,9	15382,9	15383	0	0	0	0	0	0	0	0	15382,9
Rk.III 260	15658,3	15658,3	15658	0	0	0	0	0	0	0	0	15658,3
Rk.III 270	16257,5	16257,5	16257	0	0	0	0	0	0	0	0	16257,5
Rk.III 280	17082,5	17082,5	17082	0	0	0	0	0	0	0	0	17082,5
Rk.III 290	17981,9	17981,9	0	0	0	0	0	0	0	0	17982	17981,9
Rk.III 300	18806,1	18806,1	0	0	0	0	0	0	0	0	18806	18806,1
Rk.III 310	19477,1	19477,1	0	0	0	0	0	0	0	0	19477	19477,1
Rk.III 320	19966,3	19966,3	0	0	0	0	0	0	0	0	19966	19966,3
Rk.III 330	20121,8	20121,8	0	0	0	0	0	0	0	0	20122	20121,8
Rk.III 340	20118,5	20118,5	20119	0	0	0	0	0	0	0	0	20118,5
Rk.III 350	0	0	0	0	0	0	0	0	20211,156	20211,156	20211	20211,2
Rk.III 360	20030,8	20030,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20030,8
Rk.III 370	19987,4	19987,4	19987	0	0	0	0	0	0	0	0	19987,4
Rk.III 380	19898,5	19898,5	19898	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 390	0	19744,7	19745	0	19744,735	0	0	0	0	0	0	0
Rk.III 400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19492	19492
Rk.III 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19101	19100,9
Rk.III 420	18540,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18541	18540,6
Rk.III 430	17825,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17826	17825,8
Rk.III 440	16995,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16995	16995,4
Rk.III 450	16187,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16187	16187,2
Rk.III 460	15552,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15552	15552,3
Rk.III 470	15306,3	15306,3	0	0	0	0	0	0	0	0	15306	15306,3
Rk.III 480	15600	15600	0	0	0	0	0	0	0	0	15600	15600
Rk.III 490	16415,9	16415,9	0	0	0	0	0	0	0	0	16416	16415,9
Rk.III 500	17545,3	17545,3	0	0	0	0	0	0	0	0	17545	17545,3
Rk.III 510	18657,1	18657,1	0	0	0	0	0	0	0	0	18657	18657,1
Rk.III 520	19334,3	19334,3	0	0	0	0	0	0	0	0	19334	19334,3
Rk.III 530	18859,7	18859,7	0	0	0	0	0	0	0	0	18860	18859,7
Rk.III 540	15816,8	15816,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15816,8
Rk.III 550	10164	10164	10164	0	0	0	0	0	0	0	0	10164
Rk.III 560	7263,97	7263,97	7264	0	0	0	0	0	0	0	0	7263,97
Rk.III 570	9631,27	9631,27	9631,3	0	0	0	0	0	0	0	0	9631,27
Rk.III 580	12700	12700	12700	0	0	0	0	0	0	0	0	12700
Rk.III 590	14124	14124	14124	0	0	0	0	0	0	0	0	14124
Rk.III 600	14658,2	14658,2	14658	0	0	0	0	0	0	0	0	14658,2
Rk.III 610	14867,4	14867,4	14867	0	0	0	0	0	0	0	0	14867,4
Rk.III 620	15163,5	15163,5	15164	0	0	0	0	0	0	0	0	15163,5
Rk.III 630	15731,8	15731,8	15732	0	0	0	0	0	0	0	0	15731,8
Rk.III 640	16553,4	16553,4	16553	0	0	0	0	0	0	0	0	16553,4
Rk.III 650	17500,4	17500,4	0	0	0	0	0	0	0	0	17500	17500,4
Rk.III 660	18411,3	18411,3	0	0	0	0	0	0	0	0	18411	18411,3
Rk.III 670	19185,3	19185,3	0	0	0	0	0	0	0	0	19185	19185,3
Rk.III 680	19772,9	19772,9	0	0	0	0	0	0	0	0	19773	19772,9
Rk.III 690	20175,1	20175,1	0	0	0	0	0	0	0	0	20175	20175,1
Rk.III 700	20254	20254	0	0	0	0	0	0	0	0	20254	20254
Rk.III 710	20193,6	20193,6	0	0	0	0	0	0	0	0	20194	20193,6
ΣRk.III i	20250,7	20250,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20250,7

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

Рк.ш i	Значения Рк.ш i, Н, для лучей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рк.ш 0	11414,165	11414,165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11414,165
Рк.ш 10	11285,997	11285,997	11285,997	0	0	0	0	0	0	0	0	11285,997
Рк.ш 20	10874,503	10874,503	10874,503	0	0	0	0	0	0	0	0	10874,503
Рк.ш 30	10220,93	10220,93	10220,93	0	0	0	0	0	0	0	0	10220,93
Рк.ш 40	9442,4524	9442,4524	9442,4524	0	0	0	0	0	0	0	0	9442,4524
Рк.ш 50	8666,2101	8666,2101	8666,2101	0	0	0	0	0	0	0	0	8666,2101
Рк.ш 60	8036,8558	8036,8558	8036,8558	0	0	0	0	0	0	0	0	8036,8558
Рк.ш 70	7675,991	7675,991	7675,991	0	0	0	0	0	0	0	0	7675,991
Рк.ш 80	7630,5884	7630,5884	0	0	0	0	0	0	0	0	7630,5884	7630,5884
Рк.ш 90	7852,5769	7852,5769	0	0	0	0	0	0	0	0	7852,5769	7852,5769
Рк.ш 100	8236,3044	8236,3044	0	0	0	0	0	0	0	0	8236,3044	8236,3044
Рк.ш 110	8656,8188	8656,8188	0	0	0	0	0	0	0	0	8656,8188	8656,8188
Рк.ш 120	9037,5453	9037,5453	0	0	0	0	0	0	0	0	9037,5453	9037,5453
Рк.ш 130	9337,7729	9337,7729	0	0	0	0	0	0	0	0	9337,7729	9337,7729
Рк.ш 140	9550,4861	9550,4861	0	0	0	0	0	0	0	0	9550,4861	9550,4861
Рк.ш 150	9684,4119	9684,4119	0	0	0	0	0	0	0	0	9684,4119	9684,4119
Рк.ш 160	9759,269	9759,269	0	0	0	0	0	0	0	0	9759,269	9759,269
Рк.ш 170	9797,5841	9797,5841	0	0	0	0	0	0	0	0	9797,5841	9797,5841
Рк.ш 180	9811,6787	9811,6787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9811,6787
Рк.ш 190	9806,7401	9806,7401	9806,7401	0	0	0	0	0	0	0	0	9806,7401
Рк.ш 200	9777,3586	9777,3586	9777,3586	0	0	0	0	0	0	0	0	9777,3586
Рк.ш 210	9708,7454	9708,7454	9708,7454	0	0	0	0	0	0	0	0	9708,7454
Рк.ш 220	9580,4002	9580,4002	9580,4002	0	0	0	0	0	0	0	0	9580,4002
Рк.ш 230	9371,0319	9371,0319	9371,0319	0	0	0	0	0	0	0	0	9371,0319
Рк.ш 240	9084,9918	9084,9918	9084,9918	0	0	0	0	0	0	0	0	9084,9918
Рк.ш 250	8718,764	8718,764	8718,764	0	0	0	0	0	0	0	0	8718,764
Рк.ш 260	8308,5736	8308,5736	8308,5736	0	0	0	0	0	0	0	0	8308,5736
Рк.ш 270	7925,4741	7925,4741	7925,4741	0	0	0	0	0	0	0	0	7925,4741
Рк.ш 280	7667,0667	7667,0667	7667,0667	0	0	0	0	0	0	0	0	7667,0667
Рк.ш 290	7622,5673	7622,5673	0	0	0	0	0	0	0	0	7622,5673	7622,5673
Рк.ш 300	7815,9514	7815,9514	0	0	0	0	0	0	0	0	7815,9514	7815,9514
Рк.ш 310	8165,5833	8165,5833	0	0	0	0	0	0	0	0	8165,5833	8165,5833
Рк.ш 320	8492,053	8492,053	0	0	0	0	0	0	0	0	8492,053	8492,053
Рк.ш 330	8511,548	8511,548	0	0	0	0	0	0	0	0	8511,548	8511,548
Рк.ш 340	7608,3631	7608,3631	7608,3631	0	0	0	0	0	0	0	0	7608,3631
Рк.ш 350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4445,354	4445,354	4445,354
Рк.ш 360	1250,1716	1250,1716	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1250,1716
Рк.ш 370	4992,3375	4992,3375	4992,3375	0	0	0	0	0	0	0	0	4992,3375
Рк.ш 380	4592,8316	4592,8316	4592,8316	0	0	0	0	0	0	0	0	4592,8316
Рк.ш 390	0	4665,8052	4665,8052	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5842,0806	5842,0806
Рк.ш 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6716,3397	6716,3397
Рк.ш 420	7304,3915	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7304,3915	7304,3915
Рк.ш 430	7789,1021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7789,1021	7789,1021
Рк.ш 440	8281,6273	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8281,6273	8281,6273
Рк.ш 450	8802,8234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8802,8234	8802,8234
Рк.ш 460	9319,4293	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9319,4293	9319,4293
Рк.ш 470	9784,8353	9784,8353	0	0	0	0	0	0	0	0	9784,8353	9784,8353
Рк.ш 480	10164,416	10164,416	0	0	0	0	0	0	0	0	10164,416	10164,416
Рк.ш 490	10444,273	10444,273	0	0	0	0	0	0	0	0	10444,273	10444,273
Рк.ш 500	10629,535	10629,535	0	0	0	0	0	0	0	0	10629,535	10629,535
Рк.ш 510	10571,307	10571,307	0	0	0	0	0	0	0	0	10571,307	10571,307
Рк.ш 520	10434,722	10434,722	0	0	0	0	0	0	0	0	10434,722	10434,722
Рк.ш 530	10453,186	10453,186	0	0	0	0	0	0	0	0	10453,186	10453,186
Рк.ш 540	10235,262	10235,262	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10235,262
Рк.ш 550	10178,374	10178,374	10178,374	0	0	0	0	0	0	0	0	10178,374
Рк.ш 560	10094,884	10094,884	10094,884	0	0	0	0	0	0	0	0	10094,884
Рк.ш 570	9970,8699	9970,8699	9970,8699	0	0	0	0	0	0	0	0	9970,8699
Рк.ш 580	9786,6981	9786,6981	9786,6981	0	0	0	0	0	0	0	0	9786,6981
Рк.ш 590	9523,3099	9523,3099	9523,3099	0	0	0	0	0	0	0	0	9523,3099
Рк.ш 600	9171,0762	9171,0762	9171,0762	0	0	0	0	0	0	0	0	9171,0762
Рк.ш 610	8741,0404	8741,0404	8741,0404	0	0	0	0	0	0	0	0	8741,0404
Рк.ш 620	8277,3329	8277,3329	8277,3329	0	0	0	0	0	0	0	0	8277,3329

Рк.ш 630	7883,415	7883,415	7883,415	0	0	0	0	0	0	0	0	7883,415
Рк.ш 640	7640,6424	7640,6424	7640,6424	0	0	0	0	0	0	0	0	7640,6424
Рк.ш 650	7663,4468	7663,4468	0	0	0	0	0	0	0	0	7663,4468	7663,4468
Рк.ш 660	8006,3093	8006,3093	0	0	0	0	0	0	0	0	8006,3093	8006,3093
Рк.ш 670	8624,7036	8624,7036	0	0	0	0	0	0	0	0	8624,7036	8624,7036
Рк.ш 680	9396,5815	9396,5815	0	0	0	0	0	0	0	0	9396,5815	9396,5815
Рк.ш 690	10175,523	10175,523	0	0	0	0	0	0	0	0	10175,523	10175,523
Рк.ш 700	10830,459	10830,459	0	0	0	0	0	0	0	0	10830,459	10830,459
Рк.ш 710	11263,245	11263,245	0	0	0	0	0	0	0	0	11263,245	11263,245
ΣРк.ш i	11414,165	11414,165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11414,165

Приложение Д

Д.1 Расчет элементов системы смазки

Д.1.1 Расчет масляного насоса

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

Количество тепла, отводимого маслом от двигателя:

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

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

Плотность масла $\rho_m=900$ кг/м³.

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

Циркуляционный расход масла

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

Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе

$$V^* = 2V_u = 2 \cdot 0,000238 = 0,000478 \text{ м}^3 / \text{с.} \quad (\text{Д.4})$$

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

Расчетная производительность насоса

$$V_p = V^* / \eta_n = 0,000478 / 0,7 = 0,000682 \text{ м}^3 / \text{с.} \quad (\text{Д.5})$$

Модуль зацепления зуба $m=4,5$ мм.

Высота зуба $h=2m=2 \cdot 4,5=9$ мм.

Число зубьев шестерен $z=7$.

Диаметр начальной окружности шестерни

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

Диаметр внешней окружности шестерни

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

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

Частота вращения шестерни (насоса)

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

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

Длина зуба шестерни

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

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

Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса:

$$N_n = V_p \cdot p / (\eta_{м.н} \cdot 10^3) = 0,000682 \cdot 40 \cdot 10^4 / (0,87 \cdot 10^3) = 0,31 \text{ кВт.} \quad (\text{Д.8})$$

Д.1.2 Расчет масляного радиатора

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

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

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

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

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

Коэффициент теплопередачи от масла к воде

$$K_m = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta/\lambda_{\text{мен}} + 1/\alpha_2} = \frac{1}{1/250 + 0,0002/100 + 1/3200} = 232 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \quad (\text{Д.9})$$

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

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

Поверхность охлаждения масляного радиатора, омываемая водой:

$$F_m = \frac{Q_m}{K_m(T_{м.ср} - T_{вод.ср})} = \frac{4530}{232(358 - 348)} = 2,01 \text{ м}^2. \quad (\text{Д.10})$$

Д.2 Расчет элементов системы охлаждения

Д.2.1 Расчет водяного насоса

Циркуляционный расход воды в системе охлаждения

$$G_{жс} = Q_{в} / (c_{жс} \rho_{жс} \Delta T_{жс}) = 69730 / (4187 \cdot 1000 \cdot 9,6) = 0,00173 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (\text{Д.11})$$

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

Расчетная производительность насоса

$$G_{жс.р} = G_{жс} / \eta = 0,00173 / 0,82 = 0,00212 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (\text{Д.12})$$

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

Радиус входного отверстия крыльчатки

$$r_1 = \sqrt{G_{жс.р} / (\pi c_1) + r_0^2} = \sqrt{0,00212 / (3,14 \cdot 1,8) + 0,01^2} = 0,0193 \text{ м}, \quad (\text{Д.13})$$

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

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

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

$$r_2 = 30 u_2 / (\pi m_{г.н}) = 30 \cdot 14,7 / (3,14 \cdot 4600) = 0,0305 \text{ м}. \quad (\text{Д.15})$$

Окружная скорость входа потока

$$u_1 = u_2 r_1 / r_2 = 14,7 \cdot 0,0193 / 0,0305 = 9,32 \text{ м/с}. \quad (\text{Д.16})$$

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 $\beta_1=10^015^{\wedge}$.

Ширина лопатки на входе

$$b_1 = \frac{G_{ж.р}}{(2\pi r_1 - z\delta_1 / \sin \beta_1) \cdot 1,8} = \frac{0,00212}{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0193 - 4 \cdot 0,003 / \sin 10^015^{\wedge}) \cdot 1,8} = 0,0596 \text{ м}, \quad (\text{Д.17})$$

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

Радиальная скорость потока на входе из колеса

$$c_r = \frac{P_{ж} \operatorname{tg} \alpha_2}{\rho_{ж} \eta_h u_2} = \frac{120000 \cdot \operatorname{tg} 10^0}{1000 \cdot 0,65 \cdot 14,7} = 2,2 \text{ м/с}. \quad (\text{Д.18})$$

Ширина лопатки на выходе

$$b_2 = \frac{G_{ж.р}}{(2\pi r_2 - z\delta_2 / \sin \beta_2) c_r} = \frac{0,00212}{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0305 - 4 \cdot 0,003 / \sin 45^0) \cdot 2,2} = 0,0037 \text{ м} \quad (\text{Д.19})$$

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

Мощность, потребляемая водяным насосом:

$$N_{в.н} = G_{ж.р} P_{ж} / (1000 \eta_m) = 0,00212 \cdot 120000 / (1000 \cdot 0,82) = 0,34 \text{ кВт}, \quad (\text{Д.20})$$

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

6.2.2 Расчет поверхности охлаждения водяного радиатора

Количество воздуха, проходящего через радиатор:

$$G_{возд} = Q_{возд} / (c_{возд} \Delta T_{возд}) = 69730 / (1000 \cdot 24) = 2,9 \text{ кг/с}, \quad (\text{Д.21})$$

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

Массовый расход воды, проходящей через радиатор:

$$G_{ж} = G_{ж} \rho_{ж} = 0,00173 \cdot 1000 = 1,73 \text{ кг/с}. \quad (\text{Д.22})$$

Средняя температура охлаждающего воздуха, проходящего через радиатор:

$$T_{ср.возд} = \frac{T_{воздвх} + (T_{воздвх} + \Delta T_{возд})}{2} = \frac{313 + (313 + 24)}{2} = 325 \text{ К}. \quad (\text{Д.23})$$

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

Средняя температура воды в радиаторе

$$T_{\text{ср.вод}} = \frac{T_{\text{водвх}} + (T_{\text{водвх}} - \Delta T_{\text{в}})}{2} = 358,2 \text{ К}, \quad (\text{Д.24})$$

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

$$F = \frac{Q_{\text{вод}}}{K(T_{\text{ср.вод}} - T_{\text{ср.возд}})} = \frac{69730}{160(358,2 - 325)} = 11,51 \text{ м}^2, \quad (\text{Д.24})$$

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

Д.2.3 Расчет вентилятора

Плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе

$$\rho_{\text{возд}} = p_0 \cdot 10^6 / (R_{\text{в}} T_{\text{ср.возд}}) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 325) = 1,07 \text{ кг/м}^3. \quad (\text{Д.25})$$

Производительность вентилятора

$$G_{\text{возд}} = G_{\text{вод}} / \rho_{\text{возд}} = 2,9 / 1,07 = 2,71 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (\text{Д.26})$$

Фронтальная поверхность радиатора

$$F_{\text{фр.рад}} = G_{\text{возд}} / \omega_{\text{возд}} = 2,71 / 20 = 0,135 \text{ м}^2, \quad (\text{Д.27})$$

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

Диаметр вентилятора

$$D_{\text{вент}} = 2 \sqrt{F_{\text{фр.рад}} / \pi} = 2 \sqrt{0,135 / 3,14} = 0,415 \text{ м}. \quad (\text{Д.28})$$

Окружная скорость вентилятора

$$u = \psi_{\text{л}} \sqrt{\Delta p_{\text{тр}} / \rho_{\text{возд}}} = 3,41 \sqrt{800 / 1,07} = 93,4 \text{ м/с}, \quad (\text{Д.29})$$

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

Частота вращения вентилятора

$$n_{\text{вент}} = 60u / (\pi D_{\text{вент}}) = 60 \cdot 93,4 / (3,14 \cdot 0,415) = 4600 \text{ об/мин.} \quad (\text{Д.30})$$

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

Мощность, затрачиваемая на привод осевого вентилятора,

$$N_{\text{вент}} = G_{\text{возд}} \Delta p_{\text{тр}} / (1000 \eta_{\text{в}}) = 2,71 \cdot 800 / (1000 \cdot 0,38) = 5,7 \text{ кВт}, \quad (\text{Д.31})$$

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

Д.3 Расчет механизма газораспределения

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

Площадь проходного сечения при максимальном подъеме

$$F_{\text{кл}} = v_{\text{н.ср}} F_{\text{н}} / \omega_{\text{вн}} = 17,9 \cdot 54,5 / 140 = 5,85 \text{ см}^2 \quad (\text{Д.32})$$

диаметр горловины клапана

$$d_{\text{гор}} = \sqrt{4F_{\text{гор}} / \pi} = \sqrt{4 \cdot 11,026 / 3,14} = 3,75 \text{ см}, \quad (\text{6.33})$$

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

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

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

Максимальная высота подъема клапана при угле фаски клапана $\alpha=45^0$.

$$h_{кл\max} = \sqrt{4,93d_{зоп}^2 + 4,44F_{кл} / 2,22 - d_{зоп}} = \quad (Д.35)$$

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

Д.3.2 Основные размеры впускного кулачка

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

Д.3.3 Профилирование безударного кулачка с плоским толкателем

Протяженность участка сбег

$$\Phi_0 = \frac{\pi^2 \Delta s}{2 \cdot 180 \omega_{ток}} = \frac{3,14 \cdot 0,2}{2 \cdot 180 \cdot 0,02} = 0,27416 \text{ рад} = 15^0 42', \quad (Д.35)$$

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

Протяженность других участков ускорения толкателя:

$$\Phi_1=24^0; \Phi_2=5^0 7'; \Phi_3=42^0 23'.$$

Перемещение толкателя задается полиномом

$$h_T = h_{T\max} \left[1 + C_2 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^2 + C_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^p + C_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^q + C_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^r + C_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^s \right]. \quad (Д.36)$$

В соответствии с этим определяют его скорость и ускорение:

$$V_T = h_{T \max} \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right) \left[2C_2 \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right) + pC_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{p-1} + qC_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{q-1} + rC_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{r-1} + sC_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{s-1} \right] \cdot 10^{-3} \quad (\text{Д.37})$$

$$j_T = h_{T \max} \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right) \left[2C_2 + p(p-1)C_p \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{p-2} + q(q-1)C_q \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{q-2} + r(r-1)C_r \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{r-2} + s(s-1)C_s \left(\frac{\varphi_k}{\varphi_{p0}} \right)^{s-2} \right] \cdot 10^{-3} \quad (\text{Д.38})$$

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

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

$$C_2 = -\frac{pqrs}{(p-2)(q-2)(r-2)(s-2)}; \quad C_2 = \frac{2qrs}{(p-2)(q-p)(r-p)(s-p)}; \quad (\text{Д.39})$$

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

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

Радиус кривизны профиля кулачка при плоском толкателе.

$$\rho = r_k - h_T + j_T \quad (\text{Д.40})$$

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

$$\rho_l = 1/\rho \quad (\text{Д.39})$$

Данные расчета представлены в таблице 6.1.

Таблица Д.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_1	φ^0 , г.п.р.в.	h_T , мм	V_T , м/с	j_T , м/с ²	ρ	ρ_1
-72	0,0000	0,0000	0,0000	19,8000	0,0505	-2	10,5415	0,0039	-0,5658	8,6927	0,1150
-70	0,0003	0,0002	0,1178	19,9175	0,0502	0	10,5547	0,0000	-0,5658	8,6795	0,1152
-66	0,0410	0,0081	1,1026	20,8616	0,0479	4	10,5019	-0,0077	-0,5658	8,7322	0,1145
-62	0,2799	0,0284	1,7249	21,2450	0,0471	8	10,3438	-0,0154	-0,5658	8,8904	0,1125
-60	0,5140	0,0402	1,7071	20,9931	0,0476	10	10,2251	-0,0193	-0,5658	9,0090	0,1110
-58	0,8270	0,0513	1,5285	20,5016	0,0488	12	10,0801	-0,0232	-0,5658	9,1541	0,1092
-56	1,2108	0,0608	1,2569	19,8461	0,0504	14	9,9087	-0,0270	-0,5658	9,3255	0,1072
-54	1,6531	0,0684	0,9499	19,0968	0,0524	16	9,7110	-0,0309	-0,5657	9,5233	0,1050
-52	2,1397	0,0738	0,6482	18,3085	0,0546	20	9,2365	-0,0386	-0,5651	9,9984	0,1000
-50	2,6565	0,0773	0,3759	17,5194	0,0571	22	8,9597	-0,0425	-0,5643	10,2760	0,0973
-48	3,1911	0,0791	0,1444	16,7533	0,0597	24	8,6566	-0,0463	-0,5627	10,5806	0,0945
-46	3,7325	0,0794	-0,0437	16,0238	0,0624	26	8,3274	-0,0502	-0,5600	10,9127	0,0916
-44	4,2721	0,0786	-0,1910	15,3369	0,0652	28	7,9720	-0,0540	-0,5552	11,2728	0,0887
-42	4,8029	0,0768	-0,3030	14,6941	0,0681	30	7,5908	-0,0577	-0,5474	11,6618	0,0857
-40	5,3197	0,0745	-0,3857	14,0946	0,0709	32	7,1841	-0,0614	-0,5350	12,0809	0,0828
-38	5,8186	0,0716	-0,4453	13,5361	0,0739	34	6,7525	-0,0650	-0,5158	12,5317	0,0798
-36	6,2969	0,0684	-0,4872	13,0160	0,0768	36	6,2969	-0,0684	-0,4872	13,0160	0,0768
-34	6,7525	0,0650	-0,5158	12,5317	0,0798	38	5,8186	-0,0716	-0,4453	13,5361	0,0739
-32	7,1841	0,0614	-0,5350	12,0809	0,0828	40	5,3197	-0,0745	-0,3857	14,0946	0,0709
-30	7,5908	0,0577	-0,5474	11,6618	0,0857	42	4,8029	-0,0768	-0,3030	14,6941	0,0681
-28	7,9720	0,0540	-0,5552	11,2728	0,0887	44	4,2721	-0,0786	-0,1910	15,3369	0,0652
-26	8,3274	0,0502	-0,5600	10,9127	0,0916	46	3,7325	-0,0794	-0,0437	16,0238	0,0624
-24	8,6566	0,0463	-0,5627	10,5806	0,0945	48	3,1911	-0,0791	0,1444	16,7533	0,0597
-22	8,9597	0,0425	-0,5643	10,2760	0,0973	50	2,6565	-0,0773	0,3759	17,5194	0,0571
-20	9,2365	0,0386	-0,5651	9,9984	0,1000	52	2,1397	-0,0738	0,6482	18,3085	0,0546
-16	9,7110	0,0309	-0,5657	9,5233	0,1050	56	1,2108	-0,0608	1,2569	19,8461	0,0504
-14	9,9087	0,0270	-0,5658	9,3255	0,1072	58	0,8270	-0,0513	1,5285	20,5016	0,0488
-12	10,0801	0,0232	-0,5658	9,1541	0,1092	60	0,5140	-0,0402	1,7071	20,9931	0,0476
-10	10,2251	0,0193	-0,5658	9,0090	0,1110	62	0,2799	-0,0284	1,7249	21,2450	0,0471
-8	10,3438	0,0154	-0,5658	8,8904	0,1125	66	0,0410	-0,0081	1,1026	20,8616	0,0479
-6	10,4360	0,0116	-0,5658	8,7981	0,1137	70	0,0003	-0,0002	0,1178	19,9175	0,0502
-4	10,5019	0,0077	-0,5658	8,7322	0,1145	72	0,0000	0,0000	0,0000	19,8000	0,0505

Д.3.4 Время сечения клапана

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

$$M_{h_{\text{кл}}} = h_{\text{кл max}} M_{h_m} / h_{m \text{ max}} = 0,1 \text{ мм/мм.} \quad (\text{Д.40})$$

Время – сечения клапана

$$\int_{t_1}^{t_2} F_{\text{кл}} dt = M_i M_F F_{abcd} \quad (\text{Д.41})$$

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

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

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

(Д.42)

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

Средняя площадь проходного сечения клапана.

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

(Д.43)

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

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

Средняя скорость потока смеси в седле клапана:

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

(Д.44)

Полное время-сечение клапана

$$\int_{t_{ин}}^{t_x} F_{кл} dt = M_t M_F F_{вн} = 5,952 \cdot 7,6 \cdot 5648 = 2,7 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}.$$

(Д.45)

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

Д.3.5 Расчет пружины клапана

Максимальная сила упругости пружин

$$P_{прmax} = K M_{кл} \cdot r_k \cdot \omega_p^2 / l_m = 309 \text{ Н}$$

(Д.45)

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

Минимальная сила упругости пружины

$$P_{прmin} = K M_{кл} \cdot \omega_p^2 / l_m = 156 \text{ Н}$$

(Д.46)

Жесткость пружины

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

(Д.47)

Деформация пружины предварительная

$$f_{min}=1,14r_0-r_0=2,8 \text{ мм} \quad (\text{Д.48})$$

полная

$$f_{max}=f_{min}+h_{клmax}=13,35 \text{ мм.} \quad (\text{Д.49})$$

Размеры пружины (приняты по конструктивным соображениям): диаметр проволоки $\delta_{пр}=3,6$ мм; диаметр пружины $D_{пр}=25,7$ мм.

Число рабочих витков пружины

$$i_p = \frac{G_2 \cdot \delta_{пр} \cdot f_{max} \cdot 10^{-2}}{8 \cdot P_{прmax} \cdot 10^{-6} \cdot D_{пр}^3} = 4,8 \quad (\text{Д.50})$$

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

Полное число витков

$$i_n=i_p+2=4,8+2=6,8 \quad (\text{Д.51})$$

Шаг витка

$$t= \delta_{пр}+(f_{max}/i_p)+\Delta_{min}=6,71 \text{ мм.} \quad (\text{Д.52})$$

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

Длина пружины при полностью открытом клапане

$$L_{min}=i_n \cdot \delta_{пр}+i_p \cdot \Delta_{min}=25,73 \text{ мм.} \quad (\text{Д.53})$$

Длина пружины при полностью закрытом клапане

$$L_0= L_{min}+ h_{клmax}=25,73+10,6=36,29 \text{ мм.} \quad (\text{Д.54})$$

Длина свободной пружины

$$L_{св}= L_{min}+ f_{max}=25,73+13,35=39,09 \text{ мм.} \quad (\text{Д.55})$$

Максимальные и минимальные напряжения в пружине

$$\begin{aligned} \tau_{max} &:= k'_B \cdot \frac{8 \cdot P_{прmax} \cdot D_{пр}}{\pi \cdot \delta_{пр}^3} & \tau_{max} &= 536 \text{ МПа} \\ \tau_{min} &:= k'_B \cdot \frac{8 \cdot P_{прmin} \cdot D_{пр}}{\pi \cdot \delta_{пр}^3} & \tau_{min} &= 271 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (\text{Д.56})$$

где $k'_B=1,235$.

Средние напряжения и амплитуды напряжений

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

$$\tau_a := \frac{|\tau_{\max} - \tau_{\min}|}{2} \quad \tau_a = 132.6 \text{ МПа} \quad (\text{Д.57})$$

Так как концентрация напряжений в витках пружины учитывается коэффициентом k_t , а $k_t/(\epsilon_m \epsilon_{pl}) \approx 1$, то

$$\tau_{ак} := \tau_a \cdot A \quad \tau_{ак} = 132.6 \text{ МПа} \quad (\text{Д.58})$$

Запас прочности пружины

$$n_\tau := \frac{\tau_1}{|\tau_{ак} + \alpha_\tau \cdot \tau_m|} \quad n_\tau = 1.64 \quad (\text{Д.59})$$

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

6.3.6 Расчет распределительного вала

Максимальная сила от выпускного клапана, действующая на кулачок:

$$P_{т.маx} := \left[P_{прмаx} + \frac{\pi \cdot d_B^2 \cdot |p_\Gamma - p_0|}{4} \right] + M_T \cdot \omega_K^2 \cdot r_K \cdot 10^{-5} \quad P_{т.маx} = 2846 \text{ Н} \quad (\text{Д.60})$$

$$M_T := \left(m_{кл} + \frac{m_{пр}}{3} \right) + m_{тол} \quad M_T = 130 \text{ г} \quad (\text{Д.61})$$

Стрела прогиба распределительного вала

$$y := 0.8 \cdot \frac{P_{т.маx} \cdot a^2 \cdot b^2}{E \cdot l \cdot (d_p^4 - \delta_p^4)} \quad y = 0.00155 \text{ мм} \quad (\text{Д.62})$$

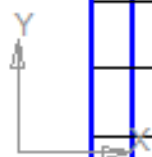
где $E=2,2 \cdot 10^5$ Мпа – модуль упругости стали.

Напряжение смятия

$$\sigma_{см} := 0.418 \cdot \sqrt{P_{т.маx} \cdot \frac{E}{b_k \cdot r_0}} \quad \sigma_{см} = 410 \text{ МПа} \quad (\text{Д.63})$$

где $b_k=14,8$ мм – ширина кулачка.

Форм.	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
				<u>Документация</u>			
A4			16.БР.ЭМСУ.016.00.000.ЛЗ	Пояснительная записка	104		
A1			16.БР.ЭМСУ.016.00.000.СБ	Сборочный чертеж	2		
				<u>Сборочные единицы</u>			
	1		16.БР.ЭМСУ.016.01.000	Блок цилиндров	1		
	2		16.БР.ЭМСУ.016.02.000	Вал коленчатый	1		
	3		16.БР.ЭМСУ.016.03.000	Головка цилиндров	1		
	4		16.БР.ЭМСУ.016.04.000	Демпфер крутильных колебаний	1		
	5		16.БР.ЭМСУ.016.05.000	Картер масляный	1		
	6		16.БР.ЭМСУ.016.06.000	Коллектор выпускной	2		
	7		16.БР.ЭМСУ.016.07.000	Колпачок маслоотражательный	12		
	8		16.БР.ЭМСУ.016.08.000	Кольцо маслоъемное	6		
	9		16.БР.ЭМСУ.016.09.000	Маховик	1		
	10		16.БР.ЭМСУ.016.10.000	Насос водяной	1		
	11		16.БР.ЭМСУ.016.11.000	Насос масляный	1		
	12		16.БР.ЭМСУ.016.2.000	Натяжитель ремня автоматический	1		
	13		16.БР.ЭМСУ.016.13.000	Приемник масляного насоса	1		
	14		16.БР.ЭМСУ.016.14.000	Пакладка головки блока	1		
				16.БР.ЭМСУ.016.00.000.СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Исполн	Р.И.					
Проб.	Смоленски						
Н.контр.	Егорев А.Г.						
Этв.	Павлов Д.А.						
Двигатель модернизированный					Литера	Лист	Листов
						1	3
					ТГУ, ЭМСБ-1201		



Форм.	Зона	№з.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		31	16.БР.ЭМисУ.016.00.031	Кольцо компрессионное верхнее	6	
		32	16.БР.ЭМисУ.016.00.032	Кольцо компрессионное нижнее	6	
		33	16.БР.ЭМисУ.016.00.033	Кольцо стопорное	12	
		34	16.БР.ЭМисУ.016.00.034	Крышка головки цилиндров	2	
		35	16.БР.ЭМисУ.016.00.035	Крышка защитная задняя	1	
		36	16.БР.ЭМисУ.016.00.036	Крышка защитная передняя	1	
		37	16.БР.ЭМисУ.016.00.037	Муфта опоры ресивера	4	
		38	16.БР.ЭМисУ.016.00.038	Палец поршневой	6	
		39	16.БР.ЭМисУ.016.00.039	Полукольцо упорного подшипника	1	
		40	16.БР.ЭМисУ.016.00.040	Полукольцо упорного подшипника	1	
		41	16.БР.ЭМисУ.016.00.041	Поршень	6	
		42	16.БР.ЭМисУ.016.00.042	Пружина клапана	24	
		43	16.БР.ЭМисУ.016.00.043	Ремень зубчатый	1	
		44	16.БР.ЭМисУ.016.00.044	Сухарь клапана	48	
		45	16.БР.ЭМисУ.016.00.045	Тарелка пружины	24	
		46	16.БР.ЭМисУ.016.00.046	Труба впускная	1	
		47	16.БР.ЭМисУ.016.00.047	Шкив зубчатый впускного распределительного вала	2	
		48	16.БР.ЭМисУ.016.00.048	Шкив зубчатый водяного насоса	1	
		49	16.БР.ЭМисУ.016.00.049	Шкив зубчатый коленчатого вала	1	
		50	16.БР.ЭМисУ.016.00.050	Штуцер крепления фильтра	1	
16.БР.ЭМисУ.016.00.000						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	3	