

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 Горбунков Андрей Александрович

1. Тема проекта Автомобильный V-образный двигатель для спортивного автомобиля

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

3. Исходные данные к проекту четырёхтактный V-образный поршневой двигатель с искровым зажиганием для спортивного автомобиля, рабочий объем $V_h = 1.2$ л, с номинальной частотой вращения $n_e = 11500$ мин⁻¹

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

Введение;

Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием;

Тепловой расчет двигателя;

Расчет кинематики и динамики двигателя;

Расчет основных деталей двигателя;

Расчет механизмов и систем двигателя;

Описание конструкции спроектированного двигателя.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала:

Продольный и поперечный разрез двигателя - 3 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;

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

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

Руководитель бакалаврской работы _____

(подпись)

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

А.А. Горбунков

(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 Горбунков Андрей Александрович
 по теме Автомобильный V-образный двигатель для спортивного
автомобиля

№ 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.	90%		
6	Оформление и доработка пояснительной записки и листов графической части с учетом замечаний, полученных во время предварительной защиты	Сброшюрованная записка и подписанные чертежи	14 июня 2016 г.	100%		

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

АННОТАЦИЯ

Целью работы является расчетный анализ и проектирование четырехтактного V-образного поршневого двигателя с искровым зажиганием для спортивного автомобиля, с рабочим объемом $V_h = 1.2$ л при номинальной частоте вращения коленчатого $n=11500$ мин⁻¹ на базе двигателя Honda PC35-E от мотоцикла Honda CBR600F4.

В процессе работы проведен тепловой, кинематический и динамический расчеты для работы двигателя на номинальной частоте вращения коленчатого вала $n=11500$ мин⁻¹. Выполнен тепловой расчет по методике Вибе. Выполнен расчет систем двигателя, определены основные параметры двигателя, построена внешняя скоростная характеристика.

В результате работы разработана конструкция двигателя с номинальной мощностью $N_e = 146,47$ кВт (при $n=11500$ мин⁻¹) и максимальным крутящим моментом $M_e = 122,00$ Н·м (при $n=10000$ мин⁻¹) при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=0,96$.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием	9
1.1 Воздействие на рабочий процесс	9
1.2 Увеличение частоты вращения коленчатого вала	12
2 Тепловой расчет двигателя и тепловой баланс двигателя.....	14
2.1 Выбор скоростных режимов и исходных параметров для теплового расчета	14
2.2 Выбор рабочего тела и его параметры	14
2.3 Расчет процесса впуска и газообмена.....	16
2.4 Расчет процесса впуска.....	19
2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси.....	20
2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания.....	21
2.7 Расчет процессов расширения и выпуска.....	24
2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла.....	26
2.9 Расчет эффективных показатели двигателя.....	27
2.10 Расчет основных параметров цилиндра и двигателя.....	28
2.11 Расчет внешнего теплового баланса.....	29
3 Расчет кинематики и динамики двигателя	30
3.1 Кинематический расчёт кривошипно-шатунного механизма.....	30
3.2 Динамический расчёт кривошипно-шатунного механизма.....	31
3.2.1 Силы давления газов.....	31
3.2.2 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма	31
3.2.3 Удельные и полные силы инерции	32
3.2.4 Удельные суммарные силы	32
3.2.5 Крутящие моменты	34

3.2.6	Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала..	35
3.2.7	Силы, действующие на колено вала	36
3.2.8	Силы, действующие на коренные шейки	36
4	Расчет поршневой группы	38
4.1	Расчет поршня.....	38
4.2	Расчёт поршневого кольца.....	40
4.3	Расчет поршневого пальца.....	41
5	Расчет системы двигателя.....	44
5.1	Расчет системы смазки	44
5.2	Расчет системы охлаждения.....	45
5.2.1	Расчёт водяного насоса.....	45
5.2.2	Расчёт водяного радиатора.....	47
5.2.3	Расчёт вентилятора.....	48
6	Описание конструкции спроектированного двигателя.....	50
	Заключение	54
	Список использованных источников.....	55
	Приложение А - Результаты теплового расчета.....	58
	Приложение Б - Результаты кинематического расчета.....	69
	Приложение В - Результаты динамического расчета.....	71
	Приложение Г - результаты расчетов сил действующих в КШМ.....	77
	Приложение Д – Спецификация сборочного чертежа.....	87

ВВЕДЕНИЕ

Повышение мощностных показателей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) остается наиболее актуальной проблемой современного двигателестроения. Одним из наиболее простых способов повышения мощности, это увеличение рабочего объема двигателя. Но при этом, требования мирового автомобилестроения ограничивают габариты автомобильного двигателя, что заставляет искать другие пути повышения мощности без значительного увеличения рабочего объема, и, следовательно, габаритов двигателя.

Основными направлениями повышения мощности ДВС без увеличения рабочего объема цилиндров, являются, во-первых, повышение плотности заряда на впуске, обеспечиваемым применением различных типов наддува, а во-вторых, увеличением скоростного режима работы двигателя. При этом основным недостатком применения наддува является значительное удорожание стоимости двигателя, так как стоимость автомобильного компрессора сопоставима со стоимостью двигателя. Недостатком же увеличения частоты вращения коленчатого вала, является повышение механических потерь на трение и в следствии повышенный износ блока цилиндров и деталей кривошипно-шатунного механизма.

1 Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием

1.1 Воздействие на рабочий процесс

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°ПКВ уменьшает теоретически возможную мощность с 1.3% до 4.4% соответственно, что численно показывает эффективность сокращения продолжительности процесса сгорания ТВС.

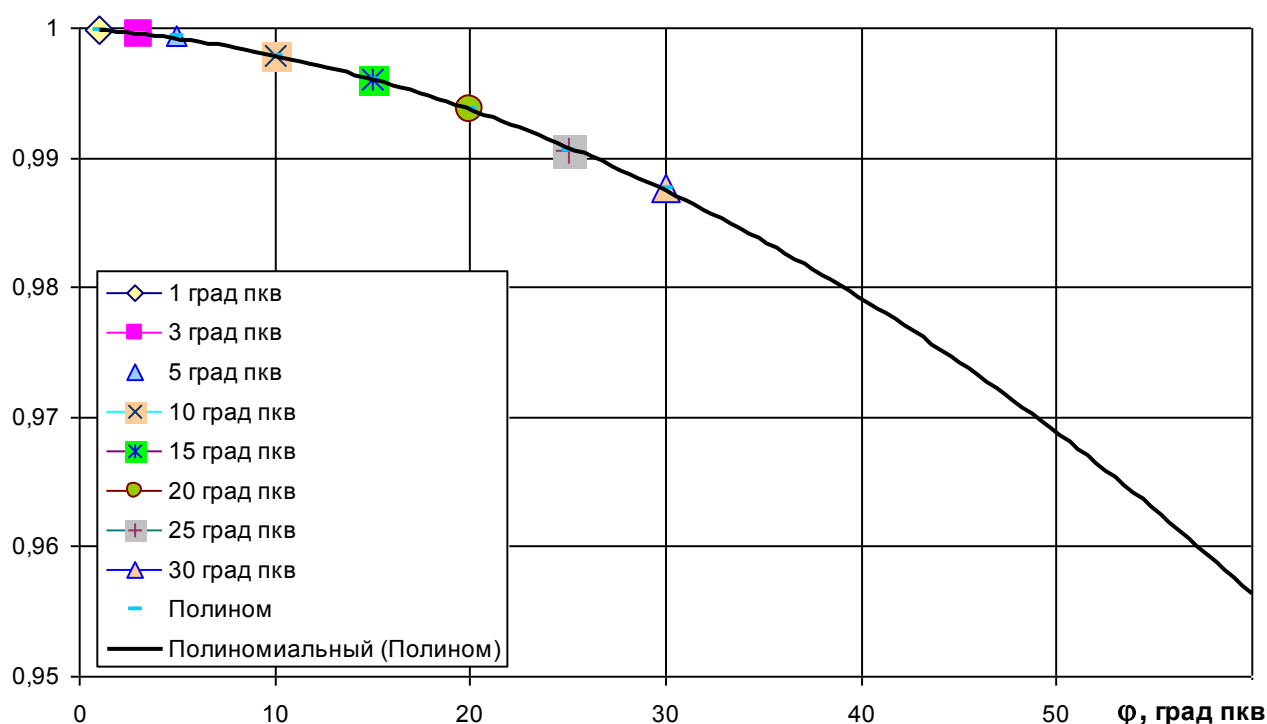


Рисунок 1.1 – Изменение эффективности сгорания ТВС в зависимости от продолжительности сгорания.

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 (промоторов) 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 определяют продолжительность воспламенения ТВС и скорость распространения пламени в основной фазе сгорания. Так на рисунке 1.2 приведена схема распространения турбулентного фронта 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].

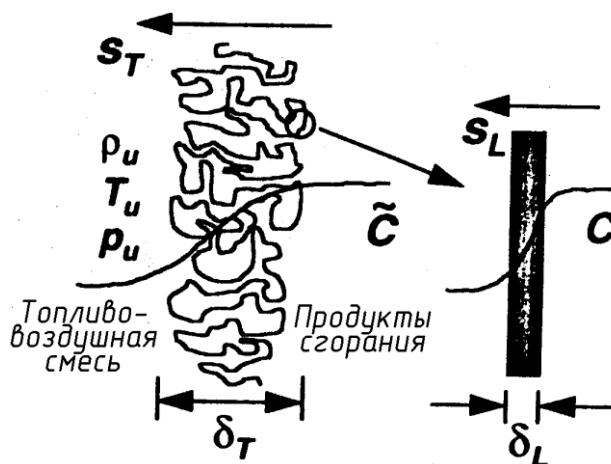


Рисунок 1.2 – Фронт турбулентного пламени.

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.

1.2 Увеличение частоты вращения коленчатого вала

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 равное $P_e = P_{iT} - P_M$, 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 и тепловой баланс двигателя

2.1 Выбор скоростных режимов и исходных параметров для теплового расчета

Тепловой расчет проведен для следующих скоростных режимов:

- $n_{min}=900$ мин⁻¹, обеспечивающий устойчивую работу двигателя;
- $n_M=5000$ мин⁻¹;
- $n_M=9500$ мин⁻¹; режим максимального крутящего момента;
- $n_N=11500$ мин⁻¹; режим максимальной мощности;
- $n_{max}=13000$ мин⁻¹; режим максимальной скорости движения автомобиля.

Тепловой расчет проведен для двух различных коэффициентов избытка воздуха α : $\alpha=0,86$ – для режима минимальной частоты вращения и $\alpha=0,96$ – для всех других режимов работы двигателя

2.2 Выбор рабочего тела и его параметры

В соответствии с заданной степенью сжатия и руководствуясь рекомендациями принят бензин марки Премиум-95, с массовой долей углерода C и водорода H определяющие элементарный состав топлива 0,855 и 0,145 соответственно.

Низшая теплота сгорания топлива определяется по формуле:

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

где O , S – соответственно массовые доли кислорода и серы, содержащихся в топливе; W – количество водяных паров в продуктах сгорания.

Теоретически необходимое количество воздуха в кмоль и кг для сгорания 1 кг топлива находятся по следующим формулам соответственно:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,5168 \frac{\text{кмоль возд.}}{\text{кг топл.}}, \quad (2.2)$$

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

где 0,23 – массовое содержание кислорода в 1 кг воздуха;

0,208 – объемное содержание кислорода в 1 кмоль воздуха.

Действительное количество горючей смеси M_1 :

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_T} \quad (2.4)$$

где m_T – молекулярная масса паров топлива.

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания жидкого топлива при $\alpha < 1$ определяется по формулам приведенным ниже:

$$M_{CO_2} = C / 12; \quad (2.5)$$

$$M_{H_2O} = H / 2; \quad (2.6)$$

$$M_{CO} = 2 \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 L_0; \quad (2.7)$$

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

$$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0. \quad (2.9)$$

Общее количество продуктов полного сгорания жидкого топлива находится как сумма отдельных компонентов продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{CO} + M_{N_2} + M_{H_2} \quad (2.10)$$

Все числовые значения рассчитываемых параметров приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры рабочего тела.

Параметры	рабочее тело			
	коэффициент избытка воздуха			
	$\alpha=0,89$	$\alpha=0,96$		
n, об/мин	1300	10000	11500	13000
M_1	0.4687	0.5048	0.5048	0.5048
M_{CO_2}	0.0555	0.0655	0.0655	0.0655
M_{CO}	0.0158	0.0057	0.0057	0.0057
M_{H_2O}	0.0646	0.0696	0.0696	0.0696
M_{H_2}	0.00788	0.00287	0.00287	0.00287
M_{N_2}	0.3643	0.393	0.393	0.393
M_2	0.5081	0.5367	0.5367	0.5367

2.3 Расчет процесса впуска и газообмена

При работе двигателя в цилиндр поступает воздух из атмосферы, имеющий следующие параметры:

- давление окружающей среды $p_o=0.1$ МПа;
- температура окружающей среды $T_o=293$ К.

Давление остаточных газов P_r за счет фаз газораспределения и снижения сопротивления при конструктивном оформлении выпускного тракта рассчитываемого двигателя можно получить на номинальном скоростном режиме:

$$p_{rN} = 1.18 \cdot p_o = 1.18 \cdot 0.1 = 0.118 \text{ МПа} \quad (2.11)$$

Принимая во внимание тот факт, что с уменьшением частоты вращения коленчатого вала давление остаточных газов p_r снижается, то на различных скоростных режимах работы двигателя эта величина будет определяться как функция от p_{rN} по следующей формуле:

$$p_r = p_0(1.035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2) \quad (2.12)$$

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

Значения температуры остаточных газов T_r практически линейно возрастает с увеличением скоростного режима при $\alpha = \text{const}$ в данной работе определяется по графику [1] и на номинальном режиме составляет 1035 К.

Величина подогрева ΔT может быть принята $\Delta T_N = 6^\circ \text{C}$.

Изменение величины ΔT в зависимости от скоростного режима двигателя при ориентировочных расчетах может быть определено по формуле:

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

где $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n)$.

Давление в конце впуска p_a – основной фактор, определяющий количество рабочего тела, поступающего в цилиндр двигателя, определяется по следующей формуле:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a, \quad (2.14)$$

где Δp_a – потери давления на впуске, МПа.

Потери давления Δp_a за счет сопротивления впускной системы и затухания скорости движения заряда в цилиндре определяем из уравнения Бернулли:

$$\Delta p_a = \frac{(\beta^2 + \xi_{en}) \omega_{en}^2 \rho_0 \cdot 10^{-6}}{2}, \quad (2.15)$$

где β – коэффициент затухания скорости движения заряда в рассматриваемом сечении цилиндра;

ξ_{en} – коэффициент сопротивления впускной системы, отнесенный к наиболее узкому ее сечению;

ω_{en} – средняя скорость движения заряда в наименьшем сечении впускной системы;

ρ_0 – плотность заряда на впуске.

Плотность заряда на впуске рассчитывается по следующей формуле:

$$\rho_0 = \frac{p_0 \cdot 10^6}{R_B T_0} = 1,189 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.16)$$

где R_B – удельная газовая постоянная для воздуха.

Коэффициент остаточных газов γ_r характеризует качество очистки цилиндра от продуктов сгорания, и для четырехтактных двигателей с учетом продувки и дозорядки цилиндра вычисляется по следующей формуле:

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\phi_{оч} p_r}{\phi_{доз} \varepsilon p_a - \phi_{оч} p_r}, \quad (2.17)$$

где $\phi_{оч}$ – коэффициент очистки;

$\phi_{доз}$ – коэффициент дозорядки.

Температура в конце впуска определяется по формуле полученной из уравнения баланса теплоты, составленного по линии впуска:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}, \quad (2.18)$$

Из уравнения баланса теплоты по линии впуска устанавливается связь коэффициента наполнения с параметрами, характеризующими протекание процесса впуска:

$$\eta_V = T_0 \frac{\varepsilon \cdot p_a - p_r}{(T_0 + \Delta T)(\varepsilon - 1)p_0}, \quad (2.19)$$

где ε – степень сжатия двигателя.

Все числовые значения рассчитываемых параметров приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры процесса впуска.

параметры	Процесс впуска и газообмен			
	коэффициент избытка воздуха			
	$\alpha=0,89$	$\alpha=0,96$		
n	1300	10000	11500	13000
T_r	865	960	960	1010
p_r	0.1036	0.1122	0.115	0.1182
ΔT	16.36	5,82	4	2,18
Δp_a	0,000064	0.00381	0.00504	0.00644
P_a	0.0999	0.0962	0.095	0.0936
$\varphi_{доз}$	0.85	1,17	1,20	1,02
γ_r	0.0405	0.0282	0.0275	0.0326
T_a	330.98	316.95	315.58	317.73
η_V	0.788	1.104	1.123	0.957

2.4 Расчет процесса впуска

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

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

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

Потери давления на впуске.

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

Давление в конце впуска:

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

Коэффициент остаточных газов:

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

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

Температура в конце впуска:

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

Коэффициент наполнения:

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

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

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

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

п, мин ⁻¹	ΔT, °C	Δра, Мпа	ра, Мпа	φоч	φдоз	γг	Та, К	ηv	Va, К
900	24,687	0,006783	0,093217	0,99	0,9	0,036197	347,1114	0,755371	1,0209
2000	21,25	0,010275	0,089725	0,94	0,96	0,033024	341,6072	0,790464	1,04618
3500	16,562	0,013004	0,086996	0,88	1,02	0,029779	335,1675	0,832584	1,058665
5000	11,875	0,0176995	0,0823	0,84	0,97	0,032173	333,8676	0,750205	1,114729
5600	10	0,019425	0,080575	0,8	0,95	0,031019	332,9951	0,722023	1,133133
Двигатель ВАЗ-2112									
900	19,75	0,005779	0,094221	1	0,85	0,043126	344,4703	0,721787	1,000492
2600	15,5	0,010275	0,089725	0,94	0,93	0,036289	338,3532	0,770691	1,033941
3700	12,75	0,013588	0,086412	0,98	1	0,033797	336,4559	0,804532	1,067569
5000	9,5	0,016054	0,083946	0,81	0,95	0,029931	330,4714	0,758778	1,079382
5600	8	0,019425	0,080575	0,77	0,94	0,029751	330,0071	0,721778	1,122965

2.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Значение показателя политропы сжатия 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 ,

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

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

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_1	P_c , МПа	T_c , К	Θ° ПКВ	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
900	1,05060	1,3702	2,33738	828,921	12	0,11026	1,96755	791,23
2000	1,03894	1,3747	2,27389	824,503	14	0,117763	1,80708	774,445
3500	1,03906	1,3728	2,19492	805,363	16	0,124724	1,63906	743,95
5000	1,03897	1,3749	2,08687	806,267	19	0,141498	1,40586	723,92
5600	1,05085	1,3753	2,04513	804,955	24	0,164719	1,14321	686,809
Двигатель ВАЗ-2112								
900	1,060488	1,3705	2,364652	823,3493	15	0,115161	1,823871	767,52
2600	1,050596	1,372	2,259369	811,433	20	0,134725	1,469604	722,15
3700	1,050718	1,3728	2,180028	808,4022	23	0,150917	1,267603	697,78
5000	1,050909	1,3737	2,122703	795,8551	26	0,166039	1,098591	665,27
5600	1,050917	1,3753	2,044748	797,5824	28	0,182916	0,977444	652,08

2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{[H_u - 11995(1 - \alpha)L_o]}{H_u}, \quad (2.26)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

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:

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

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

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

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

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

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

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

$n, \text{мин}^{-1}$	δ	Ψ	ξ	$q_z, \text{Дж/кг}$	$E_2, \text{МПа}$	$\varphi_z, \text{град, ПКВ.}$	m
900	1	0,87	0,87	2311,506	47,544497	28	2
2000	1	0,9	0,9	2291,177	45,990604	36	2.2
3500	1	0,93	0,93	2375,011	47,11143	42	2.4
5000	1	0,95	0,95	2420,459	45,59819	50	2.6
5600	1	0,99	0,99	2643,545	48,99202	54	2.8
Двигатель ВА3-2112							
900	0,9435	0,81	0,764277	2095,696	43,98798	40	3.1
2600	1	0,86	0,86	2284,733	46,40438	48	3.2
3700	1	0,96	0,96	2556,549	50,28953	55	3.3
5000	1	0,97	0,97	2592,875	50,44589	58	3.4
5600	1	0,99	0,99	2646,799	49,49647	62	3.5

Расчёт текущих параметров процесса сгорания проводится с определённым шагом – 1^0 ПКВ и приведен в Приложении А и на плакате теплового расчета.

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 в процессе расширения находят по следующим формулам:

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

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

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

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

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

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100(T_r - T_r')}{T_r} \quad \% \quad (2.52)$$

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

п, мин ⁻¹	V _z , м ³	T _z , К	P _z , МПа	δ	n ₂	P _b , МПа	T _b , К	T _r , К	Δ, %
900	0,120284	3019,243	7,230007	8,48804	1,177	0,58329	2067,555	1163,224	0,2779
2000	0,143871	2907,209	5,768566	7,27169	1,1796	0,55548	2035,725	1169,602	-0,034
3500	0,162852	2889,058	5,06501	6,50078	1,1795	0,55682	2064,706	1199,442	0,3717
5000	0,197929	2831,083	4,08341	5,63196	1,1804	0,53085	2072,834	1245,126	0,8199
5600	0,195495	3009,4	4,435073	5,79622	1,17476	0,56284	2213,654	1315,048	1,157
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

2.8 Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций:

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

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

2.8 Расчет эффективных показатели двигателя

Среднее давление p_M , приближенно можно определить по линейным зависимостям от средней скорости поршня $v_{n.c.p.}$ по следующей формуле:

$$p_M = 0,024 + 0,0053v_{n.c.p.} \quad (2.41)$$

Среднее эффективное давление p_e :

$$p_e = p_i - p_M; \quad (2.42)$$

Механический КПД двигателя η_M и определяется по формуле:

$$\eta_M = p_e / p_i \quad (2.43)$$

Эффективный КПД η_e и эффективный удельный расход топлива g_e определяются по следующим формулам:

$$\eta_e = \eta_i \eta_M \quad (2.44)$$

$$g_e = 3600 / (H_u \eta_e) \quad (2.45)$$

Все числовые значения рассчитываемых параметров приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Индикаторные и эффективные показатели двигателя.

Параметры	Индикаторные и эффективные показатели двигателя			
	Коэффициент избытка воздуха			
	$\alpha=0,89$	$\alpha=0,96$		
n	1300	10000	11500	13000
p_i	1,272	1,533	1,543	1,384
p_M	1,234	1,487	1,497	1,342
η_i	0,399	0,370	0,366	0,386
g_i	205,450	221,310	223,710	212,570
$v_{n.c.p.}$	1,842	14,167	16,292	18,417
p_M	0,055	0,194	0,218	0,242
p_e	1,179	1,293	1,279	1,100
η_M	0,960	0,870	0,850	0,820
η_e	0,381	0,322	0,313	0,316
g_e	239,000	242,530	251,860	263,340

2.9 Расчет основных параметров цилиндра и двигателя

Рабочий объем одного цилиндра находим по следующей формуле:

$$V_h = \frac{V_{л}}{i} \quad (2.46)$$

По известным значениям диаметра $D=67$ мм и хода поршня $S=42,5$ мм определяем основные параметры и показатели двигателя по следующим формулам:

- площадь поршня:

$$F_{п} = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 100} \quad (2.47)$$

- мощность двигателя:

$$N_e = \frac{p_e V_{л} n}{30\tau} \quad (2.48)$$

- крутящий момент:

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n} \quad (2.49)$$

- часовой расход топлива:

$$G_T = N_e g_e \cdot 10^{-3} \quad (2.50)$$

Все числовые значения рассчитываемых параметров приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Основные параметры и показатели двигателя.

Параметры	Основные параметры и показатели двигателя			
	Коэффициент избытка воздуха			
	$\alpha=0,89$	$\alpha=0,96$		
n	1300	10000	11500	13000
F_n	35,300			
$V_{л}$	0,599			
N_e	15,230	129,160	146,940	142,900
M_e	112, 50	123,340	122,000	104,980
G_m	3,300	32,880	38,480	37,060

По данным таблиц 2.6 и 2.7 строим внешнюю скоростную характеристику двигателя, которая приведена на плакатах диаграмм.

2.10 Расчет внешнего теплового баланса

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом: [1]

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (2.65)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (2.66)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{ciD^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (2.67)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_o; \quad (2.68)$$

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) \left\{ M_2 \left[(mc_V^H)_{t_o}^r + 8.315 \right]_{t_r} - M_1 \left[(mc_V^H)_{t_o}^{20} + 8.315 \right]_{t_o} \right\}, \quad (2.69)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_o \quad (2.70)$$

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_{н.с} = \Delta H_U * G_T / 3,6 \quad (2.71)$$

$$q_{н.с.} = Q_{н.с.} * 100 / Q_o \quad (2.72)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_o - (Q_e + Q_B + Q_r + Q_{н.с.}), \quad (2.73)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_o \quad (2.74)$$

Результаты расчетов тепловой баланс двигателя сводим в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 - Тепловой баланс разрабатываемого двигателя

Составляющие теплового баланса	Частота вращения двигателя, мин							
	Режим работы на обогащенной смеси $\alpha=0,96$							
	1300		10000		11500		13000	
	Q, Дж/с	q,%	Q, Дж/с	q,%	Q, Дж/с	q,%	Q, Дж/с	q,%
Qe	7657,7	38,1	64583,3	32,2	73465,5	31,3	71451,1	31,6
QB	5318,7	26,47	47913	23,89	52323,1	22,29	56524,7	25
Qr	4420,8	22	55311,3	27,57	67369,7	28,7	66579,1	29,44
Qнс	3118,7	15,52	11323,2	5,64	13251	5,64	12764	5,64
Qост	-425,2	-2,12	21463,9	10,7	28337	12,07	18801,3	8,31
Qo	20090,6	100	200594,7	100	234746,3	100	226120,2	100

3 Кинематический и динамический расчёт

3.1 Кинематический расчёт кривошипно-шатунного механизма

В целях уменьшения высоты двигателя величина отношения радиуса кривошипа к длине шатуна предварительно была принята в тепловом расчёте $\lambda = 0,193$.

Перемещение поршня рассчитывается как:

$$S_x = R \left((1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right) = 42,5 \left((1 - \cos \varphi) + \frac{0,193}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right), \text{ мм.} \quad (3.1)$$

Расчёт S_x будем производить аналитически через каждые 10° угла поворота коленчатого вала.

Угловая скорость вращения коленчатого вала определяется по формуле:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 11500}{30} = 1203,7 \text{ , с}^{-1}. \quad (3.2)$$

Скорость поршня рассчитываются по формуле:

$$V_i = \omega R \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) = 1203,7 \cdot 0,0425 \left(\sin \varphi + \frac{0,193}{2} \sin 2\varphi \right) \text{ , м/с.} \quad (3.3)$$

Ускорение поршня определяется как:

$$j = \omega^2 R (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi) = 1203,7^2 \cdot 0,0425 (\cos \varphi + 0,193 \cos 2\varphi) \text{ , м/с}^2. \quad (3.4)$$

Расчётные значения S_x , $V_{\text{п}}$ и j приведены в таблице Б1.

По данным таблицы Б1 строим графики S_x , $V_{\text{п}}$ и j , которые приведены на плакатах диаграмм.

3.2 Динамический расчёт кривошипно-шатунного механизма

3.2.1 Силы давления газов

По индикаторной диаграмме в р-φ координатах через каждые 10° угла поворота кривошипа определяем значения $\Delta p_r = p_r - 0,1$ и заносим в сводную таблицу В1.

3.2.2 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

Массы частей кривошипно-шатунного механизма принимаем в соответствии с таблицей конструктивных масс[7]:

Масса поршневой группы (для поршня из алюминиевого сплава принято $m'_п = 80 \text{ кг/м}^2$):

$$m_п = m'_п \cdot F_п = 80 \cdot 0,003526 = 0,282 \text{ кг}; \quad (3.5)$$

Масса шатуна (для стального кованого шатуна принято $m'_ш = 100 \text{ кг/м}^2$):

$$m_ш = m'_ш \cdot F_п = 100 \cdot 0,003526 = 0,353 \text{ кг}; \quad (3.6)$$

Масса неуравновешенных частей одного колена вала без противовесов (для литого чугуна принято $m'_к = 150 \text{ кг/м}^2$):

$$m_к = m'_к \cdot F_п = 150 \cdot 0,003526 = 0,529 \text{ кг}; \quad (3.7)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 m_ш = 0,275 \cdot 0,353 = 0,097 \text{ кг}. \quad (3.8)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725m_{ш} = 0,725 \cdot 0,353 = 0,256 \text{ кг.} \quad (3.9)$$

Массы, совершающие возвратно- поступательное движение:

$$m_j = m_{п} + m_{ш.п} = 0,282 + 0,097 = 0,379 \text{ кг.} \quad (3.10)$$

Массы, совершающие вращательное движение:

$$m_R = m_{к} + m_{ш.к} = 0,529 + 0,256 = 0,785 \text{ кг.} \quad (3.11)$$

3.2.3 Удельные и полные силы инерции

Из таблицы Б.1 переносим значения ускорения поршня j в таблицу В.1 и определяем значения удельной силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс:

$$P_j = -j \cdot m_j = -j \cdot 0,379 \cdot 10^{-6}, \text{ МПа} \quad (3.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс:

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2 = -0,785 \cdot 0,02125 \cdot 1203,7^2 \cdot 10^{-3} = -24,169 \text{ кН.} \quad (3.13)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна:

$$K_{Ru} = -m_{ш.к} \cdot R \cdot \omega^2 = -0,097 \cdot 0,02125 \cdot 1203,7^2 \cdot 10^{-3} = -2,986 \text{ кН.} \quad (3.14)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_{Rk} = -m_{к} \cdot R \cdot \omega^2 = -0,793 \cdot 0,02125 \cdot 1203,7^2 \cdot 10^{-3} = -24,416 \text{ кН.} \quad (3.15)$$

3.2.4 Удельные суммарные силы

Удельная сила (МПа), сосредоточенная на оси поршневого пальца: $p = \Delta p_r + p_j$.

Удельная нормальная сила (МПа):

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

Значения $\operatorname{tg} \beta$ определяем для $\lambda = 0,193$ по таблице приведенной в [7].

Удельная сила (МПа), действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta). \quad (3.17)$$

Удельная сила (МПа), действующая по радиусу кривошипа:

$$p_k = p \cdot \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta. \quad (3.18)$$

Удельная и полная тангенциальные силы (МПа и кН):

$$p_T = p \cdot \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ и } T = p_T \cdot F_{\Pi} \quad (3.19)$$

По данным таблицы В.1 строим графики изменения удельных сил p_s , p_N , p_k , и p_T в зависимости от угла поворота коленчатого вала. Данные графики приведены на плакатах диаграмм.

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

-по данным теплового расчета:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \cdot \tau} \cdot p_i \cdot F_n = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,424 \cdot 0,003526 = 799,5 \text{ Н}; \quad (3.20)$$

-по площади, заключенной между кривой p_T и осью абсцисс:

$$p_{T_{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{72} \left(\frac{p_{Ti} + p_{Ti+1}}{2} \right) \cdot 10^6}{720^\circ} = 0,231 \text{ МПа}; \quad (3.21)$$

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} \cdot F_n = 0,231 \cdot 0,003526 \cdot 10^6 = 815,85 \text{ Н}. \quad (3.22)$$

Ошибка $\Delta = (815,85 - 799,5) \cdot 100 / 815,85 = 2\%$.

3.2.5 Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра:

$$M_{кр.ц} = T \cdot R = T \cdot 0,02125 \cdot 10^3 \text{ Н·м}. \quad (3.23)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с равными интервалами между вспышками:

$$\Theta = 720/i = 720/4 = 180^\circ. \quad (3.24)$$

Суммирование значений крутящих моментов всех четырех цилиндров двигателя осуществим табличным методом (таблица В.2) через каждые 10° угла поворота коленчатого вала и по полученным данным построим кривую $M_{кр}$ (Нм), которая приведена на рисунке В.5 приложения Б.

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета:

$$M_{кр.ц} = M_i = \frac{M_e}{\eta_M} = \frac{64,62}{1,294} = 49,94 \text{ Нм}; \quad (3.25)$$

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

$$M_{кр.ср} = \frac{\sum_{i=1}^{72} \left(\frac{M_{кр.i} + M_{кр.i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{360^\circ} = 47,61 \text{ Нм.} \quad (3.26)$$

$$\Delta = \frac{49,94 - 47,61}{49,94} \cdot 100\% = 4,5\%$$

Ошибка .

Максимальный и минимальный крутящие моменты:

$$M_{кр.маx} = 148 \text{ Нм}; \quad M_{кр.миn} = -149 \text{ Нм.}$$

3.2.6 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала

Для проведения расчета результирующей силы, действующей на шатунную шейку рядного двигателя, составляем таблицу Г.1, в которую из таблицы В.1 переносим значения силы T .

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_K = K + K_{R_{ш}} = (K - 7,011) \text{ кН,} \quad (3.27)$$

где $K = p_k \cdot F_n = p_k \cdot 0,005281 \cdot 10^3 \text{ кН}$

Результирующую силу $R_{ш.ш}$, действующую на шатунную шейку, подсчитываем графическим сложением векторов сил T и p_k .

По развернутой диаграмме $R_{ш.ш}$ определяем как:

$$R_{ш.ш.ср} = \frac{\sum_{i=1}^{72} \left(\frac{R_{ш.ш.i} + R_{ш.ш.i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{720^\circ} = 246,65 \text{ кН.} \quad (3.28)$$

По полярной диаграмме строим диаграмму износа шатунной шейки, которая приведена на рисунке Г.1. Сумму сил $R_{ш.шi}$, действующих по каждому лучу диаграммы износа (от 1 до 12), определяем с помощью таблицы Г.2.

По диаграмме износа определяем расположение оси масляного отверстия
 $-\varphi_M = 60^\circ$.

3.2.7 Силы, действующие на колено вала

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{PK} = P_K + K_{RK} = (P_K - 9,009) \text{ кН.} \quad (3.29)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала:

$$R_K = \sqrt{R_{ш.ш}^2 + K_{PK}^2}. \quad (3.30)$$

3.2.8 Силы, действующие на коренные шейки

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1} \text{ (таблица Г.3, графы 1 и 4).}$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (3.31)$$

где $T_{к2} = -0,5(T_1 + T_2 \cdot \cos \gamma_{к(1-2)} - K_{рк2} \cdot \sin \gamma_{к(1-2)}) = -0,5(T_1 - T_2);$

$$K_{к2} = -0,5(K_{рк1} + T_2 \cdot \sin \gamma_{к(1-2)} - K_{рк2} \cdot \cos \gamma_{к(1-2)}) = -0,5(K_{рк1} - K_{рк2})$$

Расчет силы $R_{к.ш2}$ приведен в таблице Г.3 (графы 6 - 10).

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (3.32)$$

где $T_{к3} = -0,5(T_2 + T_3 \cdot \cos \gamma_{к(2-3)} - K_{рк3} \cdot \sin \gamma_{к(2-3)}) \cos \gamma_{к(1-2)} = 0,5(T_2 + T_3);$

$$K_{к3} = -0,5(K_{pk2} + T_3 \cdot \sin \gamma_{к(2-3)} - K_{pk3} \cdot \cos \gamma_{к(2-3)}) \cos \gamma_{к(1-2)} = 0,5(K_{pk2} - K_{pk3}).$$

Диаграммы $R_{к.ш1}$, $R_{к.ш2}$ и $R_{к.ш3}$, перестроенные в прямоугольные координаты, представлены на рисунке Г.5 в приложении Г. По этим диаграммам определяем:

Для 1 (5)-й коренной шейки

$$R_{к.ш1cp} = \frac{\sum_{i=1}^{72} \left(\frac{R_{к.ш1i} + R_{к.ш1i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{720^\circ} = 18218 \text{ Н}; \quad (3.33)$$

$$R_{к.ш1max} = 22482 \text{ Н}; \quad R_{к.ш1min} = 13953 \text{ Н}.$$

Для 2 (4)-й коренной шейки

$$R_{к.ш2cp} = \frac{\sum_{i=1}^{72} \left(\frac{R_{к.ш2i} + R_{к.ш2i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{720^\circ} = 3077 \text{ Н}; \quad (3.34)$$

$$R_{к.ш2max} = 6086 \text{ Н}; \quad R_{к.ш2min} = 68 \text{ Н}.$$

Для 3-й коренной шейки

$$R_{к.ш3cp} = \frac{\sum_{i=1}^{72} \left(\frac{R_{к.ш3i} + R_{к.ш3i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{720^\circ} = 35664 \text{ Н}; \quad (3.35)$$

$$R_{к.ш3max} = 42431 \text{ Н}; \quad R_{к.ш3min} = 28897 \text{ Н}.$$

Из сравнения диаграмм $R_{к.ш1}$, $R_{к.ш2}$, $R_{к.ш3}$ видно, что максимально нагруженной является 3 коренная шейка, а минимально нагруженными – 2(4) шейки.

4 Расчёт поршневой группы

4.1 Расчет поршня

Напряжение изгиба в днище поршня

$$\sigma_{из.} = p_{z.маx} (r_i / \delta)^2 = 9,38 \cdot (24,2 / 6)^2 = 152,59 \text{ МПа} \quad (4.1)$$

где $r_i = D / 2 - (s + t + \Delta t) = 67 / 2 - (5 + 3,5 + 0,8) = 24,2 \text{ мм}$.

Напряжение сжатия в сечении, имеющем наименьшую площадь:

$$\sigma_{из.} = P_{zД} / F_{x-x} = 0,030157 / 0,001161 = 25,97 \quad (4.2)$$

где $P_{zД} = p_{zД} \cdot F_n = 9,38 \cdot 0,003215 = 0,030157 \text{ МН}$,

$$F_{x-x} = (\pi / 4)(d_k^2 - d_i^2) - n'_m F' = (\pi / 4)(67,2^2 - 48,4^2) - 10 \cdot 8,58 = 0,003155 \text{ м}^2 \quad (4.3)$$

$$F' = (d_k - d_i)d_M / 2 = (62,7 - 48,4) / 2 = 8,58 \text{ мм}^2 \quad (4.4)$$

$$d_k = D - 2(t + \Delta t) = 67 - 2(3,5 + 0,8) = 62,7 \text{ мм} \quad (4.5)$$

Напряжение разрыва в сечении, имеющем наименьшую площадь:

$$\omega_{x.x.маx} = n_{x.x.маx} * \pi / 30 = \pi * 11500 / 30 = 1570 \text{ рад/с} \quad (4.6)$$

Масса головки поршня с кольцами, расположенными выше сечения с наименьшей площадью:

$$m_{X-X} = 0,5m_n = 0,5 * 0,282 = 0,141 \text{ кг}; \quad (4.7)$$

- максимальная разрывная сила:

$$P_j = m_{X-X} R \omega_{x.x.маx}^2 (1 + \lambda) = \\ = 0,141 \cdot 0,02125 \cdot 1570^2 \cdot (1 + 0,193) \cdot 10^{-6} = 8,81 \text{ МПа} \quad (4.8)$$

- напряжение разрыва:

$$\sigma_p = P_j / F_{x-x} = 8,81 / 0,001161 = 7586,71 \text{ МПа} \quad (4.9)$$

Напряжение в верхней кольцевой перемычке:

- среза:

$$\tau = 0,0314 p_{z\text{д}} D / h_n = 0,0314 \cdot 9,38 \cdot 0,067 / 2,68 = 7,36 \text{ МПа} \quad (4.10)$$

- изгиба:

$$\sigma_{из} = 0,0045 \cdot p_{z\text{д}} (D / h_n)^2 = 0,0045 \cdot 9,38 (0,067 / 2,68)^2 = 26,38 \text{ МПа} \quad (4.11)$$

- сложное:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{26,38^2 + 4 \cdot 7,36^2} = 30,21 \text{ МПа} \quad (4.12)$$

Удельное давление поршня на стенку цилиндра:

$$q_1 = N_{\text{max}} / (h_{ю} D) = 0,0064 / 0,047 \cdot 0,067 = 2,03 \text{ МПа} \quad (4.13)$$

$$q_2 = N_{\text{max}} / (HD) = 0,0064 / 0,035 \cdot 0,067 = 2,73 \text{ МПа} \quad (4.14)$$

Диаметры головки и юбки поршня:

$$D_2 = D - \Delta_2 = 67 - 0,469 = 66,531 \text{ мм} \quad (4.15)$$

$$D_{ю} = D - \Delta_{ю} = 67 - 0,134 = 66,866 \text{ мм} \quad (4.16)$$

где $\Delta_2 = 0,007 D = 0,007 \cdot 67 = 0,469 \text{ мм}$, $\Delta_{ю} = 0,002 D = 0,002 \cdot 67 = 0,134 \text{ мм}$

Диаметральные зазоры в холодном состоянии:

$$\Delta'_G = D[1 + \alpha_y (T_y - T_0)] - D_G[1 + \alpha_{II} (T_G - T_0)] = \\ 67[1 + 11 \cdot 10^{-6} (383 - 293)] - 66,531[1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot (593 - 293)] = 0,096 \text{ мм} \quad (4.17)$$

$$\Delta'_{ю} = D[1 + \alpha_y(T_y - T_0)] - D_T[1 + \alpha_T(T_T - T_0)] = 67[1 + 11 \cdot 10^{-6}(383 - 293)] - 66,866[1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot (413 - 293)] = 0,046 \text{ мм} \quad (4.18)$$

где $T_{ц}=383 \text{ К}$, $T_T=593 \text{ К}$, $T_{ю}=413 \text{ К}$ приняты с учётом водяного охлаждения.

4.2 Расчёт поршневого кольца

Среднее давление кольца на стенку цилиндра:

$$p_{cp} = 0,152 E \frac{A_0/t}{(D/t-1)^3 (D/t)} = 0,152 \cdot 1,0 \cdot 10^5 \cdot \frac{10,5/3,5}{(67/3,5-1)^3 (67/3,5)} = 0,398 \text{ МПа} \quad (4.20)$$

где $A_0=3t=3 \cdot 3,5=10,5$

Давление кольца на стенку цилиндра в различных точках окружности:

$$p = p_{cp} * \mu_k \quad (4.21)$$

Результат расчёта p , а также μ_k для различных углов ψ сведены в таблицу 4.1 по этим данным построена эпюра давлений кольца на стенку цилиндра (рисунок 4.1)

Таблица 4.1 – значения давления кольца на стенку цилиндра в различных точках окружности.

φ, град	180	150	120	90	60	30	0
μ_k	2,85	0,67	0,45	0,9	1,14	1,05	1,05
P, МПа	1,136805	0,267249	0,179496	0,358991	0,454722	0,418823	0,418823

Напряжение изгиба кольца в рабочем состоянии:

$$\sigma_{изг} = 2,61 p_{cp} (D/t - 1)^2 = 2,61 \cdot 0,9 \cdot (82/3 - 1)^2 = 162,9 \text{ МПа} \quad (4.22)$$

Напряжение изгиба при надевании кольца на поршень:

$$\sigma_{изг} = 4E \frac{(1 - 0,114 A_0/t)}{m(D/t - 1,4)(D/t)} = 4 \cdot 1,0 \cdot 10^5 \cdot \frac{1 - 0,114 \cdot 9/3}{(82/3 - 1,4)(82/3)} = 371 \text{ МПа} \quad (4.23)$$

Монтажный зазор в замке поршневого кольца

$$\begin{aligned} \Delta_{\kappa} &= \Delta'_{\kappa} + \pi D (\alpha_{\kappa} (T_{\kappa} - T_0) - \alpha_{\psi} (T_{\psi} - T_0)) \\ &= 0,08 + \pi 82 \cdot (11 \cdot 10^{-6} (493 - 293) - 11 \cdot 10^{-6} (383 - 293)) = 0,39 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.24)$$

где $\Delta'_{\kappa} = 0,08$ мм, $T_{\psi} = 383$ К, $T_{\kappa} = 493$ К, $T_0 = 293$ К

4.3 Расчет поршневого пальца

Расчетная сила, действующая на поршневой палец:

-газовая

$$P_{z \max} = p_{z \max} F_n = 6,13 \cdot 52,81 \cdot 10^{-4} = 0,0324 \text{ МН} ; \quad (4.25)$$

-инерционная

$$P_j = -m_n R \omega_m^2 (1 + \lambda) \cdot 10^{-6} = -0,422 \cdot 0,0355 \cdot 335^2 (1 + 0,285) \cdot 10^{-6} = -0,00216 \text{ МН} \quad (4.26)$$

где $\omega_m = \pi n_m / 30 = 3,14 \cdot 3200 / 30 = 335$ рад/с ;

-расчетная

$$P = P_{z \max} + k P_j = 0,0324 - 0,82 \cdot 0,00216 = 0,0306 \text{ МН} . \quad (4.27)$$

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна:

$$q_{uw} = \frac{P}{d_n l_{uw}} = \frac{0,0306}{0,022 \cdot 0,027} = 51,52 \text{ МПа} \quad (4.28)$$

Удельное давление пальца на бобышки:

$$q_{\sigma} = \frac{P}{d_n(l_n - b)} = \frac{0,0306}{0,022 \cdot (0,065 - 0,029)} = 38,64 \text{ МПа} \quad (4.29)$$

Напряжение изгиба в среднем сечении пальца:

$$\sigma_{uz} = \frac{P(l_n + 2b - 1,5l_u)}{1,2(1 - \alpha^4)d_n^3} = \frac{0,0306 \cdot (0,065 + 2 \cdot 0,029 - 1,5 \cdot 0,027)}{1,2(1 - 0,636^4) \cdot 0,022^3} = 236,22 \text{ МПа} \quad (4.30)$$

где $\alpha = d_B/d_n = 14/22 = 0,636$.

Касательные напряжения среза в сечениях между бобышками и головкой шатуна:

$$\tau = \frac{0,85 \cdot P(1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4)d_n^2} = \frac{0,85 \cdot 0,0306(1 + 0,636 + 0,636^2)}{(1 - 0,636^4)0,022^2} = 131,1 \text{ МПа} \quad (4.31)$$

Наибольшее увеличение горизонтального диаметра пальца при оваллизации:

$$\begin{aligned} \Delta d_{n\max} &= \frac{1,35P}{El_n} \left(\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right)^3 [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{1,35 \cdot 0,0306}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,065} \left(\frac{1 + 0,636}{1 - 0,636} \right)^3 [0,1 - (0,636 - 0,4)^3] \cdot 10^3 = 0,0279 \text{ мм} \end{aligned} \quad (4.32)$$

Напряжения оваллизации на внешней поверхности пальца:

- в горизонтальной плоскости

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha 0^\circ} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 0,0306}{0,065 \cdot 0,022} \left[0,19 \cdot \frac{(2 + 0,636) \cdot (1 + 0,636)}{(1 - 0,636)^2} - \frac{1}{1 - 0,636} \right] \cdot [0,1 - (0,636 - 0,4)^3] = 95,8 \text{ МПа}; \end{aligned} \quad (4.33)$$

- в вертикальной плоскости

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha 90^\circ} &= -\frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(2 + \alpha)(1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} + \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0306}{0,065 \cdot 0,022} \left[0,174 \frac{(2 + 0,636)(1 + 0,636)}{(1 - 0,636)^2} + \frac{0,636}{1 - 0,636} \right] [0,1 - (0,636 - 0,4)^3] = -56,53 \text{ МПа}; \end{aligned} \quad (4.34)$$

Напряжения оваллизации на внутренней поверхности пальца:

- в горизонтальной плоскости

$$\begin{aligned} \sigma_{i0^\circ} &= -\frac{15 \cdot P}{l_n d_n} \left[0,19 \frac{(1+2 \cdot \alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} + \frac{1}{1-\alpha} \right] [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0306}{0,065 \cdot 0,022} \left[0,19 \frac{(1+2 \cdot 0,636)(1+0,636)}{(1-0,636)^2 \cdot 0,636} + \frac{1}{1-0,636} \right] [0,1 - (0,636 - 0,4)^3] = 310,24 \text{ МПа}; \end{aligned} \quad (4.35)$$

-в вертикальной плоскости

$$\begin{aligned} \sigma_{i90^\circ} &= \frac{15P}{l_n d_n} \left[0,174 \frac{(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 0,0306}{0,06 \cdot 0,027} \left[0,174 \frac{(1+2 \cdot 0,636)(1+0,636)}{(1-0,636)^2 \cdot 0,636} - \frac{0,636}{1-0,636} \right] [0,1 - (0,636 - 0,4)^3] = 165,3 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (4.36)$$

5 Расчёт систем двигателя

5.1 Расчёт системы смазки

Общее количество тепла, выделяемого топливом в течение 1 с:

$$Q_o = H_u G_T / 3600 = 43930 \cdot 18,53 / 3600 = 226 \text{ кДж/с.} \quad (5.1)$$

Количество тепла, отводимого маслом от двигателя:

$$Q_M = 0,02 Q_o = 0,02 \cdot 226 = 4,52 \text{ кДж/с.} \quad (5.2)$$

Теплоемкость масла: $c_M = 2,094 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Плотность масла: $\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3$.

Температура нагрева масла в двигателе: $\Delta T = 10 \text{ К}$.

Циркуляционный расход масла:

$$V_{ц} = Q_M / (c_M \rho_M \Delta T) = 4,52 / (900 \cdot 2,094 \cdot 10) = 0,00024 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (5.3)$$

Циркуляционный расход с учетом стабилизации давления масла в системе:

$$V' = 2V_{ц} = 2 \cdot 0,00024 = 0,00048 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (5.4)$$

Объемный коэффициент подачи $\eta_n = 0,8$.

Расчетная производительность насоса

$$V_p = V' / \eta_n = 0,00048 / 0,8 = 0,0006 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (5.5)$$

Модуль зацепления зуба $m = 4,5 \text{ мм} = 0,0045 \text{ м}$.

Высота зуба $h = 2m = 2 \cdot 4,5 = 9,0 \text{ мм} = 0,009 \text{ м}$.

Число зубьев шестерен $z = 7$.

Диаметр начальной окружности шестерни

$$D_o = z_m \cdot m = 7 \cdot 4,5 = 31,5 \text{ мм} = 0,0315 \text{ м.} \quad (5.6)$$

Диаметр внешней окружности шестерни:

$$D = m(z + 2) = 4,5(7 + 2) = 40,5 \text{ мм} = 0,0405 \text{ м.} \quad (5.7)$$

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

Частота вращения шестерни (насоса)

$$n_H = u_H \cdot 60 / (\pi D) = 6,36 \cdot 60 / (3,14 \cdot 0,0405) = 2999 \text{ мин}^{-1}. \quad (5.8)$$

Длина зуба шестерни:

$$b = 60 V_p / (2 \pi m^2 z n_H) = 60 \cdot 0,00073 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,0045^2 \cdot 7 \cdot 2999) = 0,016 \text{ м.} \quad (5.9)$$

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

Механический к. п. д. масляного насоса: $\eta_{м.н.} = 0,85$

Мощность, затрачиваемая на привод масляного насоса

$$N_H = V_p p / (\eta_{м.н.} 10^3) = 0,0006 \cdot 40 \cdot 10^4 / (0,85 \cdot 10^3) = 0,28 \text{ кВт.} \quad (5.10)$$

5.2 Расчёт системы охлаждения

5.2.1 Расчёт водяного насоса

Циркуляционный расход воды в системе охлаждения:

$$G_{ж} = Q_B / (c_{ж} \rho_{ж} \Delta T_{ж}) = 52323,1 / (4187 \cdot 1000 \cdot 9) = 0,001389 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5.11)$$

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

Расчетная производительность насоса

$$G_{\text{ж.п}} = G_{\text{ж}}/\eta = 0,00172/0,82 = 0,00209 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (5.12)$$

где $\eta = 0,85$ – коэффициент подачи насоса.

Радиус входного отверстия крыльчатки:

$$r_1 = (G_{\text{ж.п}}/(\pi c_1) + r_0^2)^{1/2} = (0,00209/(3,14 \cdot 1,8) + 0,01^2)^{1/2} = 0,018 \text{ м}, \quad (5.13)$$

где $c_1 = 2 \text{ м/с}$ – скорость воды на входе из колеса; $r_0 = 0,008 \text{ м}$ – радиус ступицы крыльчатки.

Окружная скорость потока воды на выходе из колеса

$$u_2 = (1 + \text{tg}\alpha_2 \text{ctg}\beta_2)^{1/2} (p_{\text{ж}}/(\rho_{\text{ж}}\eta_{\text{h}}))^{1/2} = \\ = (1 + \text{tg}10^\circ \text{ctg}45^\circ)^{1/2} (120\,000/(1000 \cdot 0,67))^{1/2} = 16,483 \text{ м/с}, \quad (5.14)$$

где угол $\alpha_2 = 10^\circ$, а угол $\beta_2 = 45^\circ$; $\eta_{\text{h}} = 0,67$ – гидравлический к. п. д. насоса.

Радиус крыльчатки колеса на выходе

$$r_2 = 30u_2/(\pi n_{\text{в.н}}) = 30 \cdot 16,483/(3,14 \cdot 5000) = 0,03148 \text{ м}. \quad (5.15)$$

Окружная скорость входа потока

$$u_1 = u_2 r_1/r_2 = 16,483 \cdot 0,019/0,0305 = 9,425 \text{ м/с}. \quad (5.16)$$

Угол между скоростями c_1 и u_1 принимается $\alpha_1 = 90^\circ$, при этом $\text{tg}\beta_1 = c_1/u_1 = 2/9,425 = 0,2122$, откуда $\beta_1 = 12^\circ$.

Ширина лопатки на входе:

$$b_1 = G_{\text{ж.п}}/(2\pi r_1 - z\delta_1/\sin\beta_1)c_1 = \\ = 0,00209/(2 \cdot 3,14 \cdot 0,018 - 6 \cdot 0,0025/\sin 10^\circ) \cdot 2 = 0,012 \text{ м}, \quad (5.17)$$

где $z = 6$ – число лопаток на крыльчатке насоса; $\delta_1 = 0,003$ м – толщина лопаток у входа.

Радиальная скорость потока на выходе из колеса

$$c_r = p_{ж} \operatorname{tg} \alpha_2 / (\rho_{ж} \eta_h u_2) = 130\,000 \operatorname{tg} 10^\circ / (1000 \cdot 0,67 \cdot 16,483) = 2,498 \text{ м/с.} \quad (5.18)$$

Ширина лопатки на выходе

$$b_2 = G_{ж.р} / (2\pi r_2 - z\delta_2 / \sin \beta_2) c_r =$$

$$= 0,001634 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,03148 - 6 \cdot 0,0025 / \sin 45^\circ) \cdot 2,498 = 0,00363 \text{ м,} \quad (5.19)$$

где $\delta_2 = 0,0025$ м – толщина лопаток на выходе.

Мощность, потребляемая насосом:

$$N_{в.н} = G_{ж.р} p_{ж} / (1000 \eta_M) = 0,001634 \cdot 130\,000 / (1000 \cdot 0,85) = 0,25 \text{ кВт,} \quad (5.20)$$

где $\eta_M = 0,85$ – механический к. п. д. водяного насоса.

5.2.2 Расчёт водяного радиатора

Количество воздуха, проходящего через радиатор:

$$G'_{\text{возд}} = Q_{\text{возд}} / (c_{\text{возд}} \Delta T_{\text{возд}}) = 52323,1 / (1000 \cdot 25) = 2,093 \text{ кг/с,} \quad (5.21)$$

где $\Delta T_{\text{возд}} = 25$ К – температурный перепад воздуха в решетке радиатора.

Массовый расход воды, проходящей через радиатор: $G'_{ж} = G_{ж} \rho_{ж} = 0,001634 \cdot 1000 = 1,634$ кг/с.

Средняя температура охлаждающего воздуха, проходящего через радиатор:

$$T_{\text{ср. возд}} = T_{\text{возд. вх}} + (T_{\text{возд. вх}} + \Delta T_{\text{возд}}) / 2 = 313 + (313 + 25) / 2 = 325,5 \text{ К,} \quad (5.22)$$

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

Средняя температура воды в радиаторе

$$T_{\text{ср. вод}} = T_{\text{вод. вх}} + (T_{\text{вод. вх}} - \Delta T_{\text{вод}}) / 2 = 362 + (362 - 9) / 2 = 357,5 \text{ К,} \quad (5.23)$$

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

Поверхность охлаждения радиатора:

$$F = Q_{\text{вод}}/K(T_{\text{ср. вод}} - T_{\text{ср. возд}}) = 52323,1/160(357,5 - 325,5) = 10,219 \text{ м}^2, \quad (5.24)$$

где $K = 160 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коэффициент теплопередачи для радиатора.

6.2.3 Расчёт вентилятора

Плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе

$$\rho_{\text{возд}} = \rho_0 \cdot 10^{(R_v T_{\text{ср. возд}} - 273)/273} = 1,293 \cdot 10^{(287 \cdot 357,5 - 273 \cdot 273)/273} = 0,975 \text{ кг}/\text{м}^3. \quad (5.25)$$

Производительность вентилятора

$$G_{\text{возд}} = G'_{\text{возд}}/\rho_{\text{возд}} = 2,093/0,975 = 2,147 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.26)$$

Фронтальная поверхность радиатора

$$F_{\text{фр.рад}} = G_{\text{возд}}/\omega_{\text{возд}} = 2,147/24 = 0,089 \text{ м}^2, \quad (5.27)$$

где $\omega_{\text{возд}} = 24 \text{ м}/\text{с}$ – скорость воздуха перед фронтом радиатора без учета скорости движения автомобиля.

Диаметр вентилятора:

$$D_{\text{вент}} = 2(F_{\text{фр.рад}}/\pi)^{1/2} = 2(0,089/3,14)^{1/2} = 0,338 \text{ м}. \quad (5.28)$$

Окружная скорость вентилятора:

$$u = \psi_{\text{л}}(\Delta p_{\text{тр}}/\rho_{\text{возд}})^{1/2} = 2,9(905/0,975)^{1/2} = 88,37 \text{ м/с}, \quad (5.29)$$

где $\psi_{\text{л}} = 2,9$ – безразмерный коэффициент для плоских лопастей.

Частота вращения вентилятора:

$$n_{\text{вент}} = 60u/(\pi D_{\text{вент}}) = 60 \cdot 88,37/(3,14 \cdot 0,0,338) = 5000 \text{ мин}^{-1}. \quad (5.30)$$

Мощность, затрачиваемая на привод осевого вентилятора:

$$N_{\text{вент}} = G_{\text{возд}}\Delta p_{\text{тр}}/(1000\eta_{\text{в}}) = 2,093 \cdot 905/(1000 \cdot 0,65) = 2,914 \text{ кВт}, \quad (5.31)$$

где $\eta_{\text{в}} = 0,65$ – к. п. д. вентилятора с плоскими лопастями.

6 Описание конструкции спроектированного двигателя

Четырехтактный восьмицилиндровый двигатель с V-образным расположением цилиндров (угол развала 90°), шестнадцатиклапанный, с четырьмя распределительными валами и водяным охлаждением.

Продольный и поперечный разрез двигателя представлены на сборочном чертеже.

Блок цилиндров 4 отлит из алюминия АЛ19. Цилиндры расточены непосредственно в блоке. Номинальный диаметр 67 мм при ремонте может быть увеличен на 0,4 или 0,8 мм. Максимально допустимый износ цилиндра составляет 0,15 мм на диаметр. Вместо гильз используется плазменное напыление на стенки цилиндров. Напыляемый материал карбид хрома, либо нихром.

В нижней части блока цилиндров имеется пять опор коренных подшипников. Вкладыши коренных 19 и шатунных 22 подшипников — тонкостенные сталеалюминевые. Коренные вкладыши опор, устанавливаемые в блоке цилиндров по легкопрессовой посадке Н7/р6 [7], снабжены канавкой на внутренней поверхности. Коренные шейки коленчатого вала устанавливаются в подшипник по ходовой посадке высокой точности Н6/ф6, шатунные шейки по посадке Н7/ф7, чем обеспечивается гарантированный зазор, достаточный для свободного вращения вала в подшипниках.

Коленчатый вал 14 изготовлен из высокопрочного чугуна с последующей нормализацией, закалкой с индукционного нагрева и накаткой роликами галтелей. Он имеет пять коренных и четыре шатунных шейки и снабжен семью противовесами, отлитыми заодно с валом. Для подачи масла от коренных шеек к шатунным в коленчатом вале просверлены каналы, выходные отверстия которых закрыты запрессованными заглушками.

На переднем конце коленчатого вала устанавливается зубчатое колесо привода ГРМ 29. Колесо выполнено заодно со втулкой, которая крепится на коленчатом валу шлицевым соединением.

На заднем конце коленчатого вала на сегментной шпонке крепиться маховик 7, который одновременно является генератором трехфазного тока. Маховик выполнен из ферросилиция 45.

Шатуны 45 — стальные, двутаврового сечения, обрабатываются вместе с крышками. Материал для изготовления шатунов АЦ40ХГАФБ.

Поршневой палец изготовлен из стали 12ХН, предварительно отожженной и подвергнутой поверхностной цементации, трубчатого сечения, плавающего типа (устанавливается по легкоходовой посадке U7/f6 обеспечивающей свободное вращение в верхней головке шатуна и в бобышках поршня). От выпадения он зафиксирован двумя стопорными пружинными кольцами, которые располагаются в проточках бобышек поршня 4.

Поршень 45 из алюминиевого сплава АК10М2Н. Юбка поршня в продольном сечении — коническая, в поперечном — овальная. В верхней части поршня проточены три канавки под поршневые кольца. Канавка маслосъемного кольца имеет выходящие в бобышки сверления, по которым масло, собранное кольцом со стенок цилиндра, поступает к поршневому пальцу.

Верхние два поршневых кольца — компрессионные, препятствующие прорыву газов в картер двигателя. Также они способствуют отводу тепла от поршня к цилиндру. Нижнее кольцо — маслосъемное. Верхнее компрессионное кольцо изготовлено из высокопрочного чугуна ВЧШГ60. Нижнее компрессионное и маслосъемное изготовлено из СЧ40.

Головка цилиндров 1 — общая для всех четырех цилиндров — из алюминиевого сплава АК6М2. Центрируется на блоке двумя втулками и крепится десятью болтами 37. Между блоком и головкой устанавливается безусадочная металлоармированная прокладка 3.

В верхней части головки цилиндров расположены опоры распределительных валов — по пять с каждой стороны головки. Отверстия в опорах, выполненных разъемными, обрабатываются в сборе с корпусом подшипников.

Распределительные валы — литые, чугунные, пятиопорные, у каждого — восемь кулачков (пара соседних кулачков открывает одновременно два клапана в цилиндре). Распределительные валы приводятся во вращение зубчатым колесом 36 от зубчатого колеса 29 установленным на коленчатом валу 14. Под цепью привода ГРМ находятся два успокоителя цепи 26,33.

Седла (изготовленные из металлокерамики) и направляющие втулки клапанов (латунные) запрессованы в головку цилиндров 1. Отверстия во втулках обрабатываются после запрессовки.

Клапаны — стальные, выпускной — из 40ХГНМ с головкой из жаропрочной аустенитной стали 55Х20Г9АН4 с наплавленной фаской. Площадь тарелки впускного клапана больше, чем выпускного. Клапаны расположены в два ряда, V-образно. Приводятся в действие от кулачков распределительных валов через толкатели. Ось кулачка смещена относительно толкателя на 1 мм. За счет этого при работе двигателя корпус толкателя поворачивается вокруг своей оси, что способствует его более равномерному износу. Для регулировки зазора между толкателем и кулачком предназначена регулировочная шайба.

Клапан закрывается под действием одной пружины. Нижним концом она опирается на шайбу, а верхним — на тарелку, удерживаемую двумя сухарями. Сложенные сухари снаружи имеют форму усеченного конуса, а на внутренней поверхности — два упорных буртика, входящие в проточки на стержне клапана.

Смазка двигателя — комбинированная. Под давлением смазываются коренные и шатунные подшипники, пары опора — шейка распределительного вала, толкатели. Разбрызгиванием масло подается на стенки цилиндров (далее к поршневым кольцам и пальцам), на днище поршней 44, к паре кулачков распределительного вала - толкатель и стержням клапанов. Остальные узлы смазываются самотеком.

Масляный насос 21 — с шестернями внутреннего зацепления и редукционным клапаном — установлен внутри блока цилиндров 16. Ведущая

шестерня установлена на двух лысках на валу, приводящимся в движение цепной передачей. Ведущее колесо установлено на ведущем валу коробки передач.

Маслоприемник 49 вставляется непосредственно в масляный насос 21.

Масляный фильтр 46 — полнопоточный, неразборный, снабжен перепускным и противодренажным клапанами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Выполнены тепловой расчёт для проектируемого двигателя, кинематический, динамический расчёты, прочностной расчет, позволяющие получить исходные данные для проектирования двигателя

2 Произведен расчет систем двигателя, в результате чего определены основные параметры основных деталей и узлов системы охлаждения и смазки.

3 Спроектирован четырехтактный восьмицилиндровый V-образный двигатель с развалом блока цилиндров 90° работающий на бензине со степенью сжатия $\epsilon=12$, рабочим объемом $V_{л} = 1,2$ л, номинальной мощностью $N_e = 176,94$ кВт (при $n=11500$ мин⁻¹) и максимальным крутящим моментом $M_e = 123,34$ Н·м (при $n=10000$ мин⁻¹) при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=0,96$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
- 2 Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова//. –3-е издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1985. - с.456.
- 3 Ховаха, М.С. Автомобильные двигатели – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] /Под редакцией М.С. Ховаха// М.: Машиностроение, 1977. - с.636.
- 4 Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /В.П. Алексеев, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова//. –3-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. - с.528.
- 5 Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова. –4-е издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1984. – с.384
- 6 Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В.И. Анурьев// В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. - с.296.
- 7 Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
- 8 Кузнецов Ю.М. «Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта». М.: Транспорт, 1986.

- 9 Луканин В.Н. «Промышленная транспортная экология». М.: Высшая школа, 2001.
- 10 Долин П.А. «Справочник по технике безопасности». М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 11 Чумаков Л.Л. Курс лекций по дисциплине «Экономика предприятия», 2004
- 12 Кальней Е.Д. Методические указания по выполнению курсовых и дипломных проектов по дисциплине «Основы технического творчества и патентоведения»
- 13 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982.
- 14 Кузнецов В.Р., Собольников В.А. «Турбулентность и горение». М. Наука, 1986.
- 15 Войнов В.В. «Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания». М. Наука, 1984.
- 16 Звонов В.А. «Токсичность двигателей внутреннего сгорания». М. Машиностроение, 1981.
- 17 Nlootat G., et al, “A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours”, SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.
- 18 Khalighi B., et al, “ Computation and Measurement of Flow and Combustion in a Four-Valve Engine with Intake Variations”, SAE, SP 1101, №950287, стр. 147-179, 2001.
- 19 Jones P., et al, “Full Cycle Computational Fluid Dynamics Calculations in a Motored Four Valve Pent Roof Combustion Chamber and Comparison with Experiment”, SAE, SP 1101, №950286, 131-146, 2001.
- 20 Наканиши К., и др, “Разработка новой системы впуска для четырёхклапанного двигателя, работающего на бедных смесях”, SAE, SP 1097, №95050, стр. 25-43, 1997.
- 21 Хашимото Н., и др, “Разработка низкотоксичной, высокоэффективной камеры сгорания для высокомоощного четырехклапанного двигателя”, SAE, SP 1098, №95068, стр. 347-365, 1998.

- 22 Аносов Ю.М. “Основы отраслевых технологий и организации производства”. 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 : 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 / 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 / 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 / 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																	
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
15	40	0,86	12	1,0940	2,155	686,853	0,851	0,6500	56,2824	0,0319	0,1930	3,2					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	$V_{ст}$	s	$y(f1)$	X1-2	$T_{пред}$	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	$DX1-2$	P	m	m1-2	X
0	-15	0,08674	0,0405	1,223	6,5E-07	686,853	686,853	692,9436	686,853	689,8983			1,3E-06	2,15493	1	1	0
1	-14	0,08472	0,0354	1,1945	1,1E-05	692,9436	692,9436	699,0251	692,9431	695,9844	1,3702	6,4028	2,2E-05	2,22596	1	1	1,29E-06
2	-13	0,08283	0,0305	1,1678	5,3E-05	699,0251	699,0251	705,377	699,0225	702,201	1,3692	6,4171	0,00011	2,29668	1	1	2,37E-05
3	-12	0,08108	0,026	1,1431	0,00015	705,377	705,377	712,4267	705,3704	708,9019	1,3682	6,4315	0,00031	2,36761	1	1	0,00013
4	-11	0,07946	0,0219	1,1204	0,00034	712,4267	712,4267	720,7548	712,4137	716,5908	1,3672	6,4469	0,00068	2,43987	1	1	0,000436
5	-10	0,07799	0,0181	1,0996	0,00064	720,7548	720,7548	731,0935	720,7312	725,9241	1,366	6,4643	0,00128	2,5152	1,0001	1,0001	0,001112
6	-9	0,07665	0,0147	1,0807	0,00109	731,0935	731,0935	744,318	731,0529	737,7057	1,3646	6,4851	0,00217	2,59597	1,0002	1,0002	0,00239
7	-8	0,07545	0,0116	1,0638	0,00171	744,318	744,318	761,4273	744,2497	752,8727	1,3629	6,511	0,00342	2,68524	1,0004	1,0003	0,004562
8	-7	0,07439	0,0089	1,0489	0,00254	761,4273	761,4273	783,5121	761,3142	772,4697	1,3608	6,5434	0,00507	2,78661	1,0007	1,0006	0,007979
9	-6	0,07348	0,0065	1,0359	0,0036	783,5121	783,5121	811,7091	783,3281	797,6106	1,3582	6,584	0,00719	2,90415	1,0012	1,001	0,013052
10	-5	0,0727	0,0045	1,025	0,00491	811,7091	811,7091	847,1421	811,4165	829,4256	1,355	6,6339	0,00981	3,04218	1,0018	1,0015	0,020243
11	-4	0,07206	0,0029	1,016	0,00649	847,1421	847,1421	890,8523	846,69	868,9972	1,3512	6,694	0,01297	3,20496	1,0027	1,0023	0,030057
12	-3	0,07156	0,0016	1,009	0,00834	890,8523	890,8523	943,7223	890,1768	917,2873	1,347	6,7641	0,01667	3,39642	1,0039	1,0033	0,043028
13	-2	0,07121	0,0007	1,004	0,01045	943,7223	943,7223	1006,399	942,7496	975,0605	1,3423	6,8436	0,0209	3,61977	1,0054	1,0047	0,059699
14	-1	0,071	0,0002	1,001	0,0128	1006,399	1006,399	1079,22	1005,051	1042,809	1,3372	6,931	0,0256	3,87713	1,0073	1,0064	0,080597
15	0	0,07093	0	1	0,01535	1079,22	1079,22	1162,15	1077,422	1120,685	1,332	7,0239	0,03071	4,16923	1,0097	1,0085	0,106202
16	1	0,071	0,0002	1,001	0,01804	1162,15	1162,15	1254,726	1159,839	1208,438	1,3268	7,1199	0,03607	4,49507	1,0125	1,0111	0,136907
17	2	0,07121	0,0007	1,004	0,02077	1254,726	1254,726	1356,022	1251,855	1305,374	1,3217	7,2164	0,04154	4,85176	1,0158	1,0141	0,17298
18	3	0,07156	0,0016	1,009	0,02345	1356,022	1356,022	1464,634	1352,567	1410,328	1,3169	7,3108	0,04689	5,23432	1,0195	1,0177	0,21452
19	4	0,07206	0,0029	1,016	0,02594	1464,634	1464,634	1578,693	1460,591	1521,663	1,3125	7,401	0,05189	5,6357	1,0238	1,0217	0,261413
20	5	0,0727	0,0045	1,025	0,02813	1578,693	1578,693	1695,917	1574,08	1637,305	1,3084	7,4853	0,05626	6,0469	1,0285	1,0262	0,313302
21	6	0,07348	0,0065	1,0359	0,02987	1695,917	1695,917	1813,701	1690,77	1754,809	1,3048	7,5625	0,05974	6,45725	1,0337	1,0311	0,369562
22	7	0,07439	0,0089	1,0489	0,03103	1813,701	1813,701	1929,243	1808,067	1871,472	1,3016	7,6317	0,06206	6,85491	1,0391	1,0364	0,429298
23	8	0,07545	0,0116	1,0638	0,03152	1929,243	1929,243	2039,712	1923,18	1984,478	1,2988	7,6927	0,06304	7,22751	1,0448	1,0419	0,491361

24	9	0,07665	0,0147	1,0807	0,03126	2039,712	2039,712	2142,424	2033,281	2091,068	1,2965	7,7452	0,06252	7,56294	1,0505	1,0476	0,554397
25	10	0,07799	0,0181	1,0996	0,03024	2142,424	2142,424	2235,029	2135,686	2188,726	1,2946	7,7895	0,06048	7,85021	1,0562	1,0534	0,616919
26	11	0,07946	0,0219	1,1204	0,02849	2235,029	2235,029	2315,676	2228,046	2275,353	1,293	7,826	0,05697	8,0803	1,0617	1,059	0,677395
27	12	0,08108	0,026	1,1431	0,0261	2315,676	2315,676	2383,141	2308,506	2349,409	1,2918	7,8552	0,05219	8,24687	1,0669	1,0643	0,734369
28	13	0,08283	0,0305	1,1678	0,02321	2383,141	2383,141	2436,89	2375,837	2410,015	1,2908	7,8777	0,04642	8,34675	1,0717	1,0693	0,786563
29	14	0,08472	0,0354	1,1945	0,02001	2436,89	2436,89	2477,086	2429,499	2456,988	1,2901	7,8944	0,04001	8,38013	1,0759	1,0738	0,832984
30	15	0,08674	0,0405	1,223	0,01668	2477,086	2477,086	2504,52	2469,651	2490,803	1,2896	7,906	0,03336	8,3504	1,0795	1,0777	0,872994
31	16	0,0889	0,0461	1,2534	0,01342	2504,52	2504,52	2520,49	2497,076	2512,505	1,2893	7,9133	0,02685	8,2637	1,0826	1,0811	0,906351
32	17	0,09119	0,052	1,2857	0,01041	2520,49	2520,49	2526,631	2513,067	2523,56	1,2891	7,917	0,02081	8,12815	1,085	1,0838	0,933198
33	18	0,09362	0,0582	1,3199	0,00775	2526,631	2526,631	2524,738	2519,253	2525,685	1,2891	7,9178	0,01551	7,95302	1,0869	1,086	0,954011
34	19	0,09617	0,0647	1,356	0,00554	2524,738	2524,738	2516,594	2517,425	2520,666	1,2892	7,9165	0,01108	7,74778	1,0883	1,0876	0,96952
35	20	0,09886	0,0716	1,3938	0,00379	2516,594	2516,594	2503,827	2509,358	2510,21	1,2893	7,9135	0,00758	7,52141	1,0893	1,0888	0,980603
36	21	0,10168	0,0788	1,4336	0,00247	2503,827	2503,827	2487,823	2496,68	2495,825	1,2895	7,9093	0,00494	7,28181	1,09	1,0897	0,988178
37	22	0,10462	0,0864	1,4751	0,00153	2487,823	2487,823	2469,681	2480,772	2478,752	1,2897	7,9043	0,00307	7,03546	1,0905	1,0903	0,993119
38	23	0,10769	0,0942	1,5184	0,0009	2469,681	2469,681	2450,218	2462,731	2459,95	1,2899	7,8987	0,00181	6,78738	1,0908	1,0906	0,996186
39	24	0,11089	0,1024	1,5634	0,0005	2450,218	2450,218	2430,005	2443,371	2440,112	1,2902	7,8927	0,00101	6,54122	1,0909	1,0908	0,997993

Таблица А2 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ	θ				
20	50	0,96	12	1,06309672	1,720641	681,85	0,93363	0,86	61,48053	0,028512	0,193	3					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	$V_{ст}$	s	$y(f1)$	X1-2	Tпред	T1	T2	T2Истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-20	0,10845	0,07161	1,39384	0,00000	681,856	681,856	688,9169	681,856	685,3865			0,00000	1,72064	1	1	0
1	-19	0,10550	0,06472	1,35596	0,00001	688,9169	688,9169	696,051	688,9162	692,484	1,37091	6,39218	0,00002	1,78703	1	1	1E-06
2	-18	0,10269	0,05817	1,31992	0,00004	696,051	696,051	703,4471	696,0477	699,7491	1,36976	6,40892	0,00007	1,85483	1	1	2E-05
3	-17	0,10003	0,05195	1,28573	0,00010	703,4471	703,4471	711,3758	703,4388	707,4115	1,36861	6,42583	0,00019	1,92438	1	1	9E-05
4	-16	0,09752	0,04608	1,25341	0,00020	711,3758	711,3758	720,1874	711,3593	715,7816	1,36742	6,44343	0,00041	1,99623	1	1	0,0003
5	-15	0,09515	0,04054	1,22298	0,00037	720,1874	720,1874	730,3095	720,1588	725,2484	1,36614	6,46238	0,00074	2,07125	1	1	0,0007
6	-14	0,09293	0,03536	1,19445	0,00061	730,3095	730,3095	742,2413	730,2631	736,2754	1,36473	6,48346	0,00122	2,15055	1,0001	1,0001	0,0014
7	-13	0,09086	0,03052	1,16783	0,00093	742,2413	742,2413	756,5459	742,169	749,3936	1,36314	6,50757	0,00187	2,23557	1,0002	1,0001	0,0027

8	-12	0,08894	0,02603	1,14314	0,00135	756,5459	756,5459	773,8388	756,436	765,1923	1,36130	6,53563	0,00271	2,32798	1,0003	1,0002	0,0045
9	-11	0,08717	0,02189	1,12038	0,00188	773,8388	773,8388	794,7729	773,6749	784,3058	1,35916	6,56852	0,00377	2,42975	1,0004	1,0004	0,0072
10	-10	0,08555	0,01810	1,09957	0,00253	794,7729	794,7729	820,0197	794,5326	807,3963	1,35669	6,60705	0,00506	2,54299	1,0007	1,0006	0,011
11	-9	0,08408	0,01467	1,08071	0,00330	820,0197	820,0197	850,2469	819,6735	835,1333	1,35387	6,65185	0,00661	2,66996	1,001	1,0008	0,0161
12	-8	0,08277	0,01160	1,06381	0,00421	850,2469	850,2469	886,0933	849,7575	868,1701	1,35068	6,70328	0,00842	2,81293	1,0014	1,0012	0,0227
13	-7	0,08161	0,00889	1,04888	0,00525	886,0933	886,0933	928,1429	885,4161	907,1181	1,34714	6,76138	0,01050	2,97405	1,0019	1,0016	0,0311
14	-6	0,08060	0,00653	1,03593	0,00642	928,1429	928,1429	976,8973	927,2267	952,5201	1,34330	6,82583	0,01285	3,15525	1,0026	1,0022	0,0416
15	-5	0,07974	0,00454	1,02496	0,00773	976,8973	976,8973	1032,75	975,6873	1004,824	1,33922	6,89594	0,01546	3,35809	1,0033	1,0029	0,0544
16	-4	0,07905	0,00291	1,01598	0,00915	1032,75	1032,75	1095,963	1031,191	1064,356	1,33497	6,97073	0,01831	3,58359	1,0043	1,0038	0,0699
17	-3	0,07850	0,00163	1,00899	0,01068	1095,963	1095,963	1166,641	1094,001	1131,302	1,33064	7,04894	0,02137	3,83215	1,0054	1,0048	0,0882
18	-2	0,07811	0,00073	1,00400	0,01230	1166,641	1166,641	1244,717	1164,233	1205,679	1,32631	7,12920	0,02460	4,10341	1,0067	1,0061	0,1095
19	-1	0,07788	0,00018	1,00100	0,01397	1244,717	1244,717	1329,932	1241,826	1287,325	1,32206	7,21008	0,02794	4,39616	1,0082	1,0075	0,1341
20	0	0,07780	0,00000	1,00000	0,01567	1329,932	1329,932	1421,823	1326,534	1375,877	1,31795	7,29023	0,03133	4,70824	1,0099	1,0091	0,1621
21	1	0,07788	0,00018	1,00100	0,01735	1421,823	1421,823	1519,714	1417,908	1470,768	1,31405	7,36840	0,03469	5,03659	1,0119	1,0109	0,1934
22	2	0,07811	0,00073	1,00400	0,01896	1519,714	1519,714	1622,721	1515,285	1571,218	1,31039	7,44355	0,03793	5,37716	1,014	1,0129	0,2281
23	3	0,07850	0,00163	1,00899	0,02047	1622,721	1622,721	1729,752	1617,792	1676,236	1,30699	7,51482	0,04094	5,72506	1,0163	1,0152	0,266
24	4	0,07905	0,00291	1,01598	0,02182	1729,752	1729,752	1839,529	1724,347	1784,64	1,30388	7,58158	0,04364	6,07461	1,0188	1,0176	0,307
25	5	0,07974	0,00454	1,02496	0,02296	1839,529	1839,529	1950,615	1833,682	1895,072	1,30105	7,64336	0,04592	6,41950	1,0215	1,0202	0,3506
26	6	0,08060	0,00653	1,03593	0,02384	1950,615	1950,615	2061,454	1944,364	2006,034	1,29851	7,69991	0,04768	6,75305	1,0243	1,0229	0,3965
27	7	0,08161	0,00889	1,04888	0,02442	2061,454	2061,454	2170,417	2054,84	2115,935	1,29625	7,75109	0,04884	7,06842	1,0273	1,0258	0,4442
28	8	0,08277	0,01160	1,06381	0,02467	2170,417	2170,417	2275,864	2163,486	2223,14	1,29425	7,79690	0,04933	7,35890	1,0302	1,0288	0,4931
29	9	0,08408	0,01467	1,08071	0,02456	2275,864	2275,864	2376,207	2268,661	2326,035	1,29251	7,83743	0,04911	7,61822	1,0333	1,0318	0,5424
30	10	0,08555	0,01810	1,09957	0,02408	2376,207	2376,207	2469,97	2368,775	2423,088	1,29100	7,87285	0,04817	7,84084	1,0363	1,0348	0,5915
31	11	0,08717	0,02189	1,12038	0,02326	2469,97	2469,97	2555,858	2462,352	2512,914	1,28971	7,90340	0,04652	8,02223	1,0392	1,0378	0,6397
32	12	0,08894	0,02603	1,14314	0,02210	2555,858	2555,858	2632,81	2548,093	2594,334	1,28863	7,92935	0,04420	8,15906	1,0421	1,0407	0,6862
33	13	0,09086	0,03052	1,16783	0,02065	2632,81	2632,81	2700,041	2624,934	2666,425	1,28773	7,95101	0,04130	8,24938	1,0448	1,0435	0,7304
34	14	0,09293	0,03536	1,19445	0,01896	2700,041	2700,041	2757,072	2692,087	2728,556	1,28700	7,96872	0,03791	8,29267	1,0473	1,0461	0,7717
35	15	0,09515	0,04054	1,22298	0,01709	2757,072	2757,072	2803,744	2749,07	2780,408	1,28642	7,98282	0,03418	8,28985	1,0497	1,0485	0,8096
36	16	0,09752	0,04608	1,25341	0,01511	2803,744	2803,744	2840,205	2795,719	2821,975	1,28597	7,99367	0,03023	8,24320	1,0518	1,0507	0,8438
37	17	0,10003	0,05195	1,28573	0,01310	2840,205	2840,205	2866,891	2832,182	2853,548	1,28565	8,00162	0,02621	8,15613	1,0536	1,0527	0,874
38	18	0,10269	0,05817	1,31992	0,01113	2866,891	2866,891	2884,476	2858,887	2875,683	1,28543	8,00703	0,02226	8,03298	1,0552	1,0544	0,9002
39	19	0,10550	0,06472	1,35596	0,00925	2884,476	2884,476	2893,826	2876,51	2889,151	1,28530	8,01024	0,01850	7,87874	1,0566	1,0559	0,9225
40	20	0,10845	0,07161	1,39384	0,00751	2893,826	2893,826	2895,932	2885,911	2894,879	1,28524	8,01157	0,01503	7,69875	1,0577	1,0572	0,941

41	21	0,11153	0,07883	1,43355	0,00596	2895,932	2895,932	2891,849	2888,08	2893,891	1,285253	8,01132	0,01193	7,49842	1,0586	1,0582	0,956
42	22	0,11476	0,08638	1,47507	0,00462	2891,849	2891,849	2882,638	2884,07	2887,244	1,285317	8,00975	0,00924	7,28295	1,0594	1,059	0,9679
43	23	0,11813	0,09425	1,51837	0,00349	2882,638	2882,638	2869,308	2874,939	2875,973	1,285424	8,00713	0,00697	7,05717	1,0599	1,0597	0,9771
44	24	0,12164	0,10244	1,56344	0,00256	2869,308	2869,308	2852,785	2861,696	2861,047	1,285565	8,00365	0,00512	6,82535	1,0604	1,0602	0,9841
45	25	0,12528	0,11096	1,61026	0,00183	2852,785	2852,785	2833,877	2845,263	2843,331	1,285734	7,99952	0,00366	6,59115	1,0607	1,0605	0,9892
46	26	0,12906	0,11978	1,65881	0,00127	2833,877	2833,877	2813,264	2826,449	2823,57	1,285924	7,99487	0,00255	6,35755	1,0609	1,0608	0,9929
47	27	0,13297	0,12892	1,70907	0,00086	2813,264	2813,264	2791,499	2805,932	2802,381	1,286129	7,98984	0,00172	6,12691	1,0611	1,061	0,9955
48	28	0,13701	0,13837	1,76101	0,00056	2791,499	2791,499	2769,013	2784,265	2780,256	1,286347	7,98454	0,00112	5,90100	1,0612	1,0611	0,9972
49	29	0,141182	0,148112	1,814614	0,00035473	2769,013	2769,013	2746,131	2761,878	2757,572	1,286573	7,9790245	0,000709	5,681104	1,0612	1,0612	0,9983
50	30	0,14548	0,158156	1,869858	0,00021702	2746,131	2746,131	2723,09	2739,095	2734,611	1,286806	7,9733665	0,000434	5,468067	1,0613	1,0613	0,999

Таблица А3 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 9500 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ	θ				
30	60	0,96	12	1,0631	1,1090	641,9361	1,0166	0,96	63,0583	0,0281	0,1930	3,4	30				
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	$\gamma(f1)$	X1-2	Tпред	T1	T2	Tистина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-30	0,1584	0,1582	1,8699	5,2E-08	641,9361	641,9361	649,2613	641,9361	645,5987			1,04E-07	1,10901	1	1	0
1	-29	0,1537	0,1481	1,8146	1E-06	649,2613	649,2613	656,6771	649,2604	652,9692	1,3778	6,29374	2,08E-06	1,15581	1	1	1,04E-07
2	-28	0,1492	0,1384	1,761	5,4E-06	656,6771	656,6771	664,2237	656,673	660,4504	1,37646	6,3126	1,08E-05	1,20459	1	1	2,19E-06
3	-27	0,1448	0,1289	1,7091	1,7E-05	664,2237	664,2237	671,9689	664,2135	668,0963	1,37513	6,33145	3,32E-05	1,25545	1	1	1,3E-05
4	-26	0,1405	0,1198	1,6588	3,9E-05	671,9689	671,9689	680,0112	671,9493	675,99	1,3738	6,35042	7,71E-05	1,30856	1	1	4,62E-05
5	-25	0,1364	0,111	1,6103	7,6E-05	680,0112	680,0112	688,4833	679,9788	684,2473	1,37246	6,3697	0,000152	1,36412	1,00001	1,00001	0,000123
6	-24	0,1324	0,1024	1,5634	0,00013	688,4833	688,4833	697,5533	688,434	693,0183	1,37109	6,38955	0,000267	1,42245	1,00002	1,00001	0,000275
7	-23	0,1286	0,0942	1,5184	0,00022	697,5533	697,5533	707,4267	697,4823	702,49	1,36967	6,41028	0,000433	1,48395	1,00003	1,00003	0,000542
8	-22	0,125	0,0864	1,4751	0,00033	707,4267	707,4267	718,3466	707,3278	712,8866	1,36817	6,43227	0,000661	1,5491	1,00006	1,00005	0,000975
9	-21	0,1214	0,0788	1,4336	0,00048	718,3466	718,3466	730,5939	718,2121	724,4703	1,36657	6,45596	0,000964	1,61855	1,0001	1,00008	0,001636
10	-20	0,1181	0,0716	1,3938	0,00068	730,5939	730,5939	744,4856	730,414	737,5397	1,36484	6,4818	0,001352	1,69302	1,00016	1,00013	0,0026
11	-19	0,1149	0,0647	1,356	0,00092	744,4856	744,4856	760,3725	744,2476	752,429	1,36296	6,51028	0,001838	1,77341	1,00024	1,0002	0,003951
12	-18	0,1118	0,0582	1,3199	0,00122	760,3725	760,3725	778,6352	760,0603	769,5038	1,36089	6,54188	0,002434	1,86073	1,00036	1,0003	0,005789
13	-17	0,1089	0,052	1,2857	0,00158	778,6352	778,6352	799,6787	778,2287	789,1569	1,35861	6,57705	0,003152	1,95612	1,0005	1,00043	0,008223
14	-16	0,1062	0,0461	1,2534	0,002	799,6787	799,6787	823,9253	799,1532	811,802	1,35611	6,61619	0,004004	2,06086	1,0007	1,0006	0,011375

15	-15	0,1036	0,0405	1,223	0,0025	823,9253	823,9253	851,8061	823,2509	837,8657	1,35338	6,65959	0,004999	2,1763	1,00094	1,00082	0,015379
16	-14	0,1012	0,0354	1,1945	0,00307	851,8061	851,8061	883,7511	850,9478	867,7786	1,35042	6,70743	0,006146	2,30389	1,00125	1,0011	0,020378
17	-13	0,0989	0,0305	1,1678	0,00373	883,7511	883,7511	920,1782	882,6689	901,9646	1,34724	6,75972	0,007454	2,44508	1,00163	1,00144	0,026524
18	-12	0,0968	0,026	1,1431	0,00446	920,1782	920,1782	961,4811	918,8277	940,8296	1,34386	6,81633	0,008927	2,60131	1,00209	1,00186	0,033978
19	-11	0,0949	0,0219	1,1204	0,00528	961,4811	961,4811	1008,017	959,8152	984,749	1,34031	6,87693	0,010568	2,77394	1,00263	1,00236	0,042906
20	-10	0,0931	0,0181	1,0996	0,00619	1008,017	1008,017	1060,094	1005,987	1034,055	1,33664	6,94103	0,012375	2,96418	1,00328	1,00296	0,053474
21	-9	0,0916	0,0147	1,0807	0,00717	1060,094	1060,094	1117,957	1057,652	1089,025	1,33289	7,00802	0,014342	3,17303	1,00404	1,00366	0,065848
22	-8	0,0901	0,0116	1,0638	0,00823	1117,957	1117,957	1181,776	1115,059	1149,867	1,3291	7,07715	0,01646	3,40117	1,00492	1,00448	0,08019
23	-7	0,0889	0,0089	1,0489	0,00936	1181,776	1181,776	1251,635	1178,381	1216,705	1,32533	7,14761	0,018714	3,6489	1,00593	1,00543	0,096651
24	-6	0,0878	0,0065	1,0359	0,01054	1251,635	1251,635	1327,513	1247,71	1289,574	1,32162	7,21857	0,021081	3,91608	1,00708	1,00651	0,115364
25	-5	0,0868	0,0045	1,025	0,01177	1327,513	1327,513	1409,283	1323,034	1368,398	1,31801	7,2892	0,023535	4,20202	1,00837	1,00773	0,136445
26	-4	0,0861	0,0029	1,016	0,01302	1409,283	1409,283	1496,692	1404,233	1452,988	1,31453	7,35872	0,026041	4,50545	1,00982	1,0091	0,159979
27	-3	0,0855	0,0016	1,009	0,01428	1496,692	1496,692	1589,359	1491,065	1543,025	1,31121	7,42644	0,028559	4,82445	1,01142	1,01062	0,18602
28	-2	0,0851	0,0007	1,004	0,01552	1589,359	1589,359	1686,765	1583,158	1638,062	1,30808	7,49175	0,031043	5,15644	1,01317	1,01229	0,21458
29	-1	0,0848	0,0002	1,001	0,01672	1686,765	1686,765	1788,255	1680,003	1737,51	1,30515	7,55414	0,033441	5,49817	1,01508	1,01412	0,245623
30	0	0,0847	0	1	0,01785	1788,255	1788,255	1893,037	1780,953	1840,646	1,30242	7,61322	0,035697	5,84576	1,01713	1,0161	0,279064
31	1	0,0848	0,0002	1,001	0,01888	1893,037	1893,037	2000,193	1885,222	1946,615	1,29991	7,66869	0,037752	6,19474	1,01932	1,01822	0,314761
32	2	0,0851	0,0007	1,004	0,01977	2000,193	2000,193	2108,688	1991,898	2054,441	1,2976	7,72035	0,039546	6,54017	1,02164	1,02048	0,352513
33	3	0,0855	0,0016	1,009	0,02051	2108,688	2108,688	2217,394	2099,952	2163,041	1,29551	7,76807	0,041021	6,87677	1,02406	1,02285	0,392059
34	4	0,0861	0,0029	1,016	0,02106	2217,394	2217,394	2325,111	2208,256	2271,253	1,29361	7,81181	0,042122	7,19905	1,02658	1,02532	0,43308
35	5	0,0868	0,0045	1,025	0,0214	2325,111	2325,111	2430,601	2315,615	2377,856	1,2919	7,85157	0,042804	7,50152	1,02917	1,02787	0,475202
36	6	0,0878	0,0065	1,0359	0,02151	2430,601	2430,601	2532,622	2420,79	2481,612	1,29039	7,88741	0,043027	7,77889	1,03179	1,03048	0,518006
37	7	0,0889	0,0089	1,0489	0,02138	2532,622	2532,622	2629,965	2522,539	2581,294	1,28904	7,91943	0,042768	8,02622	1,03443	1,03311	0,561033
38	8	0,0901	0,0116	1,0638	0,02101	2629,965	2629,965	2721,498	2619,654	2675,732	1,28786	7,94776	0,042015	8,2392	1,03706	1,03575	0,6038
39	9	0,0916	0,0147	1,0807	0,02039	2721,498	2721,498	2806,2	2710,999	2763,849	1,28684	7,97256	0,040776	8,41426	1,03964	1,03835	0,645815
40	10	0,0931	0,0181	1,0996	0,01954	2806,2	2806,2	2883,199	2795,551	2844,7	1,28596	7,99401	0,039074	8,54873	1,04214	1,04089	0,686592
41	11	0,0949	0,0219	1,1204	0,01848	2883,199	2883,199	2951,803	2872,437	2917,501	1,28521	8,0123	0,036951	8,64095	1,04454	1,04334	0,725666
42	12	0,0968	0,026	1,1431	0,01723	2951,803	2951,803	3011,525	2940,962	2981,664	1,28459	8,02764	0,034465	8,69033	1,04681	1,04567	0,762617
43	13	0,0989	0,0305	1,1678	0,01584	3011,525	3011,525	3062,091	3000,634	3036,808	1,28408	8,04025	0,031685	8,69736	1,04892	1,04786	0,797082
44	14	0,1012	0,0354	1,1945	0,01435	3062,091	3062,091	3103,454	3051,179	3082,773	1,28367	8,05033	0,028695	8,66353	1,05087	1,04989	0,828767
45	15	0,1036	0,0405	1,223	0,01279	3103,454	3103,454	3135,781	3092,545	3119,617	1,28336	8,05813	0,025582	8,59127	1,05263	1,05175	0,857462
46	16	0,1062	0,0461	1,2534	0,01122	3135,781	3135,781	3159,435	3124,896	3147,608	1,28313	8,06387	0,022436	8,4838	1,0542	1,05341	0,883044
47	17	0,1089	0,052	1,2857	0,00967	3159,435	3159,435	3174,957	3148,594	3167,196	1,28298	8,06776	0,019343	8,34495	1,05557	1,05489	0,90548

48	18	0,1118	0,0582	1,3199	0,00819	3174,957	3174,957	3183,024	3164,175	3178,991	1,28288	8,07002	0,016381	8,17896	1,05676	1,05617	0,924823
49	19	0,1149	0,0647	1,356	0,00681	3183,024	3183,024	3184,416	3172,316	3183,72	1,28285	8,07087	0,013616	7,99032	1,05777	1,05726	0,941203
50	20	0,1181	0,0716	1,3938	0,00555	3184,416	3184,416	3179,973	3173,793	3182,194	1,28287	8,07049	0,011101	7,78353	1,0586	1,05818	0,95482
51	21	0,1214	0,0788	1,4336	0,00443	3179,973	3179,973	3170,554	3169,445	3175,263	1,28292	8,06907	0,008868	7,56299	1,05928	1,05894	0,96592
52	22	0,125	0,0864	1,4751	0,00347	3170,554	3170,554	3157,003	3160,13	3163,778	1,28301	8,06677	0,006936	7,33277	1,05983	1,05956	0,974789
53	23	0,1286	0,0942	1,5184	0,00265	3157,003	3157,003	3140,115	3146,688	3148,559	1,28314	8,06376	0,005307	7,0966	1,06025	1,06004	0,981725
54	24	0,1324	0,1024	1,5634	0,00198	3140,115	3140,115	3120,617	3129,916	3130,366	1,28328	8,06016	0,003969	6,85771	1,06058	1,06042	0,987032
55	25	0,1364	0,111	1,6103	0,00145	3120,617	3120,617	3099,145	3110,537	3109,881	1,28344	8,05609	0,002898	6,61886	1,06082	1,0607	0,991001
56	26	0,1405	0,1198	1,6588	0,00103	3099,145	3099,145	3076,243	3089,187	3087,694	1,28362	8,05165	0,002064	6,38231	1,061	1,06091	0,993899
57	27	0,1448	0,1289	1,7091	0,00072	3076,243	3076,243	3052,36	3066,408	3064,301	1,28381	8,04693	0,001433	6,14984	1,06113	1,06106	0,995963
58	28	0,1492	0,1384	1,761	0,00048	3052,36	3052,36	3027,854	3042,65	3040,107	1,28401	8,04199	0,000968	5,9228	1,06121	1,06117	0,997396
59	29	0,1537	0,1481	1,8146	0,00032	3027,854	3027,854	3003,006	3018,27	3015,43	1,28422	8,03689	0,000636	5,70218	1,06127	1,06124	0,998364
60	30	0,1584	0,1582	1,8699	0,0002	3003,006	3003,006	2978,025	2993,547	2990,515	1,28443	8,03167	0,000406	5,48864	1,06131	1,06129	0,999

Таблица А4 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 11500 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																	
θ	ϕ	α	ε	μ	P_{γ}	T_{γ}	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
40	70	0,96	12	1,063	0,721	583,748	1,060	0,97	61,256	0,026	0,193	3,4					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	$V_{ст}$	s	$y(f1)$	X1-2	$T_{пред}$	T1	T2	$T_{истина}$	T1-2	k1-2	K1-2	$DX1-2$	P	m	m_{1-2}	X
0	-40	0,2214	0,274	2,5069	2,6E-08	583,748	583,7477	590,25	583,748	587			5,26E-08	0,72149	1	1	0
1	-39	0,2152	0,2612	2,4367	5,3E-07	590,253	590,2525	596,88	590,252	593,568	1,38966	6,132622	1,06E-06	0,75055	1	1	5,26E-08
2	-38	0,2091	0,2487	2,3678	2,8E-06	596,883	596,8831	603,66	596,879	600,274	1,38822	6,151738	5,5E-06	0,78105	1	1	1,11E-06
3	-37	0,2032	0,2364	2,3004	8,4E-06	603,665	603,6646	610,64	603,654	607,151	1,38677	6,170969	1,68E-05	0,81307	1	1	6,61E-06
4	-36	0,1973	0,2244	2,2344	2E-05	610,637	610,6368	617,86	610,616	614,246	1,38533	6,190397	3,91E-05	0,84675	1	1,000001	2,34E-05
5	-35	0,1916	0,2127	2,1698	3,8E-05	617,856	617,8561	625,4	617,821	621,626	1,38387	6,210139	7,7E-05	0,88223	1	1,000003	6,26E-05
6	-34	0,1861	0,2012	2,1067	6,8E-05	625,397	625,3969	633,35	625,343	629,375	1,38238	6,230353	0,000135	0,91971	1,00001	1,000006	0,00014
7	-33	0,1806	0,19	2,0452	0,00011	633,353	633,3529	641,84	633,276	637,595	1,38086	6,251237	0,00022	0,95942	1,00002	1,000013	0,000275
8	-32	0,1753	0,1791	1,9852	0,00017	641,838	641,8381	650,99	641,732	646,413	1,37929	6,273022	0,000336	1,00163	1,00003	1,000024	0,000495
9	-31	0,1702	0,1685	1,9267	0,00024	650,987	650,987	660,96	650,844	655,971	1,37765	6,295975	0,00049	1,04669	1,00005	1,000041	0,000831
10	-30	0,1651	0,1582	1,8699	0,00034	660,955	660,9554	671,92	660,767	666,438	1,37591	6,320388	0,000687	1,09499	1,00008	1,000066	0,00132
11	-29	0,1603	0,1481	1,8146	0,00047	671,92	671,92	684,08	671,676	677,999	1,37407	6,346576	0,000935	1,147	1,00012	1,000102	0,002007

12	-28	0,1555	0,1384	1,761	0,00062	684,078	684,078	697,65	683,765	690,862	1,3721	6,37486	0,00124	1,20325	1,00018	1,000152	0,002942
13	-27	0,1509	0,1289	1,7091	0,0008	697,646	697,6463	712,86	697,248	705,253	1,36999	6,405564	0,001607	1,26435	1,00026	1,000219	0,004182
14	-26	0,1465	0,1198	1,6588	0,00102	712,86	712,8596	729,97	712,357	721,414	1,36772	6,438993	0,002045	1,331	1,00036	1,000307	0,005789
15	-25	0,1422	0,111	1,6103	0,00128	729,969	729,9688	749,24	729,337	739,603	1,36527	6,475422	0,002559	1,40397	1,00048	1,000419	0,007835
16	-24	0,1381	0,1024	1,5634	0,00158	749,238	749,2377	770,94	748,45	760,089	1,36264	6,515079	0,003156	1,48412	1,00064	1,000561	0,010394
17	-23	0,1341	0,0942	1,5184	0,00192	770,94	770,9404	795,36	769,963	783,149	1,35983	6,558126	0,003841	1,57237	1,00083	1,000736	0,01355
18	-22	0,1303	0,0864	1,4751	0,00231	795,357	795,3567	822,77	794,151	809,062	1,35685	6,604645	0,004619	1,66974	1,00107	1,000952	0,017391
19	-21	0,1266	0,0788	1,4336	0,00275	822,768	822,7677	853,45	821,292	838,11	1,35369	6,654628	0,005495	1,77727	1,00135	1,001212	0,02201
20	-20	0,1231	0,0716	1,3938	0,00324	853,452	853,4515	887,68	851,659	870,564	1,35039	6,707967	0,006473	1,89607	1,00169	1,001523	0,027505
21	-19	0,1198	0,0647	1,356	0,00378	887,677	887,677	925,7	885,516	906,688	1,34695	6,764451	0,007556	2,02728	1,00209	1,001891	0,033978
22	-18	0,1166	0,0582	1,3199	0,00437	925,699	925,6989	967,75	923,115	946,725	1,34342	6,823769	0,008743	2,172	1,00256	1,002323	0,041534
23	-17	0,1136	0,052	1,2857	0,00502	967,751	967,7514	1014	964,689	990,897	1,33982	6,885524	0,010036	2,33134	1,00309	1,002824	0,050277
24	-16	0,1107	0,0461	1,2534	0,00572	1014,04	1014,042	1064,7	1010,45	1039,39	1,33618	6,949242	0,011432	2,50632	1,00371	1,003402	0,060313
25	-15	0,108	0,0405	1,223	0,00646	1064,75	1064,747	1120	1060,56	1092,37	1,33254	7,014395	0,012926	2,69786	1,00441	1,004062	0,071745
26	-14	0,1055	0,0354	1,1945	0,00726	1120	1120,001	1179,9	1115,18	1149,95	1,32892	7,080421	0,014512	2,90671	1,00521	1,004811	0,084671
27	-13	0,1031	0,0305	1,1678	0,00809	1179,9	1179,897	1244,5	1174,39	1212,19	1,32538	7,146746	0,016181	3,13344	1,0061	1,005655	0,099183
28	-12	0,101	0,026	1,1431	0,00896	1244,47	1244,474	1313,7	1238,24	1279,09	1,32192	7,212805	0,017921	3,37834	1,0071	1,006599	0,115364
29	-11	0,099	0,0219	1,1204	0,00986	1313,71	1313,712	1387,5	1306,72	1350,62	1,31857	7,278063	0,019716	3,64139	1,0082	1,007648	0,133285
30	-10	0,0971	0,0181	1,0996	0,01078	1387,53	1387,531	1465,8	1379,75	1426,65	1,31536	7,342026	0,02155	3,9222	1,00941	1,008806	0,153001
31	-9	0,0954	0,0147	1,0807	0,0117	1465,78	1465,778	1548,2	1457,2	1507	1,31229	7,404254	0,023401	4,21995	1,01074	1,010075	0,174551
32	-8	0,094	0,0116	1,0638	0,01262	1548,23	1548,228	1634,6	1538,84	1591,4	1,30939	7,464366	0,025246	4,53337	1,01218	1,011458	0,197953
33	-7	0,0926	0,0089	1,0489	0,01353	1634,58	1634,579	1724,4	1624,39	1679,51	1,30665	7,522047	0,027058	4,86067	1,01373	1,012954	0,223198
34	-6	0,0915	0,0065	1,0359	0,0144	1724,45	1724,448	1817,4	1713,46	1770,91	1,30409	7,577045	0,028808	5,19956	1,0154	1,014563	0,250256
35	-5	0,0905	0,0045	1,025	0,01523	1817,37	1817,373	1912,8	1805,62	1865,09	1,3017	7,629166	0,030466	5,54722	1,01717	1,016281	0,279064
36	-4	0,0897	0,0029	1,016	0,016	1912,81	1912,811	2010,1	1900,31	1961,48	1,29948	7,678275	0,032001	5,90031	1,01904	1,018105	0,309531
37	-3	0,0891	0,0016	1,009	0,01669	2010,15	2010,146	2108,7	1996,94	2059,42	1,29743	7,724285	0,033379	6,25507	1,02101	1,020026	0,341531
38	-2	0,0887	0,0007	1,004	0,01728	2108,7	2108,695	2207,7	2094,82	2158,21	1,29555	7,767155	0,034569	6,60731	1,02306	1,022037	0,37491
39	-1	0,0884	0,0002	1,001	0,01777	2207,72	2207,715	2306,4	2193,22	2257,07	1,29382	7,80688	0,035541	6,95258	1,02519	1,024127	0,409479
40	0	0,0883	0	1	0,01813	2306,42	2306,415	2404	2291,35	2355,19	1,29225	7,843487	0,036266	7,28622	1,02738	1,026284	0,44502
41	1	0,0884	0,0002	1,001	0,01836	2403,97	2403,972	2499,5	2388,39	2451,76	1,29082	7,87703	0,03672	7,60353	1,02961	1,028492	0,481286
42	2	0,0887	0,0007	1,004	0,01844	2499,55	2499,547	2592,3	2483,5	2545,92	1,28954	7,907583	0,036885	7,89992	1,03187	1,030737	0,518006
43	3	0,0891	0,0016	1,009	0,01837	2592,3	2592,301	2681,4	2575,84	2636,86	1,28838	7,935239	0,036746	8,17101	1,03414	1,033001	0,554891
44	4	0,0897	0,0029	1,016	0,01815	2681,42	2681,417	2766,1	2664,6	2723,77	1,28735	7,960101	0,036296	8,41283	1,0364	1,035266	0,591636

45	5	0,0905	0,0045	1,025	0,01777	2766,12	2766,119	2845,7	2749	2805,9	1,28644	7,982286	0,035538	8,62192	1,03863	1,037513	0,627933
46	6	0,0915	0,0065	1,0359	0,01724	2845,69	2845,69	2919,5	2828,32	2882,59	1,28564	8,001916	0,034478	8,79547	1,04082	1,039722	0,66347
47	7	0,0926	0,0089	1,0489	0,01657	2919,49	2919,492	2987	2901,92	2953,24	1,28494	8,019122	0,033135	8,93138	1,04294	1,041876	0,697949
48	8	0,094	0,0116	1,0638	0,01577	2986,98	2986,981	3047,7	2969,25	3017,35	1,28433	8,034037	0,031534	9,02837	1,04498	1,043956	0,731084
49	9	0,0954	0,0147	1,0807	0,01485	3047,72	3047,722	3101,4	3029,88	3074,56	1,28382	8,046798	0,029705	9,08594	1,04691	1,045945	0,762617
50	10	0,0971	0,0181	1,0996	0,01384	3101,4	3101,398	3147,8	3083,49	3124,61	1,28338	8,057544	0,027689	9,10445	1,04874	1,047829	0,792323
51	11	0,099	0,0219	1,1204	0,01276	3147,82	3147,82	3186,9	3129,87	3167,37	1,28303	8,066417	0,025529	9,08501	1,05045	1,049594	0,820012
52	12	0,101	0,026	1,1431	0,01164	3186,92	3186,924	3218,8	3168,97	3202,85	1,28274	8,073556	0,023271	9,02943	1,05202	1,051231	0,84554
53	13	0,1031	0,0305	1,1678	0,01048	3218,77	3218,773	3243,5	3200,85	3231,16	1,28252	8,0791	0,020964	8,94015	1,05345	1,052732	0,868811
54	14	0,1055	0,0354	1,1945	0,00933	3243,55	3243,548	3261,5	3225,68	3252,55	1,28236	8,083186	0,018656	8,82011	1,05474	1,054093	0,889775
55	15	0,108	0,0405	1,223	0,0082	3261,54	3261,542	3273,1	3243,75	3267,34	1,28225	8,08595	0,016392	8,67263	1,05589	1,055311	0,90843
56	16	0,1107	0,0461	1,2534	0,00711	3273,14	3273,139	3278,8	3255,45	3275,97	1,28219	8,087522	0,014215	8,50127	1,05689	1,056389	0,924823
57	17	0,1136	0,052	1,2857	0,00608	3278,8	3278,803	3279,1	3261,24	3278,93	1,28217	8,088027	0,01216	8,30972	1,05777	1,057331	0,939038
58	18	0,1166	0,0582	1,3199	0,00513	3279,06	3279,057	3274,5	3261,63	3276,76	1,28218	8,087587	0,010256	8,10167	1,05852	1,058142	0,951198
59	19	0,1198	0,0647	1,356	0,00426	3274,46	3274,463	3265,6	3257,18	3270,03	1,28223	8,086314	0,008524	7,8807	1,05915	1,058831	0,961454
60	20	0,1231	0,0716	1,3938	0,00349	3265,6	3265,603	3253,1	3248,48	3259,33	1,28231	8,084317	0,006977	7,6502	1,05967	1,059409	0,969977
61	21	0,1266	0,0788	1,4336	0,00281	3253,06	3253,058	3237,4	3236,11	3245,23	1,28242	8,081695	0,005622	7,4133	1,0601	1,059886	0,976954
62	22	0,1303	0,0864	1,4751	0,00223	3237,39	3237,395	3219,1	3220,63	3228,27	1,28254	8,078538	0,004456	7,17281	1,06045	1,060273	0,982576
63	23	0,1341	0,0942	1,5184	0,00174	3219,15	3219,15	3198,8	3202,57	3208,98	1,28269	8,07493	0,003473	6,93121	1,06072	1,060583	0,987032
64	24	0,1381	0,1024	1,5634	0,00133	3198,82	3198,817	3176,8	3182,43	3187,83	1,28285	8,070945	0,00266	6,6906	1,06093	1,060827	0,990506
65	25	0,1422	0,111	1,6103	0,001	3176,84	3176,843	3153,6	3160,65	3165,23	1,28302	8,066648	0,002001	6,45275	1,0611	1,061016	0,993166
66	26	0,1465	0,1198	1,6588	0,00074	3153,62	3153,62	3129,5	3137,62	3141,55	1,2832	8,062096	0,001477	6,2191	1,06122	1,061159	0,995167
67	27	0,1509	0,1289	1,7091	0,00053	3129,48	3129,484	3104,7	3113,69	3117,1	1,28339	8,057338	0,001069	5,99078	1,06131	1,061266	0,996644
68	28	0,1555	0,1384	1,761	0,00038	3104,72	3104,721	3079,6	3089,13	3092,14	1,28359	8,052416	0,000759	5,76864	1,06138	1,061345	0,997714
69	29	0,1603	0,1481	1,8146	0,00026	3079,56	3079,565	3054,2	3064,17	3066,88	1,28379	8,047363	0,000528	5,5533	1,06142	1,061401	0,998473
70	30	0,1651	0,1582	1,8699	0,00018	3054,2	3054,203	#ЗНАЧ!	3039,01	#ЗНАЧ!	1,284	8,042209	0,000359	5,34517	1,06146	1,061441	0,999

Таблица А5 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 13000 \text{ мин}^{-1}$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ														
θ	ϕ	α	ε	μ	P_{γ}	T_{γ}	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ		
50	75	0,96	12	1,0631	0,4801	538,3254	1,1234	0,8	38,1172	0,0260	0,285	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	m ₁₋₂	X
0	-50	0,3069	0,41415	3,2778	1,09E-07	538,33	538,33	543,85	538,33	541,09			2,18E-07	0,480073	1	1	0
1	-49	0,2992	0,3992	3,1956	1,64E-06	543,85	543,85	549,50	543,84	546,68	1,401	5,99	3,27E-06	0,497477	1	1	2,18E-07
2	-48	0,2916	0,38444	3,1144	7,1E-06	549,50	549,50	555,34	549,50	552,42	1,399	6,01	1,42E-05	0,515753	1	1	3,49E-06
3	-47	0,2841	0,36988	3,0343	1,91E-05	555,34	555,34	561,39	555,33	558,36	1,398	6,03	3,82E-05	0,53498	1,000001	1,000001	1,77E-05
4	-46	0,2767	0,35552	2,9554	4,03E-05	561,39	561,39	567,73	561,37	564,56	1,396	6,05	8,06E-05	0,555255	1,000003	1,000002	5,59E-05
5	-45	0,2694	0,34137	2,8775	7,32E-05	567,73	567,73	574,43	567,69	571,08	1,395	6,07	0,000146	0,576697	1,000008	1,000006	0,000136
6	-44	0,2622	0,32744	2,8009	0,000121	574,43	574,43	581,57	574,37	578,00	1,393	6,09	0,000241	0,599448	1,000017	1,000013	0,000283
7	-43	0,2552	0,31373	2,7255	0,000185	581,57	581,57	589,25	581,49	585,41	1,392	6,11	0,00037	0,623674	1,000032	1,000025	0,000524
8	-42	0,2482	0,30024	2,6513	0,000269	589,25	589,25	597,59	589,14	593,42	1,390	6,13	0,000538	0,64957	1,000055	1,000044	0,000894
9	-41	0,2414	0,28699	2,5785	0,000375	597,59	597,59	606,71	597,45	602,15	1,388	6,15	0,000749	0,67736	1,000088	1,000072	0,001431
10	-40	0,2347	0,27398	2,5069	0,000505	606,71	606,71	616,74	606,51	611,72	1,386	6,18	0,001011	0,7073	1,000134	1,000111	0,002181
11	-39	0,2281	0,26121	2,4367	0,000663	616,74	616,74	627,82	616,48	622,28	1,384	6,20	0,001326	0,739682	1,000196	1,000165	0,003191
12	-38	0,2217	0,2487	2,3678	0,00085	627,82	627,82	640,10	627,49	633,96	1,382	6,23	0,001699	0,774833	1,000278	1,000237	0,004517
13	-37	0,2154	0,23643	2,3004	0,001068	640,10	640,10	653,74	639,68	646,92	1,380	6,26	0,002136	0,813118	1,000382	1,00033	0,006216
14	-36	0,2092	0,22443	2,2344	0,00132	653,74	653,74	668,90	653,20	661,32	1,378	6,30	0,00264	0,854945	1,000514	1,000448	0,008352
15	-35	0,2031	0,21269	2,1698	0,001607	668,90	668,90	685,75	668,22	677,32	1,375	6,33	0,003214	0,900759	1,000676	1,000595	0,010992
16	-34	0,1972	0,20123	2,1067	0,001932	685,75	685,75	704,44	684,90	695,09	1,372	6,37	0,003863	0,951048	1,000874	1,000775	0,014206
17	-33	0,1915	0,19003	2,0452	0,002294	704,44	704,44	725,14	703,39	714,79	1,369	6,42	0,004589	1,00634	1,001111	1,000992	0,01807
18	-32	0,1858	0,17912	1,9852	0,002697	725,14	725,14	748,01	723,85	736,58	1,366	6,46	0,005393	1,067203	1,001393	1,001252	0,022658
19	-31	0,1804	0,16849	1,9267	0,003139	748,01	748,01	773,21	746,44	760,61	1,363	6,51	0,006278	1,134243	1,001725	1,001559	0,028052
20	-30	0,1751	0,15816	1,8699	0,003621	773,21	773,21	800,86	771,31	787,03	1,360	6,56	0,007242	1,208096	1,002111	1,001918	0,034329
21	-29	0,1699	0,14811	1,8146	0,004143	800,86	800,86	831,10	798,58	815,98	1,356	6,61	0,008287	1,289431	1,002557	1,002334	0,041572
22	-28	0,1649	0,13837	1,761	0,004705	831,10	831,10	864,05	828,39	847,57	1,353	6,67	0,009409	1,378938	1,003066	1,002811	0,049859
23	-27	0,16	0,12892	1,7091	0,005303	864,05	864,05	899,78	860,85	881,92	1,349	6,73	0,010607	1,47732	1,003645	1,003356	0,059268
24	-26	0,1553	0,11978	1,6588	0,005937	899,78	899,78	938,39	896,05	919,09	1,346	6,78	0,011874	1,585285	1,004297	1,003971	0,069874
25	-25	0,1507	0,11096	1,6103	0,006603	938,39	938,39	979,91	934,06	959,15	1,342	6,84	0,013206	1,703532	1,005027	1,004662	0,081748
26	-24	0,1464	0,10244	1,5634	0,007298	979,91	979,91	1024,37	974,94	1002,14	1,339	6,91	0,014595	1,832737	1,00584	1,005433	0,094955
27	-23	0,1421	0,09425	1,5184	0,008016	1024,37	1024,37	1071,77	1018,70	1048,07	1,335	6,97	0,016032	1,973533	1,006737	1,006288	0,10955
28	-22	0,1381	0,08638	1,4751	0,008753	1071,77	1071,77	1122,05	1065,36	1096,91	1,332	7,03	0,017505	2,126492	1,007723	1,00723	0,125581
29	-21	0,1342	0,07883	1,4336	0,009502	1122,05	1122,05	1175,16	1114,87	1148,60	1,329	7,09	0,019004	2,292098	1,0088	1,008261	0,143087
30	-20	0,1305	0,07161	1,3938	0,010256	1175,16	1175,16	1230,97	1167,16	1203,07	1,325	7,15	0,020512	2,470725	1,009968	1,009384	0,16209

31	-19	0,1269	0,06472	1,356	0,011008	1230,97	1230,97	1289,36	1222,15	1260,17	1,322	7,21	0,022015	2,662603	1,01123	1,010599	0,182602
32	-18	0,1236	0,05817	1,3199	0,011748	1289,36	1289,36	1350,14	1279,68	1319,75	1,319	7,26	0,023496	2,867792	1,012584	1,011907	0,204618
33	-17	0,1204	0,05195	1,2857	0,012468	1350,14	1350,14	1413,08	1339,60	1381,61	1,317	7,32	0,024937	3,086143	1,014029	1,013306	0,228114
34	-16	0,1173	0,04608	1,2534	0,013159	1413,08	1413,08	1477,92	1401,67	1445,50	1,314	7,37	0,026317	3,317276	1,015562	1,014795	0,253051
35	-15	0,1145	0,04054	1,223	0,013809	1477,92	1477,92	1544,37	1465,66	1511,15	1,312	7,42	0,027618	3,560539	1,017181	1,016371	0,279368
36	-14	0,1118	0,03536	1,1945	0,014409	1544,37	1544,37	1612,10	1531,27	1578,23	1,309	7,47	0,028819	3,81499	1,018879	1,01803	0,306986
37	-13	0,1093	0,03052	1,1678	0,01495	1612,10	1612,10	1680,73	1598,17	1646,41	1,307	7,51	0,0299	4,079365	1,020651	1,019765	0,335805
38	-12	0,107	0,02603	1,1431	0,015421	1680,73	1680,73	1749,87	1666,01	1715,30	1,305	7,56	0,030841	4,352074	1,02249	1,021571	0,365705
39	-11	0,1049	0,02189	1,1204	0,015813	1749,87	1749,87	1819,11	1734,38	1784,49	1,303	7,60	0,031625	4,631185	1,024387	1,023438	0,396547
40	-10	0,1029	0,0181	1,0996	0,016117	1819,11	1819,11	1887,98	1802,89	1853,54	1,301	7,64	0,032235	4,914439	1,026332	1,025359	0,428172
41	-9	0,1012	0,01467	1,0807	0,016328	1887,98	1887,98	1956,05	1871,08	1922,02	1,300	7,67	0,032655	5,199263	1,028314	1,027323	0,460407
42	-8	0,0996	0,0116	1,0638	0,016438	1956,05	1956,05	2022,85	1938,50	1989,45	1,298	7,71	0,032875	5,48281	1,030322	1,029318	0,493062
43	-7	0,0982	0,00889	1,0489	0,016443	2022,85	2022,85	2087,92	2004,70	2055,38	1,297	7,74	0,032886	5,762005	1,032344	1,031333	0,525938
44	-6	0,097	0,00653	1,0359	0,016341	2087,92	2087,92	2150,80	2069,22	2119,36	1,296	7,76	0,032682	6,033608	1,034366	1,033355	0,558823
45	-5	0,096	0,00454	1,025	0,016131	2150,80	2150,80	2211,08	2131,61	2180,94	1,295	7,79	0,032262	6,294296	1,036376	1,035371	0,591505
46	-4	0,0951	0,00291	1,016	0,015815	2211,08	2211,08	2268,34	2191,44	2239,71	1,294	7,81	0,03163	6,54075	1,03836	1,037368	0,623768
47	-3	0,0945	0,00163	1,009	0,015396	2268,34	2268,34	2322,21	2248,30	2295,27	1,293	7,83	0,030793	6,769746	1,040306	1,039333	0,655398
48	-2	0,094	0,00073	1,004	0,01488	2322,21	2322,21	2372,37	2301,83	2347,29	1,292	7,85	0,029761	6,97826	1,042199	1,041252	0,686191
49	-1	0,0937	0,00018	1,001	0,014275	2372,37	2372,37	2418,54	2351,69	2395,45	1,291	7,87	0,028551	7,163561	1,04403	1,043114	0,715952
50	0	0,0936	0	1	0,013591	2418,54	2418,54	2460,49	2397,61	2439,51	1,290	7,89	0,027182	7,323298	1,045785	1,044907	0,744503
51	1	0,0937	0,00018	1,001	0,012838	2460,49	2460,49	2498,05	2439,35	2479,27	1,290	7,90	0,025675	7,455576	1,047457	1,046621	0,771684
52	2	0,094	0,00073	1,004	0,012029	2498,05	2498,05	2531,13	2476,76	2514,59	1,289	7,91	0,024058	7,559015	1,049036	1,048246	0,79736
53	3	0,0945	0,00163	1,009	0,011178	2531,13	2531,13	2559,66	2509,71	2545,39	1,289	7,92	0,022356	7,632787	1,050515	1,049776	0,821417
54	4	0,0951	0,00291	1,016	0,010299	2559,66	2559,66	2583,66	2538,16	2571,66	1,289	7,93	0,020597	7,676631	1,05189	1,051203	0,843773
55	5	0,096	0,00454	1,025	0,009406	2583,66	2583,66	2603,20	2562,11	2593,43	1,288	7,93	0,018811	7,690843	1,053157	1,052524	0,86437
56	6	0,097	0,00653	1,0359	0,008513	2603,20	2603,20	2618,40	2581,65	2610,80	1,288	7,94	0,017026	7,676249	1,054314	1,053735	0,883182
57	7	0,0982	0,00889	1,0489	0,007633	2618,40	2618,40	2629,44	2596,87	2623,92	1,288	7,94	0,015267	7,634151	1,055361	1,054837	0,900207
58	8	0,0996	0,0116	1,0638	0,00678	2629,44	2629,44	2636,51	2607,95	2632,98	1,288	7,95	0,013559	7,566268	1,0563	1,05583	0,915474
59	9	0,1012	0,01467	1,0807	0,005963	2636,51	2636,51	2639,87	2615,10	2638,19	1,288	7,95	0,011925	7,474655	1,057134	1,056717	0,929033
60	10	0,1029	0,0181	1,0996	0,005191	2639,87	2639,87	2639,79	2618,56	2639,83	1,288	7,95	0,010382	7,36162	1,057867	1,0575	0,940959
61	11	0,1049	0,02189	1,1204	0,004473	2639,789	2639,789	2636,548	2618,60	2638,169	1,288	7,95	0,008946	7,229643	1,058506	1,058186	0,951341
62	12	0,107	0,02603	1,1431	0,003813	2636,55	2636,55	2630,45	2615,50	2633,50	1,288	7,95	0,007626	7,08129	1,059056	1,058781	0,960287
63	13	0,1093	0,03052	1,1678	0,003215	2630,45	2630,45	2621,80	2609,56	2626,12	1,288	7,94	0,00643	6,919142	1,059525	1,05929	0,967913

64	14	0,1118	0,03536	1,1945	0,00268	2621,80	2621,80	2610,89	2601,09	2616,34	1,288	7,94	0,00536	6,745723	1,05992	1,059722	0,974342
65	15	0,1145	0,04054	1,223	0,002209	2610,89	2610,89	2598,02	2590,37	2604,46	1,288	7,94	0,004417	6,563451	1,06025	1,060085	0,979703
66	16	0,1173	0,04608	1,2534	0,001798	2598,02	2598,02	2583,46	2577,70	2590,74	1,288	7,94	0,003597	6,374589	1,060521	1,060386	0,98412
67	17	0,1204	0,05195	1,2857	0,001447	2583,46	2583,46	2567,47	2563,35	2575,47	1,289	7,93	0,002893	6,181214	1,060743	1,060632	0,987717
68	18	0,1236	0,05817	1,3199	0,001149	2567,47	2567,47	2550,29	2547,58	2558,88	1,289	7,93	0,002298	5,985202	1,06092	1,060832	0,99061
69	19	0,1269	0,06472	1,356	0,000901	2550,29	2550,29	2532,14	2530,63	2541,22	1,289	7,92	0,001802	5,788211	1,061062	1,060991	0,992908
70	20	0,1305	0,07161	1,3938	0,000697	2532,14	2532,14	2513,21	2512,71	2522,68	1,289	7,92	0,001394	5,591685	1,061173	1,061117	0,99471
71	21	0,1342	0,07883	1,4336	0,000532	2513,21	2513,21	2493,67	2494,02	2503,44	1,289	7,91	0,001064	5,396856	1,061258	1,061216	0,996105
72	22	0,1381	0,08638	1,4751	0,000401	2493,67	2493,67	2473,68	2474,72	2483,68	1,290	7,91	0,000801	5,204758	1,061324	1,061291	0,997169
73	23	0,1421	0,09425	1,5184	0,000297	2473,68	2473,68	2453,35	2454,97	2463,51	1,290	7,90	0,000595	5,01624	1,061373	1,061349	0,997971
74	24	0,1464	0,10244	1,5634	0,000217	2453,35	2453,35	2432,81	2434,89	2443,08	1,290	7,89	0,000435	4,831984	1,06141	1,061391	0,998565
75	25	0,1507	0,11096	1,6103	0,000157	2432,81	2432,81	2412,14	2414,60	2422,48	1,290	7,89	0,000313	4,652524	1,061436	1,061423	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	39382,46	7601,0658	46983,5
10	0,1745	0,3847	5,978	38784,16	7142,6654	45926,8
20	0,3491	1,5214	11,69	37007,41	5822,7542	42830,2
30	0,5236	3,3596	16,88	34106,21	3800,5329	37906,7
40	0,6981	5,8189	21,34	30168,72	1319,9112	31488,6
50	0,8727	8,7942	24,91	25314,56	-1319,911	23994,6
60	1,0472	12,163	27,47	19691,23	-3800,533	15890,7
70	1,2217	15,793	28,98	13469,6	-5822,754	7646,84
80	1,3963	19,549	29,44	6838,693	-7142,665	-303,972
90	1,5708	23,301	28,93	2,41E-12	-7601,066	-7601,07
100	1,7453	26,929	27,53	-6838,69	-7142,665	-13981,4
110	1,9199	30,329	25,39	-13469,6	-5822,754	-19292,3
120	2,0944	33,413	22,64	-19691,2	-3800,533	-23491,8
130	2,2689	36,113	19,41	-25314,6	-1319,911	-26634,5
140	2,4435	38,376	15,85	-30168,7	1319,9112	-28848,8
150	2,618	40,166	12,05	-34106,2	3800,5329	-30305,7
160	2,7925	41,458	8,1	-37007,4	5822,7542	-31184,7
170	2,9671	42,239	4,069	-38784,2	7142,6654	-31641,5
180	3,1416	42,5	3E-15	-39382,5	7601,0658	-31781,4
190	3,3161	42,239	-4,069	-38784,2	7142,6654	-31641,5
200	3,4907	41,458	-8,1	-37007,4	5822,7542	-31184,7
210	3,6652	40,166	-12,05	-34106,2	3800,5329	-30305,7
220	3,8397	38,376	-15,85	-30168,7	1319,9112	-28848,8
230	4,0143	36,113	-19,41	-25314,6	-1319,911	-26634,5
240	4,1888	33,413	-22,64	-19691,2	-3800,533	-23491,8
250	4,3633	30,329	-25,39	-13469,6	-5822,754	-19292,3
260	4,5379	26,929	-27,53	-6838,69	-7142,665	-13981,4
270	4,7124	23,301	-28,93	-7,2E-12	-7601,066	-7601,07
280	4,8869	19,549	-29,44	6838,693	-7142,665	-303,972
290	5,0615	15,793	-28,98	13469,6	-5822,754	7646,84
300	5,236	12,163	-27,47	19691,23	-3800,533	15890,7
310	5,4105	8,7942	-24,91	25314,56	-1319,911	23994,6
320	5,5851	5,8189	-21,34	30168,72	1319,9112	31488,6
330	5,7596	3,3596	-16,88	34106,21	3800,5329	37906,7
340	5,9341	1,5214	-11,69	37007,41	5822,7542	42830,2
350	6,1087	0,3847	-5,978	38784,16	7142,6654	45926,8
360	6,2832	1E-31	-8E-15	39382,46	7601,0658	46983,5
370	6,4577	0,3847	5,978	38784,16	7142,6654	45926,8
380	6,6323	1,5214	11,69	37007,41	5822,7542	42830,2
390	6,8068	3,3596	16,88	34106,21	3800,5329	37906,7
400	6,9813	5,8189	21,34	30168,72	1319,9112	31488,6
410	7,1558	8,7942	24,91	25314,56	-1319,911	23994,6
420	7,3304	12,163	27,47	19691,23	-3800,533	15890,7
430	7,5049	15,793	28,98	13469,6	-5822,754	7646,84
440	7,6794	19,549	29,44	6838,693	-7142,665	-303,972

450	7,854	23,301	28,93	1,21E-11	-7601,066	-7601,07
460	8,0285	26,929	27,53	-6838,69	-7142,665	-13981,4
470	8,203	30,329	25,39	-13469,6	-5822,754	-19292,3
480	8,3776	33,413	22,64	-19691,2	-3800,533	-23491,8
490	8,5521	36,113	19,41	-25314,6	-1319,911	-26634,5
500	8,7266	38,376	15,85	-30168,7	1319,9112	-28848,8
510	8,9012	40,166	12,05	-34106,2	3800,5329	-30305,7
520	9,0757	41,458	8,1	-37007,4	5822,7542	-31184,7
530	9,2502	42,239	4,069	-38784,2	7142,6654	-31641,5
540	9,4248	42,5	9E-15	-39382,5	7601,0658	-31781,4
550	9,5993	42,239	-4,069	-38784,2	7142,6654	-31641,5
560	9,7738	41,458	-8,1	-37007,4	5822,7542	-31184,7
570	9,9484	40,166	-12,05	-34106,2	3800,5329	-30305,7
580	10,123	38,376	-15,85	-30168,7	1319,9112	-28848,8
590	10,297	36,113	-19,41	-25314,6	-1319,911	-26634,5
600	10,472	33,413	-22,64	-19691,2	-3800,533	-23491,8
610	10,647	30,329	-25,39	-13469,6	-5822,754	-19292,3
620	10,821	26,929	-27,53	-6838,69	-7142,665	-13981,4
630	10,996	23,301	-28,93	-1,7E-11	-7601,066	-7601,07
640	11,17	19,549	-29,44	6838,693	-7142,665	-303,972
650	11,345	15,793	-28,98	13469,6	-5822,754	7646,84
660	11,519	12,163	-27,47	19691,23	-3800,533	15890,7
670	11,694	8,7942	-24,91	25314,56	-1319,911	23994,6
680	11,868	5,8189	-21,34	30168,72	1319,9112	31488,6
690	12,043	3,3596	-16,88	34106,21	3800,5329	37906,7
700	12,217	1,5214	-11,69	37007,41	5822,7542	42830,2
710	12,392	0,3847	-5,978	38784,16	7142,6654	45926,8
720	12,566	5E-31	-2E-14	39382,46	7601,0658	46983,5

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	$\cos(\beta+\phi)/\cos\beta$	p_k , Мпа	$\sin(\beta+\phi)/\cos\beta$	p_T , Мпа	T , кН	$M_{\text{кр.ц}}$, Нм
0	0,0163	21539	-2,542	-2,5253	0	0	1	-2,525	1	-2,525	0	0	0	0
10	0,0063	20988	-2,477	-2,4703	0,0521	-0,129	1,0014	-2,474	0,975767	-2,41	0,224914	-0,5556	-3,45649	-166,603
20	-0,0037	19379	-2,287	-2,2904	0,1029	-0,236	1,0053	-2,303	0,904474	-2,072	0,438741	-1,00491	-6,25169	-301,332
30	-0,0057	16838	-1,987	-1,9926	0,1514	-0,302	1,0113	-2,015	0,790277	-1,575	0,631072	-1,2575	-7,82306	-377,072
40	-0,0087	13562	-1,6	-1,609	0,1961	-0,315	1,0189	-1,639	0,639878	-1,03	0,79287	-1,27576	-7,93671	-382,549
50	-0,0117	9796	-1,156	-1,1677	0,2355	-0,275	1,027	-1,199	0,462126	-0,54	0,917162	-1,07094	-6,66246	-321,13
60	-0,0147	5811	-0,686	-0,7003	0,2683	-0,188	1,0348	-0,725	0,267354	-0,187	0,999645	-0,7001	-4,35541	-209,931
70	-0,0177	1872	-0,221	-0,2386	0,2929	-0,07	1,0412	-0,248	0,066479	-0,016	1,039078	-0,24795	-1,54255	-74,3509
80	-0,0197	-1780	0,21	0,1903	0,3082	0,0587	1,0454	0,199	-0,13008	-0,025	1,037314	0,197414	1,228141	59,19642
90	-0,0197	-4957	0,5849	0,5652	0,3134	0,1771	1,0469	0,5917	-0,31342	-0,177	0,998899	0,564582	3,512343	169,2949
100	-0,0194	-7535	0,8892	0,8697	0,3082	0,2681	1,0454	0,9093	-0,47701	-0,415	0,930268	0,809097	5,033509	242,6151
110	-0,0194	-9464	1,1167	1,0973	0,2929	0,3214	1,0412	1,1425	-0,61698	-0,677	0,838712	0,920335	5,725531	275,9706
120	-0,0194	-10762	1,2699	1,2505	0,2683	0,3355	1,0348	1,294	-0,73204	-0,915	0,731358	0,914534	5,689444	274,2312
130	-0,0194	-11508	1,358	1,3386	0,2355	0,3153	1,027	1,3747	-0,82298	-1,102	0,614368	0,822375	5,116112	246,5966
140	-0,0184	-11827	1,3956	1,3772	0,1961	0,27	1,0189	1,4032	-0,89194	-1,228	0,492477	0,678246	4,219466	203,3783
150	-0,0174	-11865	1,4	1,3826	0,1514	0,2093	1,0113	1,3983	-0,94166	-1,302	0,368864	0,509991	3,172723	152,9252
160	-0,0164	-11765	1,3882	1,3718	0,1029	0,1412	1,0053	1,3791	-0,97488	-1,337	0,24529	0,336495	2,09338	100,9009
170	-0,0144	-11650	1,3747	1,3603	0,0521	0,0708	1,0014	1,3622	-0,99385	-1,352	0,122382	0,166477	1,035679	49,91974
180	-0,0124	-11602	1,3691	1,3566	4E-17	5E-17	1	1,3566	-1	-1,357	1,23E-16	1,66E-16	1,03E-15	4,98E-14
190	-0,0104	-11649	1,3746	1,3642	-0,052	-0,071	1,0014	1,366	-0,99385	-1,356	-0,12238	-0,16695	-1,03861	-50,0611

200	-0,0084	-11762	1,388	1,3795	-0,103	-0,142	1,0053	1,3868	-0,97488	-1,345	-0,24529	-0,33838	-2,10514	-101,468
210	-0,0064	-11861	1,3996	1,3932	-0,151	-0,211	1,0113	1,4089	-0,94166	-1,312	-0,36886	-0,51388	-3,19695	-154,093
220	-0,0044	-11822	1,395	1,3906	-0,196	-0,273	1,0189	1,4169	-0,89194	-1,24	-0,49248	-0,68485	-4,26055	-205,358
230	-0,0012	-11502	1,3573	1,356	-0,236	-0,319	1,027	1,3927	-0,82298	-1,116	-0,61437	-0,8331	-5,18284	-249,813
240	0,0087	-10754	1,269	1,2777	-0,268	-0,343	1,0348	1,3222	-0,73204	-0,935	-0,73136	-0,93447	-5,81348	-280,21
250	0,0224	-9455	1,1157	1,1381	-0,293	-0,333	1,0412	1,185	-0,61698	-0,702	-0,83871	-0,95455	-5,93842	-286,232
260	0,0413	-7525	0,888	0,9293	-0,308	-0,286	1,0454	0,9716	-0,47701	-0,443	-0,93027	-0,86453	-5,37836	-259,237
270	0,0679	-4946	0,5836	0,6515	-0,313	-0,204	1,0469	0,6821	-0,31342	-0,204	-0,9989	-0,65078	-4,04857	-195,141
280	0,1060	-1767	0,2085	0,3145	-0,308	-0,097	1,0454	0,3288	-0,13008	-0,041	-1,03731	-0,32626	-2,0297	-97,8313
290	0,1620	1886	-0,223	-0,0606	-0,293	0,0177	1,0412	-0,063	0,066479	-0,004	-1,03908	0,06293	0,391498	18,87023
300	0,2470	5826	-0,687	-0,4405	-0,268	0,1182	1,0348	-0,456	0,267354	-0,118	-0,99964	0,440307	2,739215	132,0301
310	0,3801	9813	-1,158	-0,7778	-0,236	0,1832	1,027	-0,799	0,462126	-0,359	-0,91716	0,713375	4,438007	213,912
320	0,5942	13580	-1,602	-1,0082	-0,196	0,1977	1,0189	-1,027	0,639878	-0,645	-0,79287	0,799406	4,973214	239,7089
330	1,1081	16857	-1,989	-0,8811	-0,151	0,1334	1,0113	-0,891	0,790277	-0,696	-0,63107	0,556006	3,458991	166,7234
331	1,1894	17148	-2,023	-0,8341	-0,147	0,1223	1,0106	-0,843	0,803455	-0,67	-0,61308	0,511339	3,181111	153,3296
332	1,2789	17432	-2,057	-0,778	-0,142	0,1104	1,01	-0,786	0,816261	-0,635	-0,59478	0,462733	2,878728	138,7547
333	1,3773	17707	-2,089	-0,7121	-0,137	0,0977	1,0093	-0,719	0,828688	-0,59	-0,5762	0,410322	2,552672	123,0388
334	1,4853	17975	-2,121	-0,6357	-0,132	0,0842	1,0087	-0,641	0,840729	-0,534	-0,55734	0,354307	2,204192	106,242
335	1,6035	18234	-2,152	-0,5481	-0,128	0,0699	1,0081	-0,552	0,852376	-0,467	-0,5382	0,294963	1,835005	88,44724
336	1,7327	18485	-2,181	-0,4484	-0,123	0,055	1,0075	-0,452	0,863622	-0,387	-0,5188	0,23265	1,447347	69,76214
337	1,8735	18727	-2,21	-0,3362	-0,118	0,0396	1,0069	-0,339	0,874462	-0,294	-0,49914	0,167818	1,044018	50,32166
338	2,0265	18960	-2,237	-0,2108	-0,113	0,0238	1,0063	-0,212	0,884888	-0,187	-0,47924	0,101013	0,628419	30,28979
339	2,1921	19184	-2,264	-0,0716	-0,108	0,0077	1,0058	-0,072	0,894894	-0,064	-0,4591	0,032886	0,204587	9,861085
340	2,3707	19399	-2,289	0,0816	-0,103	-0,008	1,0053	0,0821	0,904474	0,074	-0,43874	-0,03581	-0,22279	-10,7386
341	2,5626	19605	-2,313	0,2492	-0,098	-0,024	1,0048	0,2504	0,913624	0,228	-0,41816	-0,10422	-0,64838	-31,2518
342	2,7678	19801	-2,337	0,4313	-0,093	-0,04	1,0043	0,4331	0,922337	0,398	-0,39738	-0,17138	-1,0662	-51,3907
343	2,9861	19987	-2,359	0,6276	-0,088	-0,055	1,0038	0,6301	0,930608	0,584	-0,3764	-0,23624	-1,46969	-70,8392
344	3,2173	20164	-2,379	0,8379	-0,083	-0,069	1,0034	0,8408	0,938433	0,786	-0,35523	-0,29766	-1,85179	-89,2562
345	3,4605	20330	-2,399	1,0615	-0,078	-0,083	1,003	1,0647	0,945806	1,004	-0,33389	-0,35444	-2,205	-106,281
346	3,7150	20487	-2,417	1,2975	-0,073	-0,094	1,0026	1,3009	0,952725	1,236	-0,31238	-0,40532	-2,52157	-121,54
347	3,9794	20633	-2,435	1,5447	-0,067	-0,104	1,0023	1,5482	0,959184	1,482	-0,29072	-0,44906	-2,79366	-134,654
348	4,2521	20769	-2,451	1,8013	-0,062	-0,112	1,0019	1,8048	0,965179	1,739	-0,26891	-0,4844	-3,01352	-145,252

349	4,5312	20894	-2,466	2,0656	-0,057	-0,118	1,0016	2,069	0,970708	2,005	-0,24698	-0,51016	-3,17378	-152,976
350	4,8144	21009	-2,479	2,3353	-0,052	-0,122	1,0014	2,3385	0,975767	2,279	-0,22491	-0,52525	-3,26765	-157,501
351	5,0993	21114	-2,491	2,6079	-0,047	-0,122	1,0011	2,6107	0,980353	2,557	-0,20274	-0,52872	-3,28926	-158,542
352	5,3828	21207	-2,502	2,8804	-0,042	-0,12	1,0009	2,8829	0,984464	2,836	-0,18047	-0,51982	-3,23387	-155,873
353	5,6620	21290	-2,512	3,1498	-0,037	-0,115	1,0007	3,1519	0,988097	3,112	-0,15811	-0,49801	-3,09818	-149,332
354	5,9336	21361	-2,521	3,413	-0,031	-0,107	1,0005	3,4146	0,991249	3,383	-0,13567	-0,46302	-2,88052	-138,841
355	6,1943	21422	-2,528	3,6665	-0,026	-0,096	1,0003	3,6677	0,99392	3,644	-0,11316	-0,41489	-2,58109	-124,408
356	6,4407	21472	-2,534	3,907	-0,021	-0,082	1,0002	3,9079	0,996107	3,892	-0,09059	-0,35395	-2,20199	-106,136
357	6,6697	21511	-2,538	4,1315	-0,016	-0,065	1,0001	4,132	0,997809	4,122	-0,06798	-0,28088	-1,74736	-84,223
358	6,8783	21539	-2,542	4,3367	-0,01	-0,045	1,0001	4,3369	0,999026	4,332	-0,04534	-0,19663	-1,22328	-58,9623
359	7,0636	21555	-2,544	4,52	-0,005	-0,024	1	4,5201	0,999757	4,519	-0,02268	-0,1025	-0,63766	-30,7351
360	7,2233	21561	-2,544	4,6791	-7E-17	-3E-16	1	4,6791	1	4,679	-2,5E-16	-1,1E-15	-7,1E-15	-3,4E-13
361	7,3556	21556	-2,544	4,812	0,0052	0,0251	1	4,8121	0,999757	4,811	0,022677	0,10912	0,678851	32,72061
362	7,4590	21539	-2,542	4,9174	0,0104	0,0514	1,0001	4,9177	0,999026	4,913	0,045342	0,222965	1,387094	66,85795
363	7,5328	21511	-2,538	4,9944	0,0157	0,0783	1,0001	4,9951	0,997809	4,984	0,067985	0,339546	2,112363	101,8159
364	7,5766	21473	-2,534	5,0429	0,0209	0,1053	1,0002	5,044	0,996107	5,023	0,090594	0,456852	2,842138	136,991
365	7,5908	21423	-2,528	5,0629	0,0261	0,1322	1,0003	5,0647	0,99392	5,032	0,113158	0,572912	3,564163	171,7927
366	7,5762	21362	-2,521	5,0555	0,0313	0,1583	1,0005	5,058	0,991249	5,011	0,135666	0,68586	4,266832	205,6613
367	7,5342	21291	-2,512	5,0219	0,0365	0,1833	1,0007	5,0252	0,988097	4,962	0,158107	0,79399	4,939525	238,0851
368	7,4663	21208	-2,503	4,9637	0,0417	0,207	1,0009	4,968	0,984464	4,887	0,180469	0,895798	5,572882	268,6129
369	7,3747	21115	-2,492	4,8831	0,0469	0,2289	1,0011	4,8885	0,980353	4,787	0,202742	0,990013	6,159009	296,8643
370	7,2616	21011	-2,479	4,7824	0,0521	0,249	1,0014	4,7888	0,975767	4,666	0,224914	1,075623	6,691598	322,535
371	7,1296	20896	-2,466	4,6639	0,0572	0,2669	1,0016	4,6716	0,970708	4,527	0,246975	1,151875	7,165973	345,3999
372	6,9813	20771	-2,451	4,5304	0,0624	0,2825	1,0019	4,5392	0,965179	4,373	0,268914	1,218277	7,57907	365,3112
373	6,8191	20635	-2,435	4,3842	0,0675	0,2959	1,0023	4,3942	0,959184	4,205	0,290719	1,274581	7,929348	382,1946
374	6,6457	20489	-2,418	4,2281	0,0726	0,307	1,0026	4,2392	0,952725	4,028	0,312381	1,320764	8,216659	396,0429
375	6,4635	20332	-2,399	4,0642	0,0777	0,3159	1,003	4,0765	0,945806	3,844	0,333888	1,356999	8,442082	406,9083
376	6,2746	20166	-2,38	3,895	0,0828	0,3225	1,0034	3,9083	0,938433	3,655	0,35523	1,383626	8,607734	414,8928
377	6,0812	19989	-2,359	3,7225	0,0879	0,3271	1,0038	3,7368	0,930608	3,464	0,376397	1,401122	8,716577	420,139
378	5,8852	19803	-2,337	3,5484	0,0929	0,3297	1,0043	3,5637	0,922337	3,273	0,397378	1,410067	8,772222	422,8211
379	5,6882	19607	-2,314	3,3746	0,0979	0,3305	1,0048	3,3907	0,913624	3,083	0,418162	1,411116	8,778751	423,1358
380	5,4917	19402	-2,289	3,2023	0,1029	0,3296	1,0053	3,2192	0,904474	2,896	0,438741	1,404976	8,740552	421,2946

381	5,2969	19187	-2,264	3,0328	0,1079	0,3273	1,0058	3,0504	0,894894	2,714	0,459104	1,392378	8,662178	417,517
382	5,1048	18963	-2,238	2,8672	0,1129	0,3236	1,0063	2,8853	0,884888	2,537	0,47924	1,374061	8,548223	412,0243
383	4,9162	18730	-2,21	2,7062	0,1178	0,3187	1,0069	2,7248	0,874462	2,366	0,499141	1,350754	8,40323	405,0357
384	4,7320	18488	-2,182	2,5505	0,1227	0,3129	1,0075	2,5695	0,863622	2,203	0,518797	1,323168	8,231613	396,7637
385	4,5525	18237	-2,152	2,4006	0,1275	0,3062	1,0081	2,4199	0,852376	2,046	0,538198	1,291982	8,037601	387,4124
386	4,4261	17978	-2,121	2,3047	0,1324	0,3051	1,0087	2,3247	0,840729	1,938	0,557336	1,28448	7,990927	385,1627
387	4,2690	17710	-2,09	2,1792	0,1372	0,2989	1,0093	2,1995	0,828688	1,806	0,576201	1,25566	7,811636	376,5208
388	4,1170	17435	-2,057	2,0597	0,142	0,2924	1,01	2,0802	0,816261	1,681	0,594784	1,225058	7,62126	367,3447
389	3,9700	17152	-2,024	1,9461	0,1467	0,2855	1,0106	1,9668	0,803455	1,564	0,613077	1,193125	7,422595	357,7691
390	3,8282	16861	-1,99	1,8386	0,1514	0,2783	1,0113	1,8594	0,790277	1,453	0,631072	1,160277	7,218244	347,9194
391	3,6914	16563	-1,954	1,737	0,156	0,2711	1,012	1,7579	0,776735	1,349	0,648759	1,126901	7,010611	337,9114
392	3,5597	16257	-1,918	1,6413	0,1607	0,2637	1,0127	1,6623	0,762838	1,252	0,666131	1,093353	6,801904	327,8518
393	3,4330	15945	-1,881	1,5515	0,1653	0,2564	1,0135	1,5724	0,748593	1,161	0,68318	1,059957	6,594139	317,8375
394	3,3112	15626	-1,844	1,4674	0,1698	0,2491	1,0142	1,4882	0,734009	1,077	0,699899	1,027004	6,389137	307,9564
395	3,1942	15300	-1,805	1,3888	0,1743	0,242	1,015	1,4096	0,719094	0,999	0,716279	0,99476	6,188541	298,2877
396	3,0819	14969	-1,766	1,3156	0,1787	0,2352	1,0157	1,3363	0,703857	0,926	0,732315	0,963459	5,993813	288,9018
397	2,9742	14631	-1,726	1,2477	0,1831	0,2285	1,0165	1,2683	0,688308	0,859	0,747998	0,933309	5,806248	279,8611
398	2,8709	14288	-1,686	1,1849	0,1875	0,2222	1,0173	1,2054	0,672456	0,797	0,763322	0,904493	5,62698	271,2205
399	2,7718	13939	-1,645	1,1271	0,1918	0,2162	1,0181	1,1474	0,656309	0,74	0,778282	0,87717	5,456995	263,0272
400	2,6769	13585	-1,603	1,0739	0,1961	0,2106	1,0189	1,0942	0,639878	0,687	0,79287	0,851473	5,297134	255,3219
410	1,9221	9819	-1,159	0,7635	0,2355	0,1798	1,027	0,7841	0,462126	0,353	0,917162	0,700229	4,356224	209,97
420	1,4293	5833	-0,688	0,741	0,2683	0,1988	1,0348	0,7667	0,267354	0,198	0,999645	0,740704	4,608021	222,1066
430	1,1010	1895	-0,224	0,8774	0,2929	0,257	1,0412	0,9136	0,066479	0,058	1,039078	0,911723	5,671958	273,3884
440	0,8766	-1757	0,2074	1,0839	0,3082	0,3341	1,0454	1,1332	-0,13008	-0,141	1,037314	1,124382	6,994939	337,1561
450	0,7192	-4934	0,5823	1,3014	0,3134	0,4079	1,0469	1,3625	-0,31342	-0,408	0,998899	1,299992	8,087431	389,8142
460	0,6064	-7513	0,8865	1,4929	0,3082	0,4601	1,0454	1,5607	-0,47701	-0,712	0,930268	1,388778	8,63978	416,4374
470	0,5242	-9441	1,1141	1,6383	0,2929	0,4799	1,0412	1,7058	-0,61698	-1,011	0,838712	1,374022	8,547985	412,0129
480	0,4636	-10739	1,2672	1,7309	0,2683	0,4644	1,0348	1,7911	-0,73204	-1,267	0,731358	1,265889	7,875272	379,5881
490	0,4190	-11486	1,3553	1,7743	0,2355	0,4179	1,027	1,8222	-0,82298	-1,46	0,614368	1,090085	6,78157	326,8717
500	0,3863	-11805	1,393	1,7793	0,1961	0,3489	1,0189	1,8129	-0,89194	-1,587	0,492477	0,876256	5,451312	262,7532
510	0,2863	-11842	1,3974	1,6837	0,1514	0,2549	1,0113	1,7027	-0,94166	-1,585	0,368864	0,621044	3,863604	186,2257
520	0,1863	-11742	1,3856	1,5719	0,1029	0,1618	1,0053	1,5802	-0,97488	-1,532	0,24529	0,38557	2,398684	115,6166

530	0,1763	-11628	1,3721	1,5484	0,0521	0,0806	1,0014	1,5505	-0,99385	-1,539	0,122382	0,189494	1,178868	56,82145
540	0,0763	-11580	1,3664	1,4427	1E-16	2E-16	1	1,4427	-1	-1,443	3,68E-16	5,3E-16	3,3E-15	1,59E-13
550	0,0263	-11627	1,3719	1,3982	-0,052	-0,073	1,0014	1,4001	-0,99385	-1,39	-0,12238	-0,17112	-1,06455	-51,3115
560	0,0163	-11740	1,3853	1,4016	-0,103	-0,144	1,0053	1,409	-0,97488	-1,366	-0,24529	-0,3438	-2,13882	-103,091
570	0,0163	-11838	1,3969	1,4132	-0,151	-0,214	1,0113	1,4292	-0,94166	-1,331	-0,36886	-0,52129	-3,24301	-156,313
580	0,0163	-11800	1,3924	1,4087	-0,196	-0,276	1,0189	1,4353	-0,89194	-1,256	-0,49248	-0,69375	-4,31593	-208,028
590	0,0163	-11480	1,3546	1,3709	-0,236	-0,323	1,027	1,4079	-0,82298	-1,128	-0,61437	-0,84224	-5,23971	-252,554
600	0,0163	-10732	1,2664	1,2827	-0,268	-0,344	1,0348	1,3273	-0,73204	-0,939	-0,73136	-0,93808	-5,83591	-281,291
610	0,0163	-9433	1,1131	1,1294	-0,293	-0,331	1,0412	1,1759	-0,61698	-0,697	-0,83871	-0,94721	-5,89273	-284,03
620	0,0163	-7503	0,8854	0,9016	-0,308	-0,278	1,0454	0,9426	-0,47701	-0,43	-0,93027	-0,83877	-5,21811	-251,513
630	0,0163	-4923	0,5809	0,5972	-0,313	-0,187	1,0469	0,6253	-0,31342	-0,187	-0,9989	-0,59658	-3,7114	-178,889
640	0,0163	-1745	0,2059	0,2222	-0,308	-0,068	1,0454	0,2323	-0,13008	-0,029	-1,03731	-0,23049	-1,4339	-69,1142
650	0,0163	1908	-0,225	-0,2089	-0,293	0,0612	1,0412	-0,217	0,066479	-0,014	-1,03908	0,217052	1,350313	65,0851
660	0,0163	5848	-0,69	-0,6738	-0,268	0,1808	1,0348	-0,697	0,267354	-0,18	-0,99964	0,673516	4,190038	201,9598
670	0,0163	9835	-1,161	-1,1442	-0,236	0,2695	1,027	-1,175	0,462126	-0,529	-0,91716	1,049435	6,528681	314,6824
680	0,0163	13602	-1,605	-1,5887	-0,196	0,3115	1,0189	-1,619	0,639878	-1,017	-0,79287	1,25967	7,836582	377,7233
690	0,0163	16879	-1,992	-1,9755	-0,151	0,2991	1,0113	-1,998	0,790277	-1,561	-0,63107	1,246672	7,75572	373,8257
700	0,0163	19421	-2,292	-2,2754	-0,103	0,2342	1,0053	-2,287	0,904474	-2,058	-0,43874	0,998327	6,210734	299,3574
710	0,0163	21032	-2,482	-2,4654	-0,052	0,1283	1,0014	-2,469	0,975767	-2,406	-0,22491	0,554512	3,449694	166,2752
720	0,0163	21583	-2,547	-2,5305	-1E-16	4E-16	1	-2,531	1	-2,531	-4,9E-16	1,24E-15	7,71E-15	3,72E-13

Таблица В2 – Суммирование значений крутящих моментов всех четырех цилиндров.

ϕ°	Цилиндры								$M_{кр}$
	1-й		2-й		3-й		4-й		
	ϕ° кривошипа	$M_{кр.ц}$ Нм	ϕ° кривошипа	$M_{кр.ц}$ Нм	ϕ° кривошипа	$M_{кр.ц}$ Нм	ϕ° кривошипа	$M_{кр.ц}$ Нм	Нм
0	0	0	180	3E-14	360	-8E-14	540	9,4E-14	0
10	10	-74,17	190	-34,69	370	72,272	550	-35,192	-71,78
20	20	-135,7	200	-68,09	380	81,271	560	-68,761	-191,2
30	30	-173,6	210	-98,44	390	45,05	570	-99,359	-326,4
40	40	-182,7	220	-123,3	400	11,04	580	-124,4	-419,3
50	50	-162,9	230	-139,6	410	-0,0935	590	-140,75	-443,4
60	60	-119,6	240	-144,3	420	14,449	600	-144,91	-394,4
70	70	-61,76	250	-134,3	430	47,803	610	-133,78	-282
80	80	0,4633	260	-107,9	440	89,611	620	-105,62	-123,5
90	90	57,576	270	-66,13	450	129,74	630	-61,092	60,089
100	100	102,3	280	-12,96	460	160,43	640	-4,044	245,72
110	110	130,72	290	44,161	470	177,26	650	58,4293	410,58
120	120	142,19	300	95,339	480	179,04	660	116,758	533,33
130	130	138,41	310	129,93	490	167,09	670	160,563	596
140	140	122,55	320	139,19	500	144,17	680	180,875	586,78
150	150	97,988	330	110,08	510	110,33	690	172,353	490,75
160	160	67,867	340	41,929	520	73,408	700	134,87	318,07
170	170	34,633	350	-22,88	530	37,252	710	73,9728	122,98
180	180	3E-14	360	-8E-14	540	9E-14	720	1,8E-13	2E-13

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

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

φ, град	K, Н	T, Н	Pк, Н	Rш.ш., Н	Kрк, Н	Rк, Н
0	0	-17,23267	-24,678	24,6780	-36,6589	36,65893
10	-3,490572	-16,534429	-23,9797	24,2325	-35,9607	36,1297
20	-6,383966	-14,484683	-21,93	22,8403	-33,9109	34,50662
30	-8,169757	-11,43759	-18,8829	20,5745	-30,8638	31,92682
40	-8,596623	-7,9810424	-15,4263	17,6600	-27,4073	28,72389
50	-7,666843	-4,697799	-12,1431	14,3609	-24,1241	25,31305
60	-5,629949	-2,0912919	-9,5366	11,0744	-21,5175	22,24188
70	-2,90631	-0,4889897	-7,9343	8,4498	-19,9152	20,12619
80	0,021802	-0,0003642	-7,44567	7,4457	-19,4266	19,42663
90	2,709474	-0,5329668	-7,97827	8,4258	-19,9592	20,14229
100	4,814065	-1,8438133	-9,28912	10,4625	-21,2701	21,80805
110	6,151684	-3,6163012	-11,0616	12,6571	-23,0426	23,84958
120	6,69109	-5,539692	-12,985	14,6076	-24,9659	25,84704
130	6,513396	-7,3626856	-14,808	16,1772	-26,7889	27,5694
140	5,766857	-8,9232833	-16,3686	17,3547	-28,3495	28,93014
150	4,611223	-10,136142	-17,5814	18,1761	-29,5624	29,91987
160	3,193732	-10,98214	-18,4274	18,7022	-30,4084	30,57565
170	1,629776	-11,48105	-18,9264	18,9964	-30,9073	30,95025
180	1,43E-15	-11,650365	-19,0957	19,0957	-31,0766	31,07662
190	-1,632361	-11,499262	-18,9446	19,0148	-30,9255	30,96857
200	-3,204022	-11,017522	-18,4628	18,7388	-30,4438	30,61192
210	-4,632256	-10,182376	-17,6277	18,2262	-29,6086	29,9688
220	-5,802054	-8,9777447	-16,4231	17,4178	-28,404	28,99053
230	-6,569428	-7,4260239	-14,8713	16,2577	-26,8523	27,64421
240	-6,792161	-5,623371	-13,0687	14,7283	-25,0496	25,95414
250	-6,320235	-3,7153845	-11,1607	12,8260	-23,1416	23,98918
260	-5,079733	-1,9455652	-9,39087	10,6767	-21,3718	21,96721
270	-3,112176	-0,6121802	-8,05749	8,6376	-20,0384	20,27867
280	-0,610102	-0,0101926	-7,4555	7,4804	-19,4364	19,44602
290	2,078167	-0,3496539	-7,79496	8,0672	-19,7759	19,8848
300	4,486551	-1,6665672	-9,11187	10,1565	-21,0928	21,5647
310	6,114464	-3,7465906	-11,1919	12,7532	-23,1728	23,96597
320	6,550209	-6,0811661	-13,5265	15,0290	-25,5074	26,33503
330	5,180414	-7,252536	-14,6978	15,5841	-26,6788	27,1771
340	1,973122	-4,4768482	-11,9222	12,0843	-23,9031	23,9844
350	-1,076531	5,09940069	-2,3459	2,5811	-14,3269	14,36724
360	-3,89E-15	15,890718	8,445413	8,4454	-3,53554	3,535538
363	3,40103	16,1102811	8,664976	9,3085	-3,31598	4,750021
370	3,824506	8,67748204	1,232177	4,0181	-10,7488	11,4089
380	2,120014	2,96800149	-4,4773	4,9539	-16,4583	16,59423
390	0,519552	0,48234784	-6,96296	6,9823	-18,9439	18,95103
400	-0,004398	-0,0026949	-7,448	7,4480	-19,429	19,42895
410	0,67997	0,25258046	-7,19272	7,2248	-19,1737	19,18573
420	2,249562	0,37849132	-7,06681	7,4162	-19,0478	19,18014
430	4,217002	-0,0704505	-7,51576	8,6180	-19,4967	19,94755
440	6,105343	-1,2009508	-8,64626	10,5846	-20,6272	21,51178
450	7,549792	-2,8916116	-10,3369	12,8004	-22,3179	23,56028

460	8,341754	-4,9037457	-12,3491	14,9025	-24,33	25,7203
470	8,425619	-6,9757451	-14,4211	16,7020	-26,402	27,71384
480	7,863268	-8,8885692	-16,3339	18,1281	-28,3148	29,3864
490	6,784346	-10,497684	-17,943	19,1828	-29,9239	30,68338
500	5,191963	-11,412692	-18,858	19,5597	-30,8389	31,27295
510	3,454471	-11,878731	-19,324	19,6304	-31,305	31,49501
520	1,753039	-12,349384	-19,7947	19,8722	-31,7756	31,82396
530	4,43E-15	-12,058119	-19,5034	19,5034	-31,4844	31,48438
540	-1,656093	-11,666443	-19,1117	19,1834	-31,0927	31,13677
550	-3,235816	-11,126852	-18,5722	18,8519	-30,5531	30,72398
560	-4,675698	-10,277866	-17,7232	18,3296	-29,7041	30,06987
570	-5,854144	-9,0583453	-16,5037	17,5112	-28,4846	29,07995
580	-6,62338	-7,4870099	-14,9323	16,3353	-26,9133	27,7163
590	-6,819346	-5,6458781	-13,0912	14,7608	-25,0721	25,98298
600	-6,295595	-3,7008999	-11,1462	12,8013	-23,1272	23,96873
610	-4,970219	-1,9036208	-9,34893	10,5880	-21,3299	21,9013
620	-2,87493	-0,5655128	-8,01082	8,5111	-19,9918	20,19743
630	-0,190306	-0,0031793	-7,44848	7,4509	-19,4294	19,43037
640	2,749613	-0,4626253	-7,90793	8,3723	-19,8889	20,07805
650	5,494484	-2,0409723	-9,48628	10,9626	-21,4672	22,15923
660	7,555896	-4,6298173	-12,0751	14,2443	-24,0561	25,2148
670	8,511762	-7,902258	-15,3476	17,5499	-27,3285	28,62338
680	8,110711	-11,354927	-18,8002	20,4752	-30,7812	31,83182
690	6,346814	-14,400386	-21,8457	22,7490	-33,8266	34,41691
700	3,481073	-16,489435	-23,9347	24,1866	-35,9157	36,084
710	8,45E-15	-17,23267	-24,678	24,6780	-36,6589	36,65893
720	0	0	-7,44531	7,4453	-19,4263	19,42626

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

Rш.ш i	Значения Rш.ш i, кН, для лучей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rш.ш 0	31080,5	31080,5	31080,5	0	0	0	0	0	0	0	31080,5	31080,5
Rш.ш 10	30582,1	30582,1	30582,1	0	0	0	0	0	0	0	30582,1	30582,1
Rш.ш 20	29042,9	29042,9	29042,9	0	0	0	0	0	0	0	29042,9	29042,9
Rш.ш 30	26572,5	26572,5	26572,5	0	0	0	0	0	0	0	0	26572,5
Rш.ш 40	23460,7	23460,7	23460,7	0	0	0	0	0	0	0	0	23460,7
Rш.ш 50	20067,9	20067,9	20067,9	0	0	0	0	0	0	0	0	20067,9
Rш.ш 60	16904,2	16904,2	16904,2	0	0	0	0	0	0	0	0	16904,2
Rш.ш 70	14628,5	14628,5	14628,5	0	0	0	0	0	0	0	14628,5	14628,5
Rш.ш 80	13848,2	13848,2	13848,2	0	0	0	0	0	0	0	13848,2	13848,2
Rш.ш 90	14633,8	14633,8	0	0	0	0	0	0	0	0	14633,8	14633,8
Rш.ш 100	16413,5	16413,5	0	0	0	0	0	0	0	0	16413,5	16413,5
Rш.ш 110	18515,9	18515,9	0	0	0	0	0	0	0	0	18515,9	18515,9
Rш.ш 120	20509,7	20509,7	0	0	0	0	0	0	0	0	20509,7	20509,7
Rш.ш 130	22188,1	22188,1	0	0	0	0	0	0	0	0	22188,1	22188,1
Rш.ш 140	23490	23490	0	0	0	0	0	0	0	0	23490	23490
Rш.ш 150	24423,3	24423,3	0	0	0	0	0	0	0	0	24423,3	24423,3
Rш.ш 160	25034,6	25034,6	25034,6	0	0	0	0	0	0	0	25034,6	25034,6
Rш.ш 170	25381,3	25381,3	25381,3	0	0	0	0	0	0	0	25381,3	25381,3
Rш.ш 180	25498,2	25498,2	25498,2	0	0	0	0	0	0	0	25498,2	25498,2
Rш.ш 190	25399,6	25399,6	25399,6	0	0	0	0	0	0	0	25399,6	25399,6
Rш.ш 200	25071	25071	25071	0	0	0	0	0	0	0	25071	25071
Rш.ш 210	24472,6	24472,6	24472,6	0	0	0	0	0	0	0	0	24472,6
Rш.ш 220	23551,5	23551,5	23551,5	0	0	0	0	0	0	0	0	23551,5
Rш.ш 230	22265,1	22265,1	22265,1	0	0	0	0	0	0	0	0	22265,1
Rш.ш 240	20621,9	20621,9	20621,9	0	0	0	0	0	0	0	0	20621,9
Rш.ш 250	18665,8	18665,8	18665,8	0	0	0	0	0	0	0	0	18665,8
Rш.ш 260	16590,2	16590,2	16590,2	0	0	0	0	0	0	0	0	16590,2
Rш.ш 270	14791,2	14791,2	14791,2	0	0	0	0	0	0	0	0	14791,2
Rш.ш 280	13871,5	13871,5	13871,5	0	0	0	0	0	0	0	13871,5	13871,5
Rш.ш 290	14348,8	14348,8	14348,8	0	0	0	0	0	0	0	14348,8	14348,8
Rш.ш 300	16150,1	16150,1	0	0	0	0	0	0	0	0	16150,1	16150,1
Rш.ш 310	18626,6	18626,6	0	0	0	0	0	0	0	0	18626,6	18626,6
Rш.ш 320	20977,9	20977,9	0	0	0	0	0	0	0	0	20977,9	20977,9
Rш.ш 330	21727	21727	0	0	0	0	0	0	0	0	21727	21727
Rш.ш 340	18430,6	18430,6	18430,6	0	0	0	0	0	0	0	18430,6	18430,6
Rш.ш 350	8814,44	8814,44	8814,44	0	0	0	0	0	0	0	8814,44	8814,44
Rш.ш 360	2042,86	2042,86	2042,86	0	0	0	0	0	0	0	2042,86	2042,86
Rш.ш 370	4084,8	4084,8	4084,8	0	0	0	0	0	0	0	4084,8	4084,8

Rш.ш 380	6431,15	6431,15	6431,15	0	0	6431,146	6431,15	6431,15	0	0	6431,15	6431,15
Rш.ш 390	0	0	0	0	0	0	0	0	11084,5	11084,5	11084,5	11084,5
Rш.ш 400	13375,6	13375,6	0	0	0	0	0	0	0	0	13375,6	13375,6
Rш.ш 410	13850,6	13850,6	0	0	0	0	0	0	0	0	13850,6	13850,6
Rш.ш 420	13612,3	13612,3	0	0	0	0	0	0	0	0	13612,3	13612,3
Rш.ш 430	13655,9	13655,9	0	0	0	0	0	0	0	0	13655,9	13655,9
Rш.ш 440	14543,1	14543,1	0	0	0	0	0	0	0	0	14543,1	14543,1
Rш.ш 450	16240,1	0	0	0	0	0	0	0	0	16240,1	16240,1	16240,1
Rш.ш 460	18363,3	18363,3	0	0	0	0	0	0	0	0	18363,3	18363,3
Rш.ш 470	20523,3	20523,3	0	0	0	0	0	0	0	0	20523,3	20523,3
Rш.ш 480	22463,6	22463,6	0	0	0	0	0	0	0	0	22463,6	22463,6
Rш.ш 490	24057,8	24057,8	0	0	0	0	0	0	0	0	24057,8	24057,8
Rш.ш 500	25273,2	25273,2	0	0	0	0	0	0	0	0	25273,2	25273,2
Rш.ш 510	25788,6	25788,6	0	0	0	0	0	0	0	0	25788,6	25788,6
Rш.ш 520	25957,5	25957,5	25957,5	0	0	0	0	0	0	0	25957,5	25957,5
Rш.ш 530	26255,8	26255,8	26255,8	0	0	0	0	0	0	0	26255,8	26255,8
Rш.ш 540	25906	25906	25906	0	0	0	0	0	0	0	25906	25906
Rш.ш 550	25568	25568	25568	0	0	0	0	0	0	0	25568	25568
Rш.ш 560	25183,5	25183,5	25183,5	0	0	0	0	0	0	0	25183,5	25183,5
Rш.ш 570	24574,6	24574,6	24574,6	0	0	0	0	0	0	0	0	24574,6
Rш.ш 580	23642,4	23642,4	23642,4	0	0	0	0	0	0	0	0	23642,4
Rш.ш 590	22339,3	22339,3	22339,3	0	0	0	0	0	0	0	0	22339,3
Rш.ш 600	20652,1	20652,1	20652,1	0	0	0	0	0	0	0	0	20652,1
Rш.ш 610	18643,9	18643,9	18643,9	0	0	0	0	0	0	0	0	18643,9
Rш.ш 620	16517	16517	16517	0	0	0	0	0	0	0	0	16517
Rш.ш 630	14697,3	14697,3	14697,3	0	0	0	0	0	0	0	0	14697,3
Rш.ш 640	13852,3	13852,3	13852,3	0	0	0	0	0	0	0	13852,3	13852,3
Rш.ш 650	14572,2	14572,2	14572,2	0	0	0	0	0	0	0	14572,2	14572,2
Rш.ш 660	16812	16812	0	0	0	0	0	0	0	0	16812	16812
Rш.ш 670	19962,9	19962,9	0	0	0	0	0	0	0	0	19962,9	19962,9
Rш.ш 680	23356,3	23356,3	0	0	0	0	0	0	0	0	23356,3	23356,3
Rш.ш 690	26475,7	26475,7	0	0	0	0	0	0	0	0	26475,7	26475,7
Rш.ш 700	28952,5	28952,5	0	0	0	0	0	0	0	0	28952,5	28952,5
Rш.ш 710	30536,4	30536,4	0	0	0	0	0	0	0	0	30536,4	30536,4
ΣRш.ш i	31080,5	31080,5	0	0	0	0	0	0	0	0	31080,5	31080,5

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

1-я кореная шейка	1-й кривошип				2-я кореная шейка			2-й кривошип			3-я кореная 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
26852,9	0	53705,75	0	-53705,75	7,1E-13	2791,2	2791,15	180	1,4E-12	-48123,45	2,9E-12	-48327,33	48327,33	540	4,43E-12	-48531,2
26561,2	10	53122,32	-3490,57	-53007,51	929,105	2517,6	2683,55	190	-1632,4	-47972,35	-1644,23	-48055,94	48084,06	550	-1656,09	-48139,53
25678	20	51356,1	-6383,97	-50957,77	1589,97	1733,6	2352,3	200	-3204	-47490,61	-3219,92	-47545,27	47654,18	560	-3235,82	-47599,94
24301,1	30	48602,24	-8169,76	-47910,67	1768,75	627,61	1876,8	210	-4632,3	-46655,46	-4653,98	-46703,2	46934,52	570	-4675,7	-46750,95
22638,9	40	45277,71	-8596,62	-44454,13	1397,28	-498,35	1483,5	220	-5802,1	-45450,83	-5828,1	-45491,13	45862,94	580	-5854,14	-45531,43
20939,3	50	41878,66	-7666,84	-41170,88	548,707	-1364,1	1470,33	230	-6569,4	-43899,11	-6596,4	-43929,6	44422,09	590	-6623,38	-43960,09
19486,6	60	38973,16	-5629,95	-38564,38	-581,106	-1766	1859,19	240	-6792,2	-42096,45	-6805,75	-42107,71	42654,16	600	-6819,35	-42118,96
18538,1	70	37076,16	-2906,31	-36962,07	-1706,96	-1613,2	2348,64	250	-6320,2	-40188,47	-6307,92	-40181,23	40673,34	610	-6295,6	-40173,98
18236,7	80	36473,45	21,80154	-36473,45	-2550,77	-972,6	2729,9	260	-5079,7	-38418,65	-5024,98	-38397,68	38725,08	620	-4970,22	-38376,7
18552,6	90	37105,11	2709,474	-37006,05	-2910,82	-39,607	2911,09	270	-3112,2	-37085,26	-2993,55	-37061,93	37182,63	630	-2874,93	-37038,6
19309,1	100	38618,13	4814,065	-38316,9	-2712,08	916,81	2862,86	280	-610,1	-36483,28	-400,204	-36479,77	36481,96	640	-190,306	-36476,26
20279,3	110	40558,62	6151,684	-40089,38	-2036,76	1633,3	2610,77	290	2078,17	-36822,74	2413,89	-36879,22	36958,14	650	2749,613	-36935,71
21271,1	120	42542,26	6691,09	-42012,78	-1102,27	1936,6	2228,29	300	4486,55	-38139,65	4990,52	-38326,85	38650,39	660	5494,484	-38514,06
22158,5	130	44317,03	6513,396	-43835,77	-199,466	1808	1819,02	310	6114,46	-40219,67	6835,18	-40661,29	41231,78	670	7555,896	-41102,9
22880,6	140	45761,19	5766,857	-45396,37	391,676	1421,1	1474,05	320	6550,21	-42554,25	7530,99	-43464,8	44112,4	680	8511,762	-44375,34
23418,4	150	46836,77	4611,223	-46609,23	284,596	1441,8	1469,62	330	5180,41	-43725,62	6645,56	-45776,81	46256,68	690	8110,711	-47828,01
23781,3	160	47562,57	3193,732	-47455,22	-610,305	3252,6	3309,41	340	1973,12	-40949,93	4159,97	-45911,7	46099,78	700	6346,814	-50873,47
23990,9	170	47981,82	1629,776	-47954,13	-1353,15	8290,2	8399,93	350	-1076,5	-31373,68	1202,27	-42168,1	42185,24	710	3481,073	-52962,52
24061,7	180	48123,45	1,43E-12	-48123,45	-2,7E-12	13771	13770,5	360	-4E-12	-20582,37	2,3E-12	-37144,06	37144,06	720	8,45E-12	-53705,75
24000,1	190	48000,11	-1632,36	-47972,35	2516,7	13805	14032,3	370	3401,03	-20362,8	1700,52	-37034,28	37073,3	0	0	-53705,75
23799,3	200	47598,57	-3204,02	-47490,61	3514,26	9847,5	10455,8	380	3824,51	-27795,6	166,967	-40401,56	40401,9	10	-3490,57	-53007,51
23442,4	210	46884,86	-4632,26	-46655,46	3376,14	6575,2	7391,31	390	2120,01	-33505,08	-2131,98	-42231,42	42285,2	20	-6383,97	-50957,77
22909,8	220	45819,66	-5802,05	-45450,83	3160,8	4730	5688,94	400	519,552	-35990,74	-3825,1	-41950,7	42124,73	30	-8169,76	-47910,67
22194	230	44387,94	-6569,43	-43899,11	3282,52	3711,7	4954,93	410	-4,3981	-36475,78	-4300,51	-40464,95	40692,83	40	-8596,62	-44454,13
21320,4	240	42640,88	-6792,16	-42096,45	3736,07	2938	4752,88	420	679,97	-36220,5	-3493,44	-38695,69	38853,07	50	-7666,84	-41170,88
20341,2	250	40682,41	-6320,23	-40188,47	4284,9	2046,9	4748,72	430	2249,56	-36094,59	-1690,19	-37329,48	37367,73	60	-5629,95	-38564,38

19376,5	260	38753,02	-5079,73	-38418,65	4648,37	937,56	4741,98	440	4217	-36543,53	655,346	-36752,8	36758,65	70	-2906,31	-36962,07
18607,8	270	37215,62	-3112,18	-37085,26	4608,76	-294,39	4618,15	450	6105,34	-37674,03	3063,57	-37073,74	37200,1	80	21,80154	-36473,45
18244,2	280	36488,38	-610,102	-36483,28	4079,95	-1440,7	4326,85	460	7549,79	-39364,7	5129,63	-38185,37	38528,38	90	2709,474	-37006,05
18440,7	290	36881,33	2078,167	-36822,74	3131,79	-2277	3872,09	470	8341,75	-41376,83	6577,91	-39846,86	40386,15	100	4814,065	-38316,9
19201,3	300	38402,63	4486,551	-38139,65	1969,53	-2654,6	3305,44	480	8425,62	-43448,83	7288,65	-41769,11	42400,27	110	6151,684	-40089,38
20340,9	310	40681,8	6114,464	-40219,67	874,402	-2571	2715,62	490	7863,27	-45361,65	7277,18	-43687,21	44289,16	120	6691,09	-42012,78
21527,7	320	43055,42	6550,209	-42554,25	117,069	-2208,3	2211,36	500	6784,35	-46970,77	6648,87	-45403,27	45887,52	130	6513,396	-43835,77
22015,7	330	44031,43	5180,414	-43725,62	5,77405	-2080,1	2080,09	510	5191,96	-47885,78	5479,41	-46641,07	46961,83	140	5766,857	-45396,37
20498,7	340	40997,44	1973,122	-40949,93	740,674	-3700,9	3774,33	520	3454,47	-48351,81	4032,85	-47480,52	47651,48	150	4611,223	-46609,23
15696,1	350	31392,15	-1076,53	-31373,68	1414,79	-8724,4	8838,36	530	1753,04	-48822,47	2473,39	-48138,85	48202,35	160	3193,732	-47455,22
10291,2	360	20582,37	-3,9E-12	-20582,37	4,2E-12	-13974	13974,4	540	4,4E-12	-48531,2	814,888	-48242,67	48249,55	170	1629,776	-47954,13
10322,4	370	20644,87	3401,03	-20362,8	-2528,56	-13888	14116,7	550	-1656,1	-48139,53	-828,047	-48131,49	48138,61	180	1,43E-12	-48123,45
14028,7	380	28057,48	3824,506	-27795,6	-3530,16	-9902,2	10512,6	560	-3235,8	-47599,94	-2434,09	-47786,14	47848,09	190	-1632,36	-47972,35
16786	390	33572,09	2120,014	-33505,08	-3397,86	-6622,9	7443,7	570	-4675,7	-46750,95	-3939,86	-47120,78	47285,2	200	-3204,02	-47490,61
17997,2	400	35994,49	519,5515	-35990,74	-3186,85	-4770,3	5736,92	580	-5854,1	-45531,43	-5243,2	-46093,44	46390,7	210	-4632,26	-46655,46
18237,9	410	36475,78	-4,3981	-36475,78	-3309,49	-3742,2	4995,65	590	-6623,4	-43960,09	-6212,72	-44705,46	45135,09	220	-5802,05	-45450,83
18113,4	420	36226,89	679,9697	-36220,5	-3749,66	-2949,2	4770,52	600	-6819,3	-42118,96	-6694,39	-43009,03	43526,91	230	-6569,43	-43899,11
18082,3	430	36164,63	2249,562	-36094,59	-4272,58	-2039,7	4734,48	610	-6295,6	-40173,98	-6543,88	-41135,22	41652,47	240	-6792,16	-42096,45
18393	440	36786,04	4217,002	-36543,53	-4593,61	-916,59	4684,16	620	-4970,2	-38376,7	-5645,23	-39282,59	39686,15	250	-6320,23	-40188,47
19082,8	450	38165,54	6105,343	-37674,03	-4490,14	317,72	4501,36	630	-2874,9	-37038,6	-3977,33	-37728,62	37937,69	260	-5079,73	-38418,65
20041,1	460	40082,15	7549,792	-39364,7	-3870,05	1444,2	4130,74	640	-190,31	-36476,26	-1651,24	-36780,76	36817,81	270	-3112,18	-37085,26
21104,7	470	42209,32	8341,754	-41376,83	-2796,07	2220,6	3570,56	650	2749,61	-36935,71	1069,76	-36709,49	36725,08	280	-610,102	-36483,28
22129,1	480	44258,24	8425,619	-43448,83	-1465,57	2467,4	2869,82	660	5494,48	-38514,06	3786,33	-37668,4	37858,21	290	2078,167	-36822,74
23019,1	490	46038,14	7863,268	-45361,65	-153,686	2129,4	2134,91	670	7555,9	-41102,9	6021,22	-39621,28	40076,19	300	4486,551	-38139,65
23729,1	500	47458,2	6784,346	-46970,77	863,708	1297,7	1558,86	680	8511,76	-44375,34	7313,11	-42297,51	42925,06	310	6114,464	-40219,67
24083,2	510	48166,42	5191,963	-47885,78	1459,37	28,883	1459,66	690	8110,71	-47828,01	7330,46	-45191,13	45781,81	320	6550,209	-42554,25
24237,5	520	48475,06	3454,471	-48351,81	1446,17	-1260,8	1918,62	700	6346,81	-50873,47	5763,61	-47299,54	47649,41	330	5180,414	-43725,62
24427	530	48853,93	1753,039	-48822,47	864,017	-2070	2243,11	710	3481,07	-52962,52	2727,1	-46956,23	47035,35	340	1973,122	-40949,93
24265,6	540	48531,2	4,43E-12	-48531,2	2E-12	-2587,3	2587,28	720	8,4E-12	-53705,75	-538,265	-42539,72	42543,12	350	-1076,53	-31373,68

24084	550	48168	-1656,09	-48139,53	828,047	-2783,1	2903,68	0	0	-53705,75	-1,9E-12	-37144,06	37144,06	360	-3,9E-12	-20582,37
23854,9	560	47709,79	-3235,82	-47599,94	-127,378	-2703,8	2706,79	10	-3490,6	-53007,51	-44,7708	-36685,16	36685,18	370	3401,03	-20362,8
23492,1	570	46984,18	-4675,7	-46750,95	-854,134	-2103,4	2270,21	20	-6384	-50957,77	-1279,73	-39376,68	39397,47	380	3824,506	-27795,6
22953,1	580	45906,23	-5854,14	-45531,43	-1157,81	-1189,6	1660,04	30	-8169,8	-47910,67	-3024,87	-40707,88	40820,11	390	2120,014	-33505,08
22228,1	590	44456,26	-6623,38	-43960,09	-986,622	-247,02	1017,07	40	-8596,6	-44454,13	-4038,54	-40222,43	40424,67	400	519,5515	-35990,74
21333,7	600	42667,44	-6819,35	-42118,96	-423,748	474,04	635,827	50	-7666,8	-41170,88	-3835,62	-38823,33	39012,34	410	-4,3981	-36475,78
20332,1	610	40664,28	-6295,6	-40173,98	332,823	804,8	870,908	60	-5629,9	-38564,38	-2474,99	-37392,44	37474,26	420	679,9697	-36220,5
19348,6	620	38697,22	-4970,22	-38376,7	1031,95	707,32	1251,09	70	-2906,3	-36962,07	-328,374	-36528,33	36529,81	430	2249,562	-36094,59
18575	630	37150	-2874,93	-37038,6	1448,37	282,57	1475,67	80	21,8015	-36473,45	2119,4	-36508,49	36569,96	440	4217,002	-36543,53
18238,4	640	36476,76	-190,306	-36476,26	1449,89	-264,89	1473,89	90	2709,47	-37006,05	4407,41	-37340,04	37599,26	450	6105,343	-37674,03
18519	650	37037,91	2749,613	-36935,71	1032,23	-690,59	1241,94	100	4814,07	-38316,9	6181,93	-38840,8	39329,68	460	7549,792	-39364,7
19452	660	38904,01	5494,484	-38514,06	328,6	-787,66	853,46	110	6151,68	-40089,38	7246,72	-40733,11	41372,71	470	8341,754	-41376,83
20895,8	670	41791,63	7555,896	-41102,9	-432,403	-454,94	627,647	120	6691,09	-42012,78	7558,35	-42730,8	43394,13	480	8425,619	-43448,83
22592,2	680	45184,3	8511,762	-44375,34	-999,183	269,79	1034,96	130	6513,4	-43835,77	7188,33	-44598,71	45174,3	490	7863,268	-45361,65
24255,4	690	48510,85	8110,711	-47828,01	-1171,93	1215,8	1688,68	140	5766,86	-45396,37	6275,6	-46183,57	46607,99	500	6784,346	-46970,77
25633,9	700	51267,85	6346,814	-50873,47	-867,795	2132,1	2301,96	150	4611,22	-46609,23	4901,59	-47247,5	47501,07	510	5191,963	-47885,78
26538,4	710	53076,8	3481,073	-52962,52	-143,671	2753,6	2757,39	160	3193,73	-47455,22	3324,1	-47903,52	48018,71	520	3454,471	-48351,81
26852,9	720	53705,75	8,45E-12	-53705,75	814,888	2875,8	2989,03	170	1629,78	-47954,13	1691,41	-48388,3	48417,85	530	1753,039	-48822,47

Таблица Г4 – 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	48327,33	48327,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48327,3
Рк.ш 10	48084,06	48084,06	48084,1	0	0	0	0	0	0	0	0	48084,1
Рк.ш 20	47654,18	47654,18	47654,2	0	0	0	0	0	0	0	0	47654,2
Рк.ш 30	46934,52	46934,52	46934,5	0	0	0	0	0	0	0	0	46934,5
Рк.ш 40	45862,94	45862,94	45862,9	0	0	0	0	0	0	0	0	45862,9
Рк.ш 50	44422,09	44422,09	44422,1	0	0	0	0	0	0	0	0	44422,1
Рк.ш 60	42654,16	42654,16	42654,2	0	0	0	0	0	0	0	0	42654,2
Рк.ш 70	40673,34	40673,34	40673,3	0	0	0	0	0	0	0	0	40673,3
Рк.ш 80	38725,08	38725,08	0	0	0	0	0	0	0	0	38725,1	38725,1
Рк.ш 90	37182,63	37182,63	0	0	0	0	0	0	0	0	37182,6	37182,6
Рк.ш 100	36481,96	36481,96	0	0	0	0	0	0	0	0	36482	36482
Рк.ш 110	36958,14	36958,14	0	0	0	0	0	0	0	0	36958,1	36958,1
Рк.ш 120	38650,39	38650,39	0	0	0	0	0	0	0	0	38650,4	38650,4
Рк.ш 130	41231,78	41231,78	0	0	0	0	0	0	0	0	41231,8	41231,8
Рк.ш 140	44112,4	44112,4	0	0	0	0	0	0	0	0	44112,4	44112,4
Рк.ш 150	46256,68	46256,68	0	0	0	0	0	0	0	0	46256,7	46256,7
Рк.ш 160	46099,78	46099,78	0	0	0	0	0	0	0	0	46099,8	46099,8
Рк.ш 170	42185,24	42185,24	0	0	0	0	0	0	0	0	42185,2	42185,2
Рк.ш 180	37144,06	37144,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37144,1
Рк.ш 190	37073,3	37073,3	37073,3	0	0	0	0	0	0	0	0	37073,3
Рк.ш 200	40401,9	40401,9	40401,9	0	0	0	0	0	0	0	0	40401,9
Рк.ш 210	42285,2	42285,2	42285,2	0	0	0	0	0	0	0	0	42285,2
Рк.ш 220	42124,73	42124,73	42124,7	0	0	0	0	0	0	0	0	42124,7
Рк.ш 230	40692,83	40692,83	40692,8	0	0	0	0	0	0	0	0	40692,8
Рк.ш 240	38853,07	38853,07	38853,1	0	0	0	0	0	0	0	0	38853,1
Рк.ш 250	37367,73	37367,73	37367,7	0	0	0	0	0	0	0	0	37367,7
Рк.ш 260	36758,65	36758,65	36758,6	0	0	0	0	0	0	0	0	36758,6
Рк.ш 270	37200,1	37200,1	37200,1	0	0	0	0	0	0	0	0	37200,1
Рк.ш 280	38528,38	38528,38	38528,4	0	0	0	0	0	0	0	0	38528,4
Рк.ш 290	40386,15	40386,15	0	0	0	0	0	0	0	0	40386,2	40386,2
Рк.ш 300	42400,27	42400,27	0	0	0	0	0	0	0	0	42400,3	42400,3
Рк.ш 310	44289,16	44289,16	0	0	0	0	0	0	0	0	44289,2	44289,2
Рк.ш 320	45887,52	45887,52	0	0	0	0	0	0	0	0	45887,5	45887,5
Рк.ш 330	46961,83	46961,83	0	0	0	0	0	0	0	0	46961,8	46961,8
Рк.ш 340	47651,48	47651,48	0	0	0	0	0	0	0	0	47651,5	47651,5
Рк.ш 350	48202,35	48202,35	48202,3	0	0	0	0	0	0	0	0	48202,3
Рк.ш 360	48249,55	48249,55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48249,6
Рк.ш 370	48138,61	48138,61	48138,6		0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 380	47848,09	0	0	0	0	0	0	0	0	47848,09303	47848,1	47848,1
Рк.ш 390	47285,2	47285,2	0	0	0	0	0	0	0	0	47285,2	47285,2
Рк.ш 400	46390,7	46390,7	0	0	0	0	0	0	0	0	46390,7	46390,7
Рк.ш 410	45135,09	45135,09	45135,1	0	0	0	0	0	0	0	0	45135,1
Рк.ш 420	43526,91	43526,91	0	0	0	0	0	0	0	0	43526,9	43526,9
Рк.ш 430	41652,47	41652,47	0	0	0	0	0	0	0	0	41652,5	41652,5
Рк.ш 440	39686,15	39686,15	0	0	0	0	0	0	0	0	39686,1	39686,1
Рк.ш 450	37937,69	37937,69	0	0	0	0	0	0	0	0	37937,7	37937,7
Рк.ш 460	36817,81	36817,81	0	0	0	0	0	0	0	0	36817,8	36817,8
Рк.ш 470	36725,08	36725,08	0	0	0	0	0	0	0	0	36725,1	36725,1
Рк.ш 480	37858,21	37858,21	0	0	0	0	0	0	0	0	37858,2	37858,2
Рк.ш 490	40076,19	40076,19	0	0	0	0	0	0	0	0	40076,2	40076,2
Рк.ш 500	42925,06	42925,06	0	0	0	0	0	0	0	0	42925,1	42925,1
Рк.ш 510	45781,81	45781,81	0	0	0	0	0	0	0	0	45781,8	45781,8
Рк.ш 520	47649,41	47649,41	0	0	0	0	0	0	0	0	47649,4	47649,4
Рк.ш 530	47035,35	47035,35	0	0	0	0	0	0	0	0	47035,3	47035,3
Рк.ш 540	42543,12	42543,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42543,1
Рк.ш 550	37144,06	37144,06	37144,1	0	0	0	0	0	0	0	0	37144,1
Рк.ш 560	36685,18	36685,18	36685,2	0	0	0	0	0	0	0	0	36685,2

Рк.ш 570	39397,47	39397,47	39397,5	0	0	0	0	0	0	0	0	39397,5
Рк.ш 580	40820,11	40820,11	40820,1	0	0	0	0	0	0	0	0	40820,1
Рк.ш 590	40424,67	40424,67	40424,7	0	0	0	0	0	0	0	0	40424,7
Рк.ш 600	39012,34	39012,34	39012,3	0	0	0	0	0	0	0	0	39012,3
Рк.ш 610	37474,26	37474,26	37474,3	0	0	0	0	0	0	0	0	37474,3
Рк.ш 620	36529,81	36529,81	36529,8	0	0	0	0	0	0	0	0	36529,8
Рк.ш 630	36569,96	36569,96	36570	0	0	0	0	0	0	0	0	36570
Рк.ш 640	37599,26	37599,26	37599,3	0	0	0	0	0	0	0	0	37599,3
Рк.ш 650	39329,68	39329,68	0	0	0	0	0	0	0	0	39329,7	39329,7
Рк.ш 660	41372,71	41372,71	0	0	0	0	0	0	0	0	41372,7	41372,7
Рк.ш 670	43394,13	43394,13	0	0	0	0	0	0	0	0	43394,1	43394,1
Рк.ш 680	45174,3	45174,3	0	0	0	0	0	0	0	0	45174,3	45174,3
Рк.ш 690	46607,99	46607,99	0	0	0	0	0	0	0	0	46608	46608
Рк.ш 700	47501,07	47501,07	0	0	0	0	0	0	0	0	47501,1	47501,1
Рк.ш 710	48018,71	48018,71	0	0	0	0	0	0	0	0	48018,7	48018,7
ΣРк.ш i	48417,85	48417,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48417,9

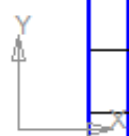
Таблица 5 - Суммарные силы действующие на 1-ю коренную шейку

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	26852,87694	26852,87694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26852,87694
Рк.ш 10	26561,15813	26561,15813	26561,15813	0	0	0	0	0	0	0	0	26561,15813
Рк.ш 20	25678,04984	25678,04984	25678,04984	0	0	0	0	0	0	0	0	25678,04984
Рк.ш 30	24301,11943	24301,11943	24301,11943	0	0	0	0	0	0	0	0	24301,11943
Рк.ш 40	22638,85628	22638,85628	22638,85628	0	0	0	0	0	0	0	0	22638,85628
Рк.ш 50	20939,32937	20939,32937	20939,32937	0	0	0	0	0	0	0	0	20939,32937
Рк.ш 60	19486,58121	19486,58121	19486,58121	0	0	0	0	0	0	0	0	19486,58121
Рк.ш 70	18538,07909	18538,07909	18538,07909	0	0	0	0	0	0	0	0	18538,07909
Рк.ш 80	18236,7272	18236,7272	0	0	0	0	0	0	0	0	18236,7272	18236,7272
Рк.ш 90	18552,55385	18552,55385	0	0	0	0	0	0	0	0	18552,55385	18552,55385
Рк.ш 100	19309,06405	19309,06405	0	0	0	0	0	0	0	0	19309,06405	19309,06405
Рк.ш 110	20279,31212	20279,31212	0	0	0	0	0	0	0	0	20279,31212	20279,31212
Рк.ш 120	21271,13067	21271,13067	0	0	0	0	0	0	0	0	21271,13067	21271,13067
Рк.ш 130	22158,51416	22158,51416	0	0	0	0	0	0	0	0	22158,51416	22158,51416
Рк.ш 140	22880,59642	22880,59642	0	0	0	0	0	0	0	0	22880,59642	22880,59642
Рк.ш 150	23418,38643	23418,38643	0	0	0	0	0	0	0	0	23418,38643	23418,38643
Рк.ш 160	23781,28555	23781,28555	0	0	0	0	0	0	0	0	23781,28555	23781,28555
Рк.ш 170	23990,91026	23990,91026	0	0	0	0	0	0	0	0	23990,91026	23990,91026
Рк.ш 180	24061,72442	24061,72442	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24061,72442
Рк.ш 190	24000,05481	24000,05481	24000,05481	0	0	0	0	0	0	0	0	24000,05481
Рк.ш 200	23799,28269	23799,28269	23799,28269	0	0	0	0	0	0	0	0	23799,28269
Рк.ш 210	23442,42774	23442,42774	23442,42774	0	0	0	0	0	0	0	0	23442,42774
Рк.ш 220	22909,83212	22909,83212	22909,83212	0	0	0	0	0	0	0	0	22909,83212
Рк.ш 230	22193,96894	22193,96894	22193,96894	0	0	0	0	0	0	0	0	22193,96894
Рк.ш 240	21320,44172	21320,44172	21320,44172	0	0	0	0	0	0	0	0	21320,44172
Рк.ш 250	20341,20415	20341,20415	20341,20415	0	0	0	0	0	0	0	0	20341,20415
Рк.ш 260	19376,5081	19376,5081	19376,5081	0	0	0	0	0	0	0	0	19376,5081
Рк.ш 270	18607,81041	18607,81041	18607,81041	0	0	0	0	0	0	0	0	18607,81041
Рк.ш 280	18244,18858	18244,18858	18244,18858	0	0	0	0	0	0	0	0	18244,18858
Рк.ш 290	18440,66691	18440,66691	0	0	0	0	0	0	0	0	18440,66691	18440,66691
Рк.ш 300	19201,31575	19201,31575	0	0	0	0	0	0	0	0	19201,31575	19201,31575
Рк.ш 310	20340,90008	20340,90008	0	0	0	0	0	0	0	0	20340,90008	20340,90008
Рк.ш 320	21527,71125	21527,71125	0	0	0	0	0	0	0	0	21527,71125	21527,71125
Рк.ш 330	22015,71318	22015,71318	0	0	0	0	0	0	0	0	22015,71318	22015,71318
Рк.ш 340	20498,72027	20498,72027	0	0	0	0	0	0	0	0	20498,72027	20498,72027
Рк.ш 350	15696,07357	15696,07357	15696,07357	0	0	0	0	0	0	0	0	15696,07357
Рк.ш 360	10291,18282	10291,18282	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10291,18282
Рк.ш 370	10322,43595	10322,43595	10322,43595	0	0	0	0	0	0	0	14028,741160	10322,43595
Рк.ш 380	14028,74116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14028,74116	14028,74116
Рк.ш 390	16786,04324	16786,04324	0	0	0	0	0	0	0	0	16786,04324	16786,04324
Рк.ш 400	17997,24283	17997,24283	0	0	0	0	0	0	0	0	17997,24283	17997,24283
Рк.ш 410	18237,88941	18237,88941	18237,88941	0	0	0	0	0	0	0	0	18237,88941
Рк.ш 420	18113,44259	18113,44259	0	0	0	0	0	0	0	0	18113,44259	18113,44259

Рк.ш 430	18082,31268	18082,31268	0	0	0	0	0	0	0	0	18082,31268	18082,31268
Рк.ш 440	18393,02177	18393,02177	0	0	0	0	0	0	0	0	18393,02177	18393,02177
Рк.ш 450	19082,76764	19082,76764	0	0	0	0	0	0	0	0	19082,76764	19082,76764
Рк.ш 460	20041,07406	20041,07406	0	0	0	0	0	0	0	0	20041,07406	20041,07406
Рк.ш 470	21104,66103	21104,66103	0	0	0	0	0	0	0	0	21104,66103	21104,66103
Рк.ш 480	22129,11982	22129,11982	0	0	0	0	0	0	0	0	22129,11982	22129,11982
Рк.ш 490	23019,07113	23019,07113	0	0	0	0	0	0	0	0	23019,07113	23019,07113
Рк.ш 500	23729,09798	23729,09798	0	0	0	0	0	0	0	0	23729,09798	23729,09798
Рк.ш 510	24083,20975	24083,20975	0	0	0	0	0	0	0	0	24083,20975	24083,20975
Рк.ш 520	24237,52967	24237,52967	0	0	0	0	0	0	0	0	24237,52967	24237,52967
Рк.ш 530	24426,96498	24426,96498	0	0	0	0	0	0	0	0	24426,96498	24426,96498
Рк.ш 540	24265,60156	24265,60156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24265,60156
Рк.ш 550	24084,00225	24084,00225	24084,00225	0	0	0	0	0	0	0	0	24084,00225
Рк.ш 560	23854,8966	23854,8966	23854,8966	0	0	0	0	0	0	0	0	23854,8966
Рк.ш 570	23492,09167	23492,09167	23492,09167	0	0	0	0	0	0	0	0	23492,09167
Рк.ш 580	22953,11537	22953,11537	22953,11537	0	0	0	0	0	0	0	0	22953,11537
Рк.ш 590	22228,12961	22228,12961	22228,12961	0	0	0	0	0	0	0	0	22228,12961
Рк.ш 600	21333,7199	21333,7199	21333,7199	0	0	0	0	0	0	0	0	21333,7199
Рк.ш 610	20332,1388	20332,1388	20332,1388	0	0	0	0	0	0	0	0	20332,1388
Рк.ш 620	19348,60795	19348,60795	19348,60795	0	0	0	0	0	0	0	0	19348,60795
Рк.ш 630	18575,00234	18575,00234	18575,00234	0	0	0	0	0	0	0	0	18575,00234
Рк.ш 640	18238,3797	18238,3797	18238,3797	0	0	0	0	0	0	0	0	18238,3797
Рк.ш 650	18518,9563	18518,9563	0	0	0	0	0	0	0	0	18518,9563	18518,9563
Рк.ш 660	19452,00413	19452,00413	0	0	0	0	0	0	0	0	19452,00413	19452,00413
Рк.ш 670	20895,81314	20895,81314	0	0	0	0	0	0	0	0	20895,81314	20895,81314
Рк.ш 680	22592,15042	22592,15042	0	0	0	0	0	0	0	0	22592,15042	22592,15042
Рк.ш 690	24255,42308	24255,42308	0	0	0	0	0	0	0	0	24255,42308	24255,42308
Рк.ш 700	25633,92261	25633,92261	0	0	0	0	0	0	0	0	25633,92261	25633,92261
Рк.ш 710	26538,39781	26538,39781	0	0	0	0	0	0	0	0	26538,39781	26538,39781
ΣРк.ш i	26852,87694	26852,87694	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26852,87694

Приложение Д – Спецификация сборочного чертежа

Форм. Зона Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Документация</u>		
A4	16.БР.ЭМСУ.004.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	56	
A1	16.БР.ЭМСУ.004.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
		<u>Сборочные единицы</u>		
	1	16.БР.ЭМСУ.004.01.000.СБ	Блок цилиндров	1
	2	16.БР.ЭМСУ.004.02.000.СБ	Вал коленчатый	1
	3	16.БР.ЭМСУ.004.03.000.СБ	Головка цилиндров	1
	4	16.БР.ЭМСУ.004.04.000.СБ	Демпфер крутильных колебаний	1
	5	16.БР.ЭМСУ.004.05.000.СБ	Картер масляный	1
	6	16.БР.ЭМСУ.004.06.000.СБ	Коллектор выпускной	2
	7	16.БР.ЭМСУ.004.07.000.СБ	Колпачок маслоотражательный	16
	8	16.БР.ЭМСУ.004.08.000.СБ	Кольцо маслоъемное	8
	9	16.БР.ЭМСУ.004.09.000.СБ	Маховик	1
	10	16.БР.ЭМСУ.004.10.000.СБ	Насос водяной	1
	11	16.БР.ЭМСУ.004.11.000.СБ	Насос масляный	1
	12	16.БР.ЭМСУ.004.12.000.СБ	Натяжитель ремня автоматический	1
	13	16.БР.ЭМСУ.004.13.000.СБ	Приемник масляного насоса	1
	14	16.БР.ЭМСУ.004.14.000.СБ	Правка головки блока	1
			16.БР.ЭМСУ.004.00.000.СБ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горбунков А.А.		
Проб.		Смоленский		
Н.контр.		Смоленский		
Утв.		Павлов Д.А.		
			Двигатель модернизированный	
			Литера	Лист
				Листов
				1
				3
			ТГУ, ЭМСбэ-1131	



Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		31	16.БР.ЭМСУ.004.00.031	Кольцо компрессионное верхнее	8	
		32	16.БР.ЭМСУ.004.00.032	Кольцо компрессионное нижнее	8	
		33	16.БР.ЭМСУ.004.00.033	Кольцо стопорное	16	
		34	16.БР.ЭМСУ.004.00.034	Крышка головки цилиндров	2	
		35	16.БР.ЭМСУ.004.00.035	Крышка защитная задняя	1	
		36	16.БР.ЭМСУ.004.00.036	Крышка защитная передняя	1	
		37	16.БР.ЭМСУ.004.00.037	Муфта опоры ресивера	4	
		38	16.БР.ЭМСУ.004.00.038	Палец поршневой	8	
		39	16.БР.ЭМСУ.004.00.039	Полукольцо упорного подшипника	1	
		40	16.БР.ЭМСУ.004.00.040	Полукольцо упорного подшипника	1	
		41	16.БР.ЭМСУ.004.00.041	Поршень	8	
		42	16.БР.ЭМСУ.004.00.042	Пружина клапана	32	
		43	16.БР.ЭМСУ.004.00.043	Ремень зубчатый	1	
		44	16.БР.ЭМСУ.004.00.044	Сухарь клапана	64	
		45	16.БР.ЭМСУ.004.00.045	Тарелка пружины	32	
		46	16.БР.ЭМСУ.004.00.046	Труба впускная	1	
		47	16.БР.ЭМСУ.004.00.047	Шкив зубчатый впускного распределительного вала	2	
		48	16.БР.ЭМСУ.004.00.048	Шкив зубчатый водяного насоса	1	
		49	16.БР.ЭМСУ.004.00.049	Шкив зубчатый коленчатого вала	1	
		50	16.БР.ЭМСУ.004.00.050	Штуцер крепления фильтра	1	
16.БР.ЭМСУ.004.00.000						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	3	