

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

Институт энергетики и электротехники

(институт, факультет)

Энергетические машины и системы управления

(кафедра)

13.03.03 (141100.62) «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Двигатель ВАЗ с непосредственным впрыском топлива при
помощи пьезофорсунок

Студент(ка)

Сафуанов Максим Олегович

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Нормоконтроль

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

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

Институт энергетики и электротехники

(институт, факультет)

Энергетические машины и системы управления

(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой «ЭМСУ» _____

(подпись)

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Сафуанов Максим Олегович

1. Тема проекта Двигатель ВАЗ с непосредственным впрыском топлива при помощи пьезофорсунок

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 16-18 июня 2016 года,
согласно утвержденному графику защиты ВКР на 2015-2016 уч. год.

3. Исходные данные к проекту Двигатель на базе ВАЗ 11194 с системой
непосредственного впрыска, рабочий объем 1,4 л. Степень сжатия $\varepsilon = 11$.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих
разработке вопросов, разделов) Тепловой расчет двигателя; Расчет
кинематики и динамики двигателя; Расчет основных деталей двигателя;
Обзор состояния вопроса. Непосредственный впрыск топлива. Расчет
Пьезофорсунок.

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

ВСХ - 1 лист формата А1

Диаграммы теплового расчета - 1 лист формата А1

Диаграмма кинематического и динамического расчетов - 2 листа формата А1

Конструкторский чертеж пьезофорсунок - 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)

М.О. Сафуанов

(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 Сафуанов Максим Олегович
по теме Двигатель ВАЗ с непосредственным впрыском топлива при помощи пьезофорсунок

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

Студент _____ М.О. Сафуанов
(подпись) (И.О. Фамилия)

Руководитель _____ В.В. Смоленский
(подпись) (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 2016 г.

АННОТАЦИЯ

Расчетно-пояснительная записка к бакалаврской работе:
55 страниц, 25 таблиц, 7 рисунков, 5 приложений.

НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ ВПРЫСК ТОПЛИВА, СКОРОСТЬ СГОРАНИЯ, ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, СКОРОСТЬ, УСКОРЕНИЕ, СИЛЫ ИНЕРЦИИ, СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВ, СУММАРНЫЕ СИЛЫ, КРУТЯЩИЕ МОМЕНТЫ, УРАВНОВЕШИВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ.

Целью данной работы является оценка возможностей и эффективности использования в качестве форсунки для непосредственного впрыска пьезофорсунки.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка включает в себя тепловой расчет при выбранных условиях, кинематический и динамический расчеты, а также расчеты основных деталей и систем проектируемого двигателя, специальная часть содержит расчет электромагнитной форсунки для питания двигателя при непосредственном впрыске топлива.

В графической части проекта приводятся продольный и поперечный разрезы двигателя, а также графики кинематического и динамического расчетов, диаграмма ВСХ, и специальная часть.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании двигателей легковых автомобилей.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Тепловой расчет двигателя с непосредственным впрыском топлива....	8
1.1 Топливо.....	8
1.2 Параметры рабочего тела.....	8
1.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы.....	10
1.4 Расчет процесса впуска.....	11
1.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси	12
1.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания.....	14
1.7 Расчет процессов расширения и выпуска.....	17
1.8 Индикаторные показатели рабочего цикла.....	18
1.9 Эффективные показатели двигателя.....	19
1.10 Основные параметры цилиндра двигателя.....	21
1.11 Тепловой баланс двигателя.....	22
2 Расчет кинематики и динамики.....	25
2.1 Кинематика.....	25
2.2 Динамика	25
2.2.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма	25
2.2.2 Силы инерции.....	26
2.2.3 Суммарные силы.....	26
2.2.4 Крутящие моменты.....	27
2.2.5 Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала.....	28
2.2.6 Силы, действующие на колено вала.....	28
2.2.7 Силы, действующие на коренные шейки.....	29
2.2.8 Равномерность крутящего момента и равномерность хода двигателя.....	30

3 Расчет на прочность основных деталей двигателя.....	31
3.1 Расчет поршневой группы.....	31
3.1.1 Расчет поршня.....	31
3.1.2 Расчет поршневого кольца.....	33
3.1.3 Расчет поршневого пальца.....	35
4 Обзор состояния вопроса. Непосредственный впрыск топлива.....	38
4.1 Исторический обзор.....	38
4.2 Разновидности непосредственного впрыска.....	39
4.2.1 MMC GDI.....	39
4.2.2 PSA, BMW HPi.....	40
4.2.3 Nissan DI (Neo DI)	41
4.2.4 VAG FSI, T-FSI, TSI.....	41
4.2.5 Toyota D-4.....	42
4.2.6 Ford SCi.....	43
4.2.7 Daimler Chrysler, Mercedes CGI.....	44
4.2.8 Renault IDE.....	44
4.2.9 SAAB SCC.....	45
4.3 Устройство пьезофорсунки.....	45
4.4 Расчет пьезофорсунки.....	49
Заключение.....	53
Список использованных источников.....	54
Приложение А - Результаты теплового расчета.....	57
Приложение Б - Результаты кинематического расчета.....	67
Приложение В - Результаты динамического расчета.....	69
Приложение Г - результаты расчетов сил действующих в КШМ.....	75
Приложение Д – Спецификация сборочного чертежа.....	85

ВВЕДЕНИЕ

Для современных двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей общего назначения характерны многие элементы, которые еще несколько лет назад были достоянием лишь гоночных двигателей. Основные работы ведутся в направлении повышения удельной мощности двигателей, уменьшения токсичности выхлопных газов, уменьшения расхода топлива, повышения надежности и долговечности. Повышение удельной мощности, надежности и долговечности двигателей способствует увеличению уверенности водителя в процессе управления автомобилем, особенно при маневрировании в сложных ситуациях. Уменьшение токсичности выхлопных газов - основная проблема в странах с высоким уровнем автомобилизации, и от решения ее зависят не только условия, в которых работает водитель, их комфортабельность, но и здоровье, жизнь многих людей. Двигатели внутреннего сгорания насчитывают уже более чем столетнюю историю. Совсем недавно казалось, что они уже достигли совершенства и дальнейших перспектив развития у них уже нет. Но инженеры разрабатывающие двигатели считают иначе. Системой электронного впрыска топлива сегодня уже никого не удивишь. Разработчики известного японского концерна Mitsubishi предложили вариант "бензинового дизельного" двигателя, в котором топливовоздушная смесь впрыскивается не во впускной коллектор, а непосредственно в камеру сгорания, подобно обычному дизельному двигателю [8].

Так, например, при использовании системы непосредственного впрыска вместо систем распределенного (многоточечного) или центрального впрыска токсичность отработавших газов по оксидам углерода снижается на 20-30% на режиме частичных нагрузок и режиме холостого хода (что особенно важно в условиях города, крупного мегаполиса) и на 10-15% при работе на мощностных режимах. Мощность силового агрегата при этом возрастает на 10-15%, а момент на 6-12% за счет более высоких степеней сжатия и более качественному протеканию рабочего процесса.

1 Тепловой расчет двигателя с непосредственным впрыском топлива

Произвести расчет четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с системой непосредственного впрыска, предназначенного для легкового автомобиля ВАЗ 11194 с рабочим объемом 1,4 л. Двигатель четырехцилиндровый, $i = 4$ с рядным расположением. Система охлаждения жидкостная закрытого типа. Степень сжатия $\varepsilon = 11$.

При проведении теплового расчета для нескольких скоростных режимов обычно выбирают 3-4 основных режима.

С учетом приведенных рекомендаций и задания ($V_H = 1,4$ л), тепловой расчет последовательно проводится для $n = 900, 3500, 6000$ и 6800 мин^{-1} .

1.1 Топливо

В соответствии с заданной степенью сжатия $\varepsilon = 11$ можно использовать бензин марки АИ-95 [1].

Средний элементарный состав и молекулярная масса бензина [1] $C = 0,855; H = 0,145$ и $m_T = 115 \text{ кг моль}$.

Низшая теплота сгорания топлива [1]

$$H_u = 33,91C \cdot 125,60H - 10,89 O - S - 2,51 \cdot 9H + W = 33,91 \cdot 0,855 + +125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43930 \text{ кДж кг.} \quad (1.1)$$

1.2 Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива [1]

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \cdot \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} = \quad (1.2)$$
$$= \frac{1}{0,208} \cdot \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} = 0,516 \text{ кмоль возд кг топл.};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \frac{8}{3} C + 8H - O = \quad (1.3)$$

$$= \frac{1}{0,23} \cdot \frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 = 14,957 \text{ кг возд / кг топл.}$$

На основных режимах принимаем $\alpha = 1,1$; $\alpha = 1,05$, а на режиме минимальной частоты вращения $\alpha = 1,2$.

Далее непосредственный числовой расчет будет проводиться только для режима номинальной мощности, а для остальных режимов окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в табличной форме.

Количество горючей смеси

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_T} = \quad (1.4)$$

$$= 1,05 \cdot 0,516 + \frac{1}{115} = 0,5514 \text{ кмоль гор. см / кг топл.}$$

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,855}{12} = 0,0712 \text{ кмоль } CO_2 \text{ / кг топл.}; \quad (1.5)$$

$$M_{CO} = 0 \text{ т.к. } \alpha > 1; M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,145}{2} = 0,0725 \text{ кмоль } H_2O \text{ / кг топл.}; \quad (1.6)$$

$$M_{H_2} = 0 \text{ т.к. } \alpha > 1; M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 = \quad (1.7)$$

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

$$M_{O_2} = 0,208 \cdot \alpha - 1 \cdot L_0 = \quad (1.8)$$

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

Общее количество продуктов сгорания[1]:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} + M_{O_2} = \quad (1.9)$$

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

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Рабочее тело

Параметры	Рабочее тело			
	Двигатель с непосредственным впрыском топлива			
$n, \text{мин}^{-1}$	900	3500	6000	6800
α	1,2	1,1	1,05	1,05
$M_1, \frac{\text{кмоль гор. см.}}{\text{кг топл.}}$	0,6289	0,5772	0,5514	0,5514
$M_{CO_2}, \frac{\text{кмоль } CO_2}{\text{кг топл.}}$	0,0712	0,0712	0,0712	0,0712
$M_{CO}, \frac{\text{кмоль } CO}{\text{кг топл.}}$	0	0	0	0
$M_{H_2O}, \frac{\text{кмоль } H_2O}{\text{кг топл.}}$	0,0725	0,0725	0,0725	0,0725
$M_{H_2}, \frac{\text{кмоль } H_2}{\text{кг топл.}}$	0	0	0	0
$M_{N_2}, \frac{\text{кмоль } N_2}{\text{кг топл.}}$	0,4912	0,4503	0,4298	0,4298
$M_{O_2}, \frac{\text{кмоль } O_2}{\text{кг топл.}}$	0,0215	0,0108	0,0054	0,0054
$M_2, \frac{\text{кмоль прод. сг.}}{\text{кг топл.}}$	0,6564	0,6048	0,5789	0,5789

1.3 Параметры окружающей среды и остаточные газы

Давление и температура окружающей среды при работе двигателей без наддува $p_k = p_0 = 0,101 \text{ МПа}$ и $T_k = T_0 = 293 \text{ К}$. [1]

Примем при номинальных режимах $T_r = 1040 \text{ К}$. Давление остаточных газов p_r , можно принять на номинальном скоростном режиме $p_{rN} = 0,11 \text{ МПа}$. Тогда величины давлений на остальных режимах работы двигателя можно подсчитать по формулам [1]:

$$A_p = \frac{p_{rN} - p_0 \cdot 1,035 \cdot 10^8}{(n_N^2 \cdot p_0)} = \quad (1.10)$$

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

$$p_r = p_0 \cdot 1,035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2 = \quad (1.11)$$

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

1.4 Расчет процесса впуска

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

$$A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N), \quad (1.12)$$

следовательно ΔT :

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n). \quad (1.13)$$

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

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \left(\beta^2 + \xi_{BП} \right) \frac{A_n^2 n^2 \rho_k \cdot 10^{-6}}{2} \text{ МПа.} \quad (1.14)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа.} \quad (1.15)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} p_r}{\varepsilon \varphi_{доz} p_a - \varphi_{оч} p_r}, \quad (1.16)$$

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

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r) ; K. \quad (1.17)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \left[\varphi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \varphi_{оч} \cdot p_r \right] \quad (1.18)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \left[\left(\alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_B} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / \left[k + \alpha \cdot l_0 \cdot p_a \right] \quad (M^3), \quad (1.19)$$

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Расчет процесса впуска

n, мин ⁻¹	ΔT, °C	Δp _a , Мпа	p _a , Мпа	φ _{оч}	φ _{доз}	γ _r	T _a , К	η _v	V _a , К
900	24,6875	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	16,5625	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

1.5 Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (1.20)$$

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (1.21)$$

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} \quad \text{МПа} \quad (1.22)$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad \text{К} \quad (1.23)$$

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

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{\lambda} \right\} - \left\langle \cos \Theta \right\rangle + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \Theta} \right] \right]; \quad (1.24)$$

$$P_y = P_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1}; \text{МПа}; \quad T_y = T_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1-1}; \text{К}; \quad (1.25)$$

Результаты расчета процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - 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	1,050601	1,3702	2,337381	828,9211	12	0,11026	1,967552	791,23
2000	1,03894	1,374725	2,273893	824,503	14	0,117763	1,80708	774,445
3500	1,039063	1,37283	2,194925	805,3634	16	0,124724	1,639063	743,95
5000	1,038972	1,37496	2,086875	806,2679	19	0,141498	1,405866	723,92
5600	1,050855	1,37538	2,045133	804,9556	24	0,164719	1,143217	686,809
Двигатель ВАЗ-2112								
900	1,060488	1,37058	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	1,37378	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
------	----------	--------	----------	----------	----	----------	----------	--------

1.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_u - 119950(\alpha - \alpha_0)}{H_u}, \quad (1.26)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

$$\xi = \delta * \Psi; \quad (1.27)$$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi * H_u}{1 + \gamma_r \xi * l_0 + 1}; \text{ кДж/кг.} \quad (1.28)$$

$$E_2 = \left(0.002 \frac{\varepsilon}{V_a} \right) q_z; \text{ МПа} \quad (1.29)$$

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi \phi'_1 - \psi \phi'_2)}{K_{1-2} \psi \phi'_1 - \psi \phi'_2}, \quad (1.30)$$

где

$$\psi \phi'_1 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \varphi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi'} \right) \right]; \quad (1.31)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (1.32)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

$$\Delta\chi_{1-2} = \frac{1}{2} \left[\exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (1.33)$$

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[76.7 - \left(13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (1.34)$$

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} \quad (1.35)$$

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

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (1.36)$$

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

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi \Phi'_2}{P_y \psi \Phi'_2 \mu_{1-2}}, \quad (1.37)$$

где:

$$\Psi \Phi'_2 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (1.38)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos(\varphi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\varphi'))^2} \right]; \quad (1.39)$$

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} - \mu_1 = 1 + \frac{\mu_{0\max} - 1 \left[1 - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right]}{1 + \gamma_r}. \quad (1.40)$$

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

$$\chi = 1 - \exp \left[-6.908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_z} \right)^{m+1} \right]. \quad (1.41)$$

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

п, мин ⁻¹ 1	δ	ψ	ξ	q _z , Дж/кг	E ₂ , МПа	φ_z , 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 ВАЗ-2112							
900	0.9435	0,81	0,764277	2095,696	43,98798	40	3.1
2600	1	0,86	0,86	2284,733	46,40438	48	3.2
3700	1	0,96	0,96	2556,549	50,28953	55	3.3
5000	1	0,97	0,97	2592,875	50,44589	58	3.4
5600	1	0,99	0,99	2646,799	49,49647	62	3.5

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

1.7 Расчет процессов расширения и выпуска

Степень последующего расширения при V_z

$$\delta = V_a / V_z \quad (1.44)$$

Средний показатель политропы расширения находится методом последовательных приближений из уравнения:

$$n_2 = 1 + \frac{8.314}{23.7 + 0.0046 \left(\frac{1}{\delta^{n_1-1}} + 1 \right) \cdot T_z}; \quad (1.45)$$

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа}; \quad (1.46)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К}; \quad (1.47)$$

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

$$V_{PT} = \frac{V_a}{\varepsilon} \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{1} \cdot \left(\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos \varphi_{PT} + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi_{PT}} \right] \right) \right], \quad (1.48)$$

$$P_{PT} = P_b \cdot \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2}; \quad (1.49)$$

$$T_{PT} = T_b \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2-1}; \quad (1.50)$$

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} \text{ К} \quad (1.51)$$

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100 (T_r - T_r')}{T_r} \% \quad (1.52)$$

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

$n, \text{мин}^{-1}$	$V_z, \text{м}^3$	$T_z, \text{К}$	$P_z, \text{МПа}$	δ	n_2	$P_b, \text{МПа}$	$T_b, \text{К}$	$T_r, \text{К}$	$\Delta, \%$
900	0,120284	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 ВА3-2112									
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

1.8 Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций:

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} |V_{2i} - V_{1i}|; \quad (1.53)$$

Расчётное среднее индикаторное давление

$$P_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{\pi - 1 \bar{V}_a}, \quad \text{МПа} \quad (1.54)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_V \cdot H_u} \quad (1.55)$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u} \cdot 10^3, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч} \quad (1.56)$$

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

$n, \text{ мин}^{-1}$	$L_i, \text{ кДж}$	$P_i, \text{ Мпа}$	$N_i, \text{ кВт}$	η_i	$g_i, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$
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

1.9 Эффективные показатели двигателя

Предварительно задаемся ходом поршня $S = 75,6 \text{ мм}$. Вычислим среднюю скорость поршня

$$v_{п.ср.} = \frac{S \cdot n}{30000} = \frac{75,6 \cdot 6000}{30000} = 15,12 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.57)$$

Среднее давление механических потерь для высокофорсированных двигателей с электронным впрыском

$$p_M = 0,024 + 0,0053 \cdot v_{п.ср.} = \quad (1.58)$$

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

Среднее эффективное давление и механический КПД

$$p_e = p_i - p_M = 1,195 - 0,104 = 1,091 \text{ МПа;} \quad (1.59)$$

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i} = \frac{1,091}{1,195} = 0,913. \quad (1.60)$$

Эффективный КПД и эффективный удельный расход топлива

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,395 \cdot 0,913 = 0,361; \quad (1.61)$$

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} = \frac{3600}{43,93 \cdot 0,361} = 227 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}. \quad (1.62)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.8.

Таблица 1.8 - Индикаторные и эффективные параметры двигателей

Параметры	Индикаторные и эффективные параметры двигателей			
	Двигатель с непосредственным впрыском топлива			
$n, \text{мин}^{-1}$	900	3500	6000	6800
$p'_i, \text{МПа}$	1,114	1,355	1,258	1,182
$p_i, \text{МПа}$	1,058	1,287	1,195	1,123
η_i	0,409	0,435	0,395	0,383
$g_i, \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	201	189	208	214
$v_{\text{п.ср.}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	2,27	8,82	15,12	17,14
$p_M, \text{МПа}$	0,036	0,071	0,104	0,115
$p_e, \text{МПа}$	1,022	1,216	1,091	1,008
η_M	0,966	0,945	0,913	0,898
η_e	0,395	0,411	0,361	0,344
$g_e, \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	208	200	227	238

1.10 Основные параметры цилиндра и двигателя

Литраж двигателя $V_H = 1,39$ л, задан по условию.

Рабочий объем одного цилиндра

$$V_h = \frac{V_H}{i} = \frac{1,39}{4} = 0,348 \text{ л.} \quad (1.63)$$

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

$$D = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,348}{3,14 \cdot 0,988}} = 76,5 \text{ мм.} \quad (1.64)$$

Окончательно принимаем $D = 76,5$ мм и $S = 75,6$ мм.

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

Площадь поршня

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 76,5^2}{4} = 45,96 \text{ см}^2. \quad (1.65)$$

Мощность двигателя

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{1,091 \cdot 1,39 \cdot 6000}{30 \cdot 4} = 75,8 \text{ кВт.} \quad (1.66)$$

Литровая мощность двигателя

$$N_l = \frac{N_e}{V_H} = \frac{75,8}{1,39} = 54,5 \frac{\text{кВт}}{\text{л}}. \quad (1.67)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3,14} \cdot \frac{75,8}{6000} = 120,7 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (1.68)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e \cdot 10^{-3} = 75,8 \cdot 227 \cdot 10^{-3} = 17,23 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}. \quad (1.69)$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 1.9.

Таблица 1.9 - Основные параметры и показатели двигателей

Параметры	Основные параметры и показатели двигателя с непосредственным впрыском топлива			
$n, \text{мин}^{-1}$	900	3500	6000	6800
$F_{\text{п}}, \text{см}^2$	45,96			
$S, \text{мм}$	75,6			
$D_{\text{ц}}, \text{мм}$	76,5			
$V_H, \text{л}$	1,39			
$N_{\text{л}}, \frac{\text{кВт}}{\text{л}}$	54,5			
$v_{\text{п.ср.}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	15,12			
$N_e, \text{кВт}$	10,65	49,31	75,8	79,4
$M_e, \text{Н} \cdot \text{м}$	113	134,5	120,7	111,5
$G_T, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$	2,21	9,84	17,23	18,92

1.11 Тепловой баланс двигателя

В общем виде внешний тепловой баланс двигателя может быть представлен в виде следующих составляющих:

$$Q_0 = Q_e + Q_r + Q_{\text{в}} + Q_{\text{н.с.}} + Q_{\text{ост.}}. \quad (1.70)$$

Общее количество теплоты, введенный в двигатель с топливом:

$$Q_0 = \frac{H_u \cdot G_T}{3,6} = \frac{43930 \cdot 17,23}{3,6} = 210309 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}. \quad (1.71)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 \cdot N_e = 1000 \cdot 75,8 = 75818 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}. \quad (1.72)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot H_u - \Delta H_u}{\alpha \cdot H_u} =$$

$$= \frac{0,48 \cdot 4 \cdot 76,5^{1+2 \cdot 0,65} \cdot 43930 - 0}{1,05 \cdot 43930} = 56277 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}, \quad (1.73)$$

где c – коэффициент пропорциональности для четырехтактных двигателей; m – показатель степени для четырехтактных двигателей.

Теплота, потерянная с отработавшими газами:

$$Q_r = \frac{G_T}{3,6} \cdot M_2 \cdot m c''_V \frac{t_r}{t_0} + 8,315 \cdot t_r - M_1 \cdot m c_V \frac{t_0}{t_0} + 8,315 \cdot t_0 =$$

$$= \frac{17,23}{3,6} \cdot 0,579 \cdot 25,129 + 8,315 \cdot 754 - 0,551 \cdot 20,775 + 8,315 \cdot 20 = 68347 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}; \quad (1.74)$$

где $m c''_V \frac{t_r}{t_0} = 25,129 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{град}}$ – теплоемкость отработавших газов

(определена методом интерполяции при $\alpha = 1,05$

и $t_r = T_r - 273 = 1027 - 273 = 754^\circ\text{C}$);

$m c_V \frac{t_0}{t_0} = 20,775 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{град}}$ – теплоемкость свежего заряда

(определена для воздуха методом интерполяции

при $t_0 = T_0 - 273 = 293 - 273 = 20^\circ\text{C}$).

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива:

$$Q_{\text{н.с.}} = \frac{\Delta H_u \cdot G_T}{3,6} = \frac{0 \cdot 17,23}{3,6} = 0. \quad (1.75)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ост.}} &= Q_0 - Q_e + Q_r + Q_{\text{в}} + Q_{\text{н.с.}} = \\ &= 210309 - 75818 + 68347 + 56277 + 0 = 9866 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}. \end{aligned} \quad (1.76)$$

Результаты расчетов теплового баланса сведены в таблицу 1.10.

Таблица 1.10 – Составляющие теплового баланса

Двигатель с непосредственным впрыском топлива								
Составляющие теплового баланса	Частота вращения двигателя, мин ⁻¹							
	900		3500		6000		6800	
	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$
Теплота, эквивалентная эффективной работе	10653	39,5	49309	41,1	75818	36,0	79398	34,4
Теплота, передаваемая охлаждающей среде	6703	24,8	33486	27,9	56277	26,8	53662	23,3
Теплота, унесенная с отработавшими газами	7320	27,1	37142	30,9	68347	32,5	76977	33,3
Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива	0	0	0	0	0	0	0	0
Неучтенные потери теплоты	2314	8,6	97	0,1	9866	4,7	20800	9,0
Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом	26990	100	120034	100	210309	100	230838	100

2 Расчет кинематики и динамики

2.1 Кинематика

Премещение поршня

$$S_x = R \left[-\cos \varphi + \frac{\lambda}{4} (-\cos 2\varphi) \right] \text{ мм.} \quad (2.1)$$

Скорость поршня

$$v_{\Pi} = \omega R \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \text{ м / с.} \quad (2.2)$$

Ускорении поршня

$$j = \omega^2 R \left[\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi \right] \text{ м / с}^2. \quad (2.3)$$

Расчет S_x , v_{Π} и j_n производится аналитически через каждые 10^0 угла поворота коленчатого вала. Расчитанные значения ускорения поршня представлены в таблице 3.1, и на плакате кинематики КШМ.

2.2 Динамика

2.2.1 Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

С учетом диаметра цилиндра, отношения S/D, рядного расположения цилиндров и достаточно высокого значения p_z устанавливаются:

- масса поршневой группы (для поршня из алюминиевого сплава $m_{\Pi}=100$ кг/м²)

$$m_n = m_n \cdot F_n = 100 \cdot 0,005282 = 0,528 \text{ кг;} \quad (2.4)$$

- масса шатуна (для стального кованного шатуна $m_{ш}=150$ кг/м²)

$$m_{ш} = m_{ш} \cdot F_n = 150 \cdot 0,0052783 = 0,792 \text{ кг;} \quad (2.5)$$

- масса неуравновешенных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k \cdot F_n = 140 \cdot 0,0052783 = 0,739 \text{ кг.} \quad (2.6)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$m_{ш.п.} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,792 = 0,218 \text{ кг.} \quad (2.7)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа

$$m_{ш.к.} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,792 = 0,574 \text{ кг.} \quad (2.8)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение

$$m_j = m_n + m_{ш.п.} = 0,528 + 0,218 = 0,746 \text{ кг.} \quad (2.9)$$

Массы, совершающие вращательное движение

$$m_R = m_k + m_{ш.к.} = 0,739 + 0,574 = 1,313 \text{ кг.} \quad (2.10)$$

2.2.2 Силы инерции

Определяем значения силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс

$$P_j = -m_j j = 0,746 \cdot j \quad (2.11)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна одного цилиндра

$$K_{Rш} = -m_{ш.к.} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,574 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -6,9974 \text{ кН.} \quad (2.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rк} = -m_{к.} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,739 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -9,0088 \text{ кН.} \quad (2.13)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2 = -1,0313 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -16,0062 \text{ кН.} \quad (2.14)$$

2.2.3 Суммарные силы

Сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$P = \Delta P_r + P_j \quad (2.15)$$

Нормальная сила

$$N = P \operatorname{tg} \beta \quad (2.16)$$

Сила (кН), действующая вдоль шатуна

$$S = P * \frac{1}{\cos \beta} \quad (2.17)$$

Сила (кН), действующая по радиусу кривошипа

$$K = P * \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \quad (2.18)$$

Полная тангенциальная сила (кН)

$$T = \frac{P \sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \quad (2.19)$$

Результаты динамического расчета графически представлены на плакате.

2.2.4 Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = T \cdot R \quad (2.20)$$

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ц.} = M_i = \frac{M_e}{\eta_M} = \frac{145}{0,86} = 168 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.21)$$

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

$$M_{кр.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{кр.i} + M_{кр.i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{360^\circ} = 155 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.22)$$

Ошибка

$$\Delta = (168 - 155) \cdot 100 / 168 = 7,8\% \quad (2.23)$$

Максимальный и минимальный крутящие моменты:

$$M_{кр.мах} = 409,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.24)$$

$$M_{кр. \min} = - 57,0 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.25)$$

2.2.5 Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа

$$P_k = K + K_{Rш} = (K - 5108) \text{ Н}. \quad (2.26)$$

Значения $R_{ш.ш.}$ для различных φ занесены в таблицу 4.3. Диаграмма $R_{ш.ш.}$ в прямоугольных координатах приведена на плакате.

Среднее значение $R_{ш.ш.}$ определяется по развернутой диаграмме

$$R_{ш.ш.ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{ш.ш.i} + R_{ш.ш.i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 9342 \text{ Н}. \quad (2.27)$$

По полярной диаграмме строится диаграмма износа шатунной шейки. Сумма сил $R_{ш.ш.}$, действующих по каждому лучу диаграммы износа (от 1 до 12), определяется с помощью таблицы 4.4.

По данным таблицы 4.4 по каждому лучу откладываем величины суммарных сил $\sum R_{ш.ш.i}$ от окружности к центру. По лучам 4 и 5 силы $\sum R_{ш.ш.i}$ действуют только в интервале $350^\circ < \varphi < 360^\circ$.

2.2.6 Силы, действующие на колено вала

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа

$$K_{P_k} = P_k + K_{Rk} = (P_k - 15324) \text{ Н}. \quad (2.28)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала

$$R_k = \sqrt{R_{ш.ш.}^2 + K_{Rk}^2}. \quad (2.29)$$

2.2.7 Силы, действующие на коренные шейки

Сила, действующая на первую коренную шейку

$$R_{\kappa.ш.1} = -0,5 * R_{k1} \text{ (таблица 26, графы 1 - 4).} \quad (2.30)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку

$$R_{\kappa.ш.2} = \sqrt{T_{k2}^2 + K_{k2}^2}, \quad (2.31)$$

где:

$$T_{k2} = -0,5 * (T_1 + T_2 * \cos \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \sin \gamma_{k(1-2)}) = -0,5 * (T_1 + T_2 * \cos 180^\circ - K_{pk2} * \sin 180^\circ) = -0,5 * (T_1 - T_2); \quad (2.32)$$

$$K_{k2} = -0,5 * (K_{pk1} + T_2 * \sin \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \cos \gamma_{k(1-2)}) = -0,5 * (T_1 + T_2 * \sin 180^\circ - K_{pk2} * \cos 180^\circ) = -0,5 * (K_{pk1} - K_{pk2}). \quad (2.33)$$

Сила, действующая на третью коренную шейку

$$R_{\kappa.ш.3} = \sqrt{T_{k3}^2 + K_{k3}^2}, \quad (2.34)$$

где:

$$T_{k3} = -0,5 * (T_2 + T_3 * \cos \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \sin \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0,5 * (T_2 + T_3 * \cos 0^\circ - K_{pk3} * \sin 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0,5 * (T_2 + T_3); \quad (2.35)$$

$$K_{k3} = -0,5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \cos \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0,5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin 0^\circ - K_{pk3} * \cos 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0,5 * (K_{pk2} - K_{pk3}). \quad (2.36)$$

Диаграммы $R_{\kappa.ш1}$, $R_{\kappa.ш2}$, $R_{\kappa.ш3}$, перестроены в прямоугольные координаты.

По этим диаграммам определяем:

- для 1 (5)-й коренной шейки:

$$R_{\kappa.ш1cp} = \sum_{i=1}^n ((R_{\kappa.ш1i} + R_{\kappa.ш1i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 9325 H, \quad (2.36)$$

- для 2 (4)-й коренной шейки:

$$R_{\kappa.ш2cp} = \sum_{i=1}^n ((R_{\kappa.ш2i} + R_{\kappa.ш2i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 3350 H, \quad (2.37)$$

- для 3-й коренной шейки:

$$R_{\kappa.ш3cp} = \sum_{i=1}^n ((R_{\kappa.ш3i} + R_{\kappa.ш3i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 18058 H, \quad (2.38)$$

2.2.8 Равномерность крутящего момента и равномерность хода двигателя

Равномерность крутящего момента

$$\mu = \frac{M_{кр. \max} - M_{кр. \min}}{M_{кр. \text{ср.}}} = \frac{299,87 - (201,57 + 147,93)}{2} = 4,74 \quad (2.39)$$

Избыточная работа крутящего момента

$$L_{изб} = A * 4 * \pi / (4 * 90) = 16961 * 4 * \pi / 360 = 592,05 \text{ Дж}, \quad (2.40)$$

где $L_{изб}$ - площадь над прямой среднего крутящего момента.

Равномерность хода двигателя принимаем $\delta = 0,015$.

Момент инерции движущихся масс двигателя, приведенных к оси коленчатого вала

$$I_0 = L_{изб} / (\delta * \omega^2) = 592,02 / (0,015 * 586^2) = 0,115 \text{ кг} * \text{м}^2. \quad (2.41)$$

3 Расчет на прочность основных деталей двигателя

3.1 Расчет поршневой группы

3.1.1 Расчет поршня

Напряжение изгиба в днище поршня

$$\sigma_{из} = p_{zd} \cdot \frac{r_i}{\delta}^2 = 8,336 \cdot \frac{10,45}{5,5}^2 = 30,1 \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

$$\text{где } r_i = \frac{D}{2} - s + t + \Delta t = \frac{76,5}{2} - 24 + 3 + 0,8 = 10,45 \text{ мм.}$$

Напряжение сжатия в сечении х-х

$$\sigma_{сжс} = \frac{P_{zd}}{F_{x-x}} = \frac{0,0383}{0,0032} = 11,9 \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

$$\text{где } P_{zd} = p_{zd} \cdot F_{\Pi} = 8,336 \cdot 45,96 \cdot 10^{-4} = 0,0383 \text{ МН};$$

$$\begin{aligned} F_{x-x} &= \frac{\pi}{4} \cdot d_k^2 - d_i^2 - n'_{\Pi} \cdot F' = \\ &= \frac{3,14}{4} \cdot 68,9^2 - 19^2 - 10 \cdot 23,7 \times 10^{-6} = 0,0032 \text{ м}^2; \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$d_k = D - 2 \cdot t + \Delta t = 76,5 - 2 \cdot 3 + 0,8 = 68,9 \text{ мм}; \quad (3.4)$$

$$F' = d_k - d_i \cdot \frac{d_m}{2} = 68,9 - 19 \cdot \frac{0,95}{2} = 23,7 \text{ мм}^2. \quad (3.5)$$

Напряжение разрыва в сечении х-х:

максимальная угловая скорость холостого хода

$$\omega_{x.x.max} = \frac{\pi \cdot n_{x.x.max}}{30} = \frac{3,14 \cdot 6800}{30} = 712 \text{ рад/с}; \quad (3.6)$$

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

$$m_{x-x} = 0,5 \cdot m_{\Pi} = 0,5 \cdot 0,235 = 0,118 \text{ кг}; \quad (3.7)$$

максимальная разрывающая сила

$$\begin{aligned} P_j &= m_{x-x} \cdot R \cdot \omega_{x.x.max}^2 \cdot 1 + \lambda = \\ &= 0,118 \cdot 0,0378 \cdot 712^2 \times 1 + 0,2381 = 0,0029 \text{ МН}; \end{aligned} \quad (3.8)$$

напряжение разрыва

$$\sigma_P = \frac{P_j}{F_{x-x}} = \frac{0,0029}{0,0032} = 0,9 \text{ МПа}. \quad (3.9)$$

Напряжение в верхней кольцевой перемычке:

— среза

$$\tau = 0,0314 \cdot p_{зд} \cdot \frac{D}{h_{\Pi}} = 0,0314 \cdot 8,336 \cdot \frac{76,5}{3,8} = 5,27 \text{ МПа}; \quad (3.10)$$

— изгиба

$$\sigma_{из} = 0,0045 \cdot p_{зд} \cdot \frac{D}{h_{\Pi}}^2 = 0,0045 \cdot 8,336 \cdot \frac{76,5}{3,8}^2 = 15,2 \text{ МПа}; \quad (3.11)$$

— сложное

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{15,2^2 + 4 \cdot 5,27^2} = 18,5 \text{ МПа}. \quad (3.12)$$

Удельное давление на стенку цилиндра:

$$q_1 = \frac{N_{max}}{(h_{ю} \cdot D)} = \frac{0,0014}{(0,0268 \cdot 0,0765)} = 0,68 \text{ МПа}; \quad (3.13)$$

$$q_2 = \frac{N_{max}}{(H \cdot D)} = \frac{0,0014}{(0,0414 \cdot 0,0765)} = 0,44 \text{ МПа.} \quad (3.14)$$

Диаметры головки и юбки поршня с учетом монтажных зазоров:

$$D_{\Gamma} = D - \Delta_{\Gamma} = 76,5 - 0,551 = 75,95 \text{ мм;} \quad (3.15)$$

$$D_{\text{ю}} = D - \Delta_{\text{ю}} = 76,5 - 0,153 = 76,35 \text{ мм,} \quad (3.16)$$

где $\Delta_{\Gamma} = 0,0072 \cdot 76,5 = 0,551 \text{ мм; } \Delta_{\text{ю}} = 0,002 \cdot 76,5 = 0,153 \text{ мм.}$

Диаметральные зазоры в горячем состоянии

$$\begin{aligned} \Delta'_{\Gamma} &= D \cdot 1 + \alpha_{\text{ц}} \cdot T_{\text{ц}} - T_0 - D_{\Gamma} \cdot 1 + \alpha_{\text{п}} \cdot T_{\Gamma} - T_0 = \\ &= 76,5 \cdot 1 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 385 - 293 - 75,95 \times \\ &\quad \times 1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot 590 - 293 = 0,132 \text{ мм;} \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \Delta'_{\text{ю}} &= D \cdot 1 + \alpha_{\text{ц}} \cdot T_{\text{ц}} - T_0 - D_{\text{ю}} \cdot 1 + \alpha_{\text{п}} \cdot T_{\text{ю}} - T_0 = \\ &= 76,5 \cdot 1 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 385 - 293 - 76,35 \times \\ &\quad \times 1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot 410 - 293 = 0,034 \text{ мм,} \end{aligned} \quad (3.18)$$

где $T_{\text{ц}} = 385 \text{ К, } T_{\Gamma} = 590 \text{ К, } T_{\text{ю}} = 410 \text{ К, } T_0 = 293 \text{ К}$ приняты с учетом жидкостного охлаждения двигателя.

3.1.2 Расчет поршневого кольца

Среднее давление кольца на стенку цилиндра

$$p_{\text{нб}} = 0,152 \cdot E \frac{\frac{A_0}{t}}{\left(\frac{D}{t} - 1\right)^3 \cdot \left(\frac{D}{t}\right)} = 0,152 \cdot 1,2 \cdot 10^5 \cdot \frac{\frac{9}{3}}{\left(\frac{76,5}{3} - 1\right)^3 \cdot \left(\frac{76,5}{3}\right)} = 0,146 \text{ МПа,} \quad (3.19)$$

где $A_0 = 3 \cdot t = 3 \cdot 3 = 9$ мм.

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

$$p = p_{cp} \cdot \mu_k, \quad (3.20)$$

где μ_k - переменный коэффициент, определяемый изготовителем в соответствии с принятой формой эпюры давления кольца на зеркало цилиндра. Для бензиновых двигателей можно принять грушевидную форму эпюры давления кольца со следующими параметрами:

Угол ψ , определяющий положение текущего давления кольца, град	0	30	60	90	120	150	180
Коэффициент μ_k	1,05	1,04	1,02	1,0	1,02	1,27	1,5
Давление p в соответствующей точке	0,153	0,152	0,149	0,146	0,149	0,185	0,219

Напряжение изгиба кольца в рабочем состоянии

$$\sigma_{\epsilon\zeta 1} = 2,61 \cdot p_{\text{н\ddot{o}}} \cdot \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2 = 2,61 \cdot 0,146 \cdot \left(\frac{76,5}{3} - 1 \right)^2 = 229 \text{ МПа.} \quad (3.21)$$

Напряжение изгиба при надевании кольца на поршень

$$\sigma_{\epsilon\zeta 2} = \frac{4 \cdot E \cdot \left(1 - 0,114 \cdot \frac{A_0}{t} \right)}{m \cdot \left(\frac{D}{t} - 1,4 \right) \left(\frac{D}{t} \right)} = \frac{4 \cdot 1,2 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,114 \cdot \frac{9}{3} \right)}{m \cdot \left(\frac{76,5}{3} - 1,4 \right) \left(\frac{76,5}{3} \right)} = 327 \text{ МПа.} \quad (3.22)$$

Монтажный зазор в замке поршневого кольца

$$\begin{aligned}\Delta_k &= \Delta'_k + \pi \cdot D \cdot \left[\alpha_k \cdot T_k - T_0 - \alpha_{\delta} \cdot T_{\delta} - T_0 \right] = \\ &= 0,07 + 3,14 \cdot 76,5 \cdot \left[11 \cdot 10^{-6} \cdot 490 - 293 - 11 \cdot 10^{-6} \cdot 385 - 293 \right] = 0,348 \text{ мм},\end{aligned}\quad (3.23)$$

где $\Delta'_k = 0,07 \text{ мм}$, $T_{\delta} = 385 \text{ К}$, $T_k = 490 \text{ К}$, $T_0 = 293 \text{ К}$.

3.1.3 Расчет поршневого пальца

Расчетная сила, действующая на поршневой палец:

$$P_{z \max} = p_{z \max} \cdot F_{\bar{l}} = 8,336 \cdot 45,96 \cdot 10^{-4} = 0,0383 \text{ МН}; \quad (3.24)$$

- инерционная

$$P_j = -m_{\bar{l}} \cdot \omega_M^2 \cdot R \cdot 1 + \lambda \cdot 10^{-6} = 0,235 \cdot 367^2 \cdot 0,0378 \cdot 1 + 0,2381 \cdot 10^{-6} = -0,00153 \text{ МН}, \quad (3.25)$$

$$\text{где } \omega_M = \frac{\pi \cdot n_M}{30} = \frac{3,14 \cdot 3500}{30} = 367 \text{ рад/с};$$

-расчетная

$$P = P_{z \max} + k \cdot P_j = 0,0383 - 0,8 \cdot 0,00153 = 0,0371 \text{ МН}. \quad (3.26)$$

Удельное давление пальца на втулку поршневой головки шатуна

$$q_{\phi} = \frac{P}{d_{\bar{l}} \cdot l_{\phi}} = \frac{0,0371}{0,018 \cdot 0,019} = 108,4 \text{ МПа}. \quad (3.27)$$

Удельное давление пальца на бобышки

$$q_d = \frac{P}{d_i \cdot l_i - b} = \frac{0,0371}{0,018 \cdot 0,0528 - 0,0233} = 69,8 \text{ МПа.} \quad (3.28)$$

Напряжение изгиба в среднем сечении пальца

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{P \cdot l_i + 2b - 1,5l_{\text{ср}}}{1,2 \cdot 1 - \alpha^4 \cdot d_i^3} = \frac{0,0371 \cdot 0,0528 + 2 \cdot 0,0233 - 1,5 \cdot 0,019}{1,2 \cdot 1 - 0,583^4 \cdot 0,018^3} = 424,9 \text{ МПа,} \quad (3.29)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{d_{\text{ср}}}{d_i} = \frac{10,5}{18} = 0,583.$$

Касательные напряжения среза в сечениях между бобышками и головкой шатуна

$$\tau = \frac{0,85 \cdot P \cdot 1 + \alpha + \alpha^2}{1 - \alpha^4 \cdot d_i^2} = \frac{0,85 \cdot 0,0371 \cdot 1 + 0,583 + 0,583^2}{1 - 0,583^4 \cdot 0,018^2} = 211,7 \text{ МПа.} \quad (3.30)$$

Наибольшее увеличение горизонтального диаметра пальца при овализации

$$\Delta d_{n \max} = \frac{1,35 \cdot P}{E \cdot l_{\text{II}}} \cdot \left(\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} \right)^3 \cdot \left[1 - \left(1 - 0,4 \right)^3 \right] = \frac{1,35 \cdot 0,0379}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,6} \cdot \left(\frac{1 + 0,682}{1 - 0,682} \right)^3 \cdot \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] \cdot 1000 = 0,049 \text{ мм} \quad (3.31)$$

Напряжения овализации на внешней поверхности пальца:

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

$$\sigma_{\alpha 0^\circ} = \frac{15 * P}{l_n * d_n} * \left[0,19 * \frac{(2 + \alpha) * (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] * \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \frac{15 * 0,0379}{0,06 * 0,022} * \left[0,19 * \frac{(2 + 0,682) * (1 + 0,682)}{(1 - 0,682)^2} - \frac{1}{1 - 0,682} \right] * \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 178 \text{ МПа} ; \quad (3.32)$$

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

$$\sigma_{\alpha 90^\circ} = \frac{15 * P}{l_n * d_n} * \left[0,174 * \frac{(2 + \alpha) * (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} + \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] * \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \frac{15 * 0,0379}{0,06 * 0,022} * \left[0,174 * \frac{(2 + 0,682) * (1 + 0,682)}{(1 - 0,682)^2} + \frac{0,636}{1 - 0,682} \right] * \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -286 \text{ МПа} . \quad (3.33)$$

Напряжения овализации на внутренней поверхности пальца:

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

$$\sigma_{i 0^\circ} = - \frac{15 * P}{l_n * d_n} * \left[0,19 * \frac{(1 + 2\alpha) * (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2 * \alpha} + \frac{1}{1 - \alpha} \right] * \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = - \frac{15 * 0,0379}{0,06 * 0,022} * \left[0,19 * \frac{(1 + 2 * 0,682) * (1 + 0,682)}{(1 - 0,682)^2 * 0,682} + \frac{1}{1 - 0,682} \right] * \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = -341 \text{ МПа} ; \quad (3.34)$$

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

$$\sigma_{i 90^\circ} = \frac{15 * P}{l_n * d_n} * \left[0,174 * \frac{(1 + 2\alpha) * (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2 * \alpha} - \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] * \left[1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \frac{15 * 0,0379}{0,06 * 0,022} * \left[0,174 * \frac{(1 + 2 * 0,682) * (1 + 0,682)}{(1 - 0,682)^2 * 0,682} - \frac{0,636}{1 - 0,682} \right] * \left[1 - (0,682 - 0,4)^3 \right] = 268 \text{ МПа} . \quad (3.35)$$

4 Обзор состояния вопроса. Непосредственный впрыск топлива

4.1 Исторический обзор

Бензиновому двигателю не раз предрекали скорую кончину. Но этот мотор продолжает совершенствоваться и не сдает своих позиций. Очередным этапом его развития в конце 90-х прошлого столетия стала подача бензина прямо в камеру сгорания – так называемый непосредственный впрыск.

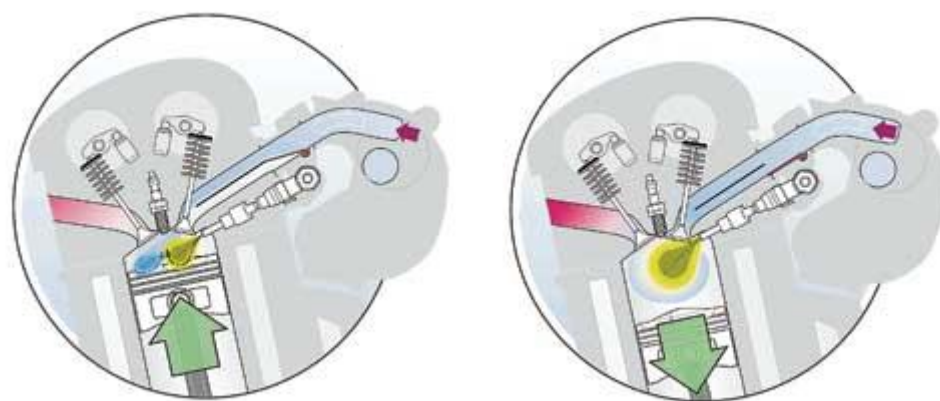


Рисунок 4.1 – Непосредственный впрыск топлива

Непосредственный впрыск - способ подачи жидкого топлива в камеру сгорания двигателя внутреннего сгорания с внутренним смесеобразованием; поступая в камеру с высокой скоростью, топливо распыляется.

Пионером в применении непосредственного впрыска топлива стала компания Mitsubishi, разработавшая систему питания GDI. Сегодня аналогичную технологию используют Mercedes (CGI), BMW (HPI), концерн Volkswagen (FSI, TFSI, TSI – VW, Audi, Skoda, Seat) и Toyota (JIS).

Главный принцип работы данной системы питания – подача бензина не во впускной тракт, а непосредственно в камеру сгорания и формирование послойного и однородного смесеобразования в различных режимах работы мотора. Но подобные топливные системы имеют и различия, причем иногда довольно существенные. Основные из них – рабочее давление в топливной системе, расположение форсунок и их конструкция.

4.2 Разновидности непосредственного впрыска

4.2.1 MMC GDI

Лидером в разработке двигателей GDI явилась Mitsubishi Motors Corp. Двигатель GDI может работать в режиме сгорания сверхобедненной топливовоздушной смеси: соотношение воздуха и топлива по массе (коэффициент α) до 30-40:1. Максимально возможный для традиционных инжекторных двигателей с распределенным впрыском α равен 20-24 (стоит напомнить, что оптимальный стехиометрический состав - 14,7:1) - если избыток воздуха будет больше, переобедненная смесь просто не воспламенится.



Рисунок 4.2 – Двигатель Mitsubishi (GDI)

На двигателе GDI распыленное топливо находится в ограниченном объеме в виде облака, сосредоточенного в районе свечи зажигания [6]. Поэтому, хотя в целом смесь переобедненная, у свечи зажигания она близка к стехиометрическому составу и легко воспламеняется. В то же время, обедненная смесь в остальном объеме имеет намного меньшую склонность к детонации, чем стехиометрическая. Последнее обстоятельство позволяет

повысить степень сжатия, а значит увеличить и мощность, и крутящий момент. За счет того, что при впрыскивании и испарении в цилиндр топлива, воздушный заряд охлаждается - несколько улучшается наполнение цилиндров, а также снова снижается вероятность возникновения детонации.

4.2.2 PSA, BMW HPi

Непосредственный впрыск (HPi - Injection a Haute Pression или High Pressure Injection) у концерна PSA (Peugeot - Citroen) появился весной 2000 года на свежем 2-литровом двигателе EW10 HPi 16 (2.0). Благодаря этому, по заявлениям производителя, удалось добиться снижения расхода топлива на 19% по сравнению с предыдущим поколением двигателей (XU) и на 10 - по сравнению с ранним обычным EW. Несколько возрос крутящий момент на низких оборотах, улучшилась динамика, а экологические показатели в целом вошли в соответствие стандартам Euro IV.



Рисунок 4.3 – Разрез двигателя BMW (HPi)

Увеличение мощностных показателей объясняется собственно непосредственным впрыском (оптимизацией процесса смесеобразования и

сгорания), наличием системы VVT (изменения фаз газораспределения) и, конечно, увеличенной до 11,4 степени сжатия.

Схема организации НВ - стандартная, с послойным смесеобразованием. В системе выпуска появился первый на континенте накопительный катализатор. Всего разработка потребовала чуть более 2 лет с учетом того, что в 1998 французы приобрели патенты MMC GDI.

Конструктивное исполнение системы впрыска повторяет GDI: форсунка между двумя впускными каналами, свеча - в центре камеры сгорания, днище поршня специальной формы, впускные воздухопроводы оптимизированные для образования "обратного вихря".

4.2.3 Nissan DI (Neo DI)

Достижения этого японского производителя на ниве непосредственного впрыска известны меньше, так как в основном были ориентированы на внутренний рынок, да и в гонку компания включилась несколько позже.

Основные двигатели серии - VQ30DD (Cedric/Gloria), VQ25DD (Cefiro (для европейского рынка - Maxima), Cedric/Gloria), QG18DD (Sunny (Almera), Primera, Bluebird), VK45DD (Cima (Infiniti QX45)).

Режимы работы - ПСО, ОСО и ОСО с обедненной смесью. Заявленные преимущества - экономия топлива до 20%, уменьшение выбросов CO₂ до 20% (по сравнению с обычными двигателями Nissan того же объема).

4.2.4 VAG FSI, T-FSI, TSI

На сегодняшний день самыми активными апологетами непосредственного впрыска в Европе являются подразделения VAG, в первую очередь - Volkswagen и Audi. Двигатели с НВ (FSI - Fuel Stratified Injection) запущены в серию летом 2001 года, и уже в значительной степени вытеснили традиционные бензиновые моторы.

Перечислим конструктивные особенности двигателей FSI:

- одноплунжерный топливный насос высокого давления, давление впрыска до 110 бар,
- форсунка расположена практически горизонтально и факел топлива достигает свечи зажигания почти без касания поршня,
- головка блока цилиндров с 4-я клапанами на цилиндр (VAG все-таки вынужден был отойти от ставшей излюбленной схемы с 5-ю клапанами),
- система изменения геометрии впускного тракта (с длинным и коротким каналами),
- система EGR, возвращающая на впуск до 30% отработавших газов,
- обычный трехкомпонентный катализатор на выходе из выпускного коллектора и накопительный NO-катализатор (на бариевой основе) под днищем, датчик содержания NOx в выпускном тракте,
- система VVT (изменения фаз газораспределения) непрерывного типа,
- степень сжатия увеличена до 12,1 против 11,5 у стандартного двигателя.
- что интересно, двигатель оптимизирован под отдельный вид низкосернистого бензина (в данном случае - Shell Optimax gasoline)
- заявленное снижение расхода топлива - до 15%.

В двигателях TSI впервые использовали форсунки для впрыска топлива с шестью отверстиями вместо привычного одного и увеличили давление впрыска до 150 бар, что позволило существенно улучшить качество смесеобразования.

Показатели турбированных двигателей еще больше впечатляют. Например, 1,4-литровый мотор с турбоагнетателем и компрессором развивает мощность 170 л. с. и крутящий момент 240 Нм в диапазоне от 1750 до 4500 об/мин, при этом расход топлива у модели Golf GT составляет 5,9–9,6 л/100 км.

4.2.5 Toyota D-4

Система непосредственного впрыска на Toyota (D-4) была анонсирована в начале 1996 года, в ответ на GDI от конкурентов. В серию такой двигатель (3S-

FSE) был запущен с 1997 года на модели Corona (Premio T210), в 1998 - начал устанавливаться на модели Vista и Vista Ardeo (V50).

Конструктивные особенности:

- создан на базе 3S-FE,
- степень сжатия чуть более 10,
- топливная аппаратура Denso,
- давление впрыска - 120 бар,
- впуск воздуха - через горизонтальные "вихревые" порты,
- соотношение воздуха и топлива - до 50:1 (при максимально возможном для LB двигателей Toyota 24:1)
- VVT-i (система изменения фаз газораспределения непрерывного типа),
- система EGR обеспечивает подачу на впуск до 40% отработавших газов в режиме ПСО
- катализатор накопительного типа,
- заявленные улучшения: прирост момента на низких и средних оборотах - до 10%, экономия топлива до 30% (в японском смешанном цикле - 6,5 л/100 км).

Позднее непосредственный впрыск появился на рядных шестерках 1JZ-FSE (2.5) и 2JZ-FSE (3.0), а с 2000 года, после замены серии S на серию AZ, был запущен и двигатель D-4 1AZ-FSE. В целом, надо отметить, Toyota пока соблюдает разумный баланс между традиционными двигателями и D-4.

4.2.6 Ford SCi

Европейское отделение Ford-Werke AG также представило в 2002 году свою систему HB - DISI (с ориентацией на перспективный Fusion), декларируя снижение расхода топлива до 14%.

В конце 2003 года непосредственный впрыск SCi (Smart Charge injection) появился на модели Mondeo (двигатель 1.8 16V Duratec). Реализован по стандартной схеме, описанной выше. Насос одноплунжерный, давление впрыска 120 бар. Заявленное снижение расхода топлива - 15-20%.

4.2.7 Daimler Chrysler, Mercedes CGI

Главный мировой производитель престижных автомобилей тоже не может не принять участия в развитии НВ, представив свой CGI (Stratified Charged Gasoline Injection) для нового купе MB CLK200.

Конструктивные особенности:

- двигатель с принудительным наддувом (Roots) и интеркулером,
- балансирный механизм при рабочем объеме менее 2 литров,
- система VVT (изменяемые фазы газораспределения),
- форсунка установлена в цилиндре под довольно большим углом (42°),
- давление впрыска 50-120 бар,
- мощность 163 л.с., крутящий момент - 250 Нм (от 3000 до 4500), при этом 75% момента достигаются уже при 1500 об/мин,
- заявлено снижение расхода топлива на 19% (до 7,9 л/100 км).

4.2.8 Renault IDE

Первым европейским производителем двигателей с НВ стала компания Renault, в начале 1999 года представившая свой 2-литровый F7R. При этом использованная схема отличается от ранее описанных.

Для решения проблемы повышенного содержания NOx в газах, активно используется система EGR (с перепуском до 25% газов). За счет отработавших газов снижается разрежение во впускном коллекторе и уменьшаются насосные потери при низкой нагрузке. Схема позволила использовать стандартные катализаторы TWC.

Конструктивные особенности:

- применяются три режима подачи топлива: ПСО, бедная смесь и обогащенная смесь,
- топливная аппаратура Siemens AG, давление впрыска до 100 бар,

- форсунка расположена в верхней части камеры сгорания и направляет топливный факел непосредственно к свече зажигания,
- степень сжатия 11,5,
- мощность 140 л.с, крутящий момент 201 Нм (мощность стандартного двигателя F5R - около 150 л.с.)

4.2.9 SAAB SCC

Эта весьма экзотическая схема, разработанная австралийской фирмой Orbital, тоже относится к НВ. В цилиндры в конце такта впуска впрыскивается бензовоздушная смесь под относительно низким давлением (6-7 бар) через свечу-форсунку. Дополнительная подача воздуха через форсунку производится также и на такте сжатия.

Оригинально устроено и зажигание: при низкой нагрузке и частоте вращения обедненная смесь поджигается искрой, возникающей между центральным и боковым электродами в большом промежутке (3,5 мм), а при высокой частоте вращения и обычной смеси - искрой между свечой и выступом поршня через зазор в 1 мм.

Экономия осуществляется за счет снижения насосных потерь в результате перепуска отработавших газов. Декларируется снижение расхода топлива до 10%, выбросов NOx - на 75%.

4.3 Устройство пьезофорсунки

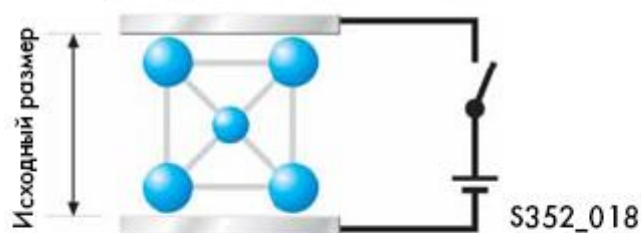
Пьезоэлектрические форсунки функционируют на основе пьезоэлектричества (piezo – от греческого «давить») [14]. Ряд веществ, например, кварц, может вырабатывать электрические заряды при деформации кристалла (прямой пьезоэлектрический эффект) или деформироваться при подаче на них электрического заряда (обратный пьезоэлектрический эффект). Пример использования прямого эффекта – пьезоэлектрическая зажигалка. Вы

нажимаете на кнопку, которая колеблет кварцевый кристалл, и получаете электрическую искру, поджигающую газ.



Рисунок 4.3 – Устройство пьезофорсунки

Пьезоэлемент при отсутствии напряжения U



Пьезоэлемент при подаче напряжения U

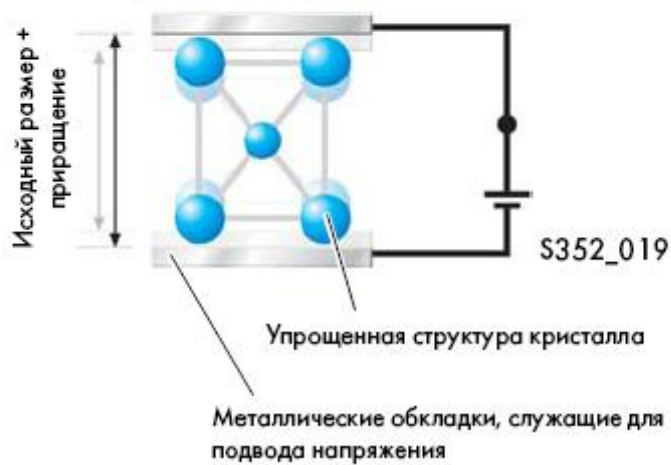


Рисунок 4.4 – Упрощенная структура пьезокристалла

В форсунках используется обратный эффект. К пакету кристаллов (рис. 4.3, 4.4) прикладывается электрическое напряжение [19], они изменяют свой размер и перемещают связанную с ними запорную иглу. В результате открывается отверстие, через которое подается горючее. Подобрав необходимое количество кристаллов, можно получить заданную величину перемещения запорной иглы. Основное преимущество пьезоэлектрической форсунки – очень высокое быстродействие и электрическое управление режимами работы. Подобная схема позволяет очень точно дозировать подачу горючего и реализовать так называемый многоступенчатый впрыск, когда за один такт сжатия (или впуска) подается несколько порций горючего в зависимости от режима работы мотора. В дизельных двигателях это позволяет получить постепенное нарастание давления в цилиндре, снизить шумность двигателя, обеспечить более полное сгорание топлива.

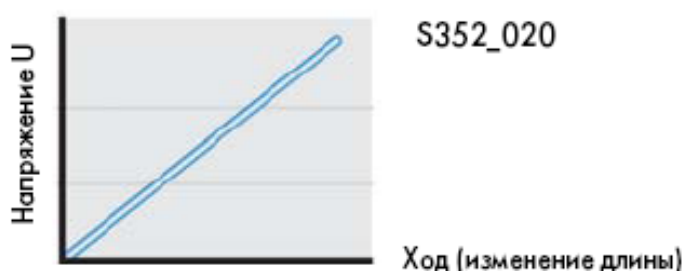


Рисунок 4.5 – Изменение длины пьезоэлемента

Приращение длины пьезоэлемента (рис. 4.5) прямо пропорционально прикладываемому напряжению. Таким образом можно управлять приращением длины пьезоэлемента, изменяя напряжение на его обкладках. В данном случае управляющее напряжение изменяется в диапазоне от 100 до 200 В.

Толщина одного элемента пьезопривода клапана равна 0,15 мм, а ее приращение под действием приложенного напряжения составляет всего 0,15%. Поэтому, чтобы получить перемещение порядка 0,04 мм, необходимо набрать столбик из 178 пьезоэлементов.

$$0,15 \text{ мм} - 100\%$$

$$x \text{ мм} - 0,15\%$$

$$x = \frac{0,15 \cdot 0,15}{100} = 0,000225 \text{ мм}$$

$$0,000225 \cdot 178 = 0,04 \text{ мм}$$

В набранном таким образом блоке, который называют "Piezo-Stack", отдельные пьезоэлементы разделены металлическими обкладками, служащими для подвода к ним напряжения.

Столбик из пьезоэлементов в сборе с нажимной пластиной образует основу пьезопривода.

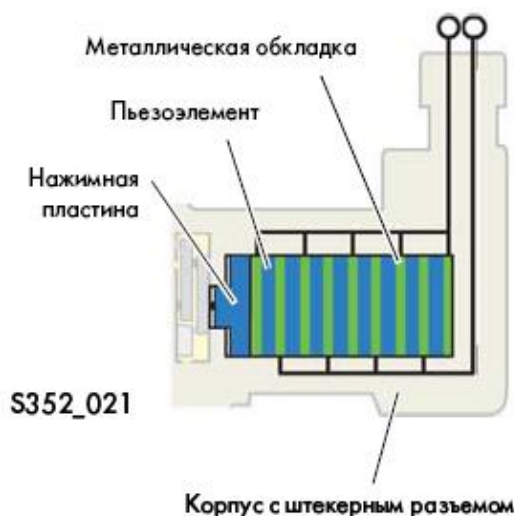


Рисунок 4.6 – Пьезопривод (схематичное изображение)

На рисунке 4.6 представлена циклограмма работы пьезофорсунки. Как видно из рисунка 4.7, основной дозе топлива, сгорание которой и осуществляет рабочий ход поршня, предшествует краткий предвпрыск (первый короткий «горбик»). Он предназначен для прогрева камеры сгорания. Чем холоднее двигатель, тем длиннее фаза предвпрыска. То есть чем холоднее двигатель, тем больше топлива мы сжигаем на его прогрев. Помимо этого предвпрыск дает нам более «мягкое» горение смеси, результатом чего является более тихая и ровная работа двигателя. Кроме того, в зависимости от модели двигателя и преследуемых целей предвпрысков может быть несколько [12]. Далее идет основной впрыск. Как видно, когда форсунка открыта, давление в магистрали начинает падать. Если же с форсункой что-то не так и игла «залипает» в открытом состоянии, давление продолжает падать. Это фиксирует блок

управления и глушит двигатель. Весьма неприятная неисправность. После основного впрыска также может следовать еще один впрыск, аналогичный предварительному. Цель его — помочь каталитическому нейтрализатору успешно дожечь вредные вещества. Дело в том, что этот коротенький впрыск совершается в момент, когда выпускной клапан открыт, и полученная доза топлива очень помогает догореть. Ведь данный бензиновый двигатель с непосредственным впрыском топлива работает на очень бедной смеси, и для дожигания вредных веществ не хватает именно топлива, а не воздуха, как это происходит в катализаторах бензиновых двигателей с распределенным впрыском.

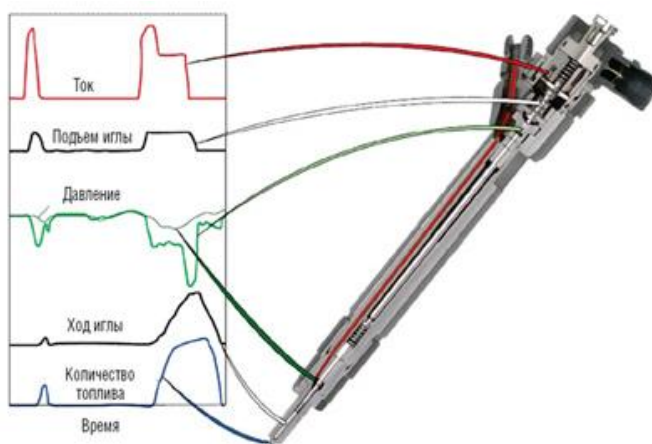


Рисунок 4.7 – Циклограмма работы пьезофорсунки на примере одного цилиндра

4.4 Расчет пьезофорсунки

Исходные данные для расчета пьезофорсунки: рабочий объем двигателя $V_H = 1,4$ л; частота вращения двигателя $n_{max} = 6800 \text{ мин}^{-1}$; число цилиндров $i = 4$; плотность воздуха на входе $\rho_v = 1,496 \text{ кг/м}^3$; суммарное время закрытия-открытия клапана пьезофорсунки $t_{откр-закр} = 1,5 \text{ мс}$; плотность топлива $\rho_T = 695 \text{ кг/м}^3$; коэффициент, учитывающий несоответствие расходов при стационарном потоке и при пульсирующем $\mu_\omega = 0,85$; минимальное давление в топливной рампе $p_T = 8 \text{ МПа}$; разрежение в воздушном ресивере

при работе двигателя $p_{\text{раз}} = 0$; количество отверстий в распылителе $m = 3$; коэффициент расхода через жиклер $\mu = 0,6$.

Максимальная цикловая подача при максимальных оборотах коленчатого вала [4]

$$q_{\text{ц}}(\text{max}) = \frac{V_H \cdot \rho_B}{i \cdot 12} = \frac{1,4 \cdot 0,973}{4 \cdot 12} = 28,4 \frac{\text{г}}{\text{цикл}}. \quad (4.1)$$

Минимальная цикловая подача при минимальных оборотах коленчатого вала:

$$q_{\text{ц}}(\text{min}) = \frac{V_H \cdot \rho_B}{i \cdot 50} = \frac{1,4 \cdot 0,973}{4 \cdot 50} = 6,8 \frac{\text{г}}{\text{цикл}}. \quad (4.2)$$

Период фазированного распределенного впрыска топлива определяется выражением:

$$T_{\text{min}} = \frac{120 \cdot 1000}{n_{\text{max}}} = \frac{120 \cdot 1000}{6800} = 17,6 \text{ мс}. \quad (4.3)$$

Максимальное время впрыска определяется выражением:

$$t_{\text{max}} = T_{\text{min}} - t_{\text{откр-закр}} = 17,6 - 1,5 = 16,1 \text{ мс}. \quad (4.4)$$

Минимальный статический расход:

$$Q_{\text{ст. min}} = \frac{1000 \cdot q_{\text{ц}}(\text{max})}{t_{\text{max}}} = \frac{1000 \cdot 28,4}{16,1} = 1758 \frac{\text{г}}{\text{с}}. \quad (4.5)$$

Максимальный статический расход с учетом всех издержек производства и допусков определяем из соотношения:

$$Q_{ст.мах} = 1 + \overline{\mu_{кс}^2 + \mu_{дп}^2 + \mu_{он}^2} \cdot Q_{ст.мин}, \quad (4.6)$$

где $\mu_{кс} = 0,09 - 0,11$ — качество сборки ДВС; $\mu_{дп} = 0,05 - 0,065$ — допуск и повторяемость; $\mu_{он} = 0,1 - 0,2$ — на обогащение смеси для охлаждения нейтрализатора.

$$Q_{ст.мах} = 1 + \overline{0,1^2 + 0,06^2 + 0,15^2} \cdot 1758 = 2091 \frac{г}{с}. \quad (4.7)$$

Скорость истечения топлива из отверстия жиклера:

$$W_m = \overline{\frac{2}{\rho_T} \cdot p_T + p_{раз}} \cdot 1000 = \overline{\frac{2}{695} \cdot 355 + 0} \cdot 1000 = 32 \frac{м}{с}. \quad (4.8)$$

Площадь проходного сечения жиклера форсунки

$$F_{ж} = \frac{Q_{ст.мах}}{\mu_{\omega} \cdot \mu \cdot \rho_T \cdot W_m \cdot m} = \frac{2091}{0,85 \cdot 0,6 \cdot 695 \cdot 32 \cdot 3} = 0,062 \text{ мм}^2. \quad (4.9)$$

Диаметр отверстия одного жиклера в распылителе форсунки

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{ж}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,062}{3,14}} = 0,28 \text{ мм}. \quad (4.10)$$

Вывод по разделу:

При всех имеющихся отличиях двигатели с непосредственным впрыском используют принцип послойного сгорания топливовоздушной смеси и могут работать при более высокой степени сжатия (от 10,5 до 12,5) на бензине с октановым числом 95. В таких моторах у стенок камеры сгорания находится почти чистый воздух, а испарение топлива, происходящее с поглощением тепла непосредственно в цилиндре, приводит к дополнительному охлаждению цилиндров. Все это способствует снижению вероятности детонационного сгорания топлива. Наилучшие результаты дает комплексное использование непосредственного впрыска и других технологий, оптимизирующих рабочий процесс ДВС (регулировка фаз газораспределения, высоты подъема клапанов и т. п.). Подобные топливные системы дают дополнительную экономию горючего и уменьшение выбросов в атмосферу. В то же время они нуждаются в качественном бензине с низким содержанием серы и механических примесей, чтобы обеспечить нормальную работу топливной аппаратуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был произведен расчет четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с системой непосредственного впрыска, предназначенного для легкового автомобиля. В основной части были выполнены тепловой, кинематический, динамический, прочностной расчеты. Результаты расчетов представлены на плакатах.

В специальной части проведен расчет пьезофорсунки. Определены его основные характеристики. На основании результатов этого расчета была разработана конструкция пьезофорсунки, предназначенная для установки на двигатель ВАЗ 11194.

Проведенные исследования, по внедрению системы непосредственного впрыска показали ряд преимуществ и недостатков.

К положительному результату можно отнести следующие результаты:

- увеличение мощности на 15% и крутящего момента на 6%
- снижение токсичности отработавших газов на 12-15%
- увеличение топливной экономичности на 7-15%
- сокращенное время холодного пуска
- в совокупности с каталитическим нейтрализатором и катализатором с накопителем NO_x выполнение норм Euro IV.

Отрицательный результат заключается в следующих недостатках:

- необходима установка дополнительного катализатора с накопителем NO_x и топливного насоса высокого давления
- система питания и система нейтрализации отработавших газов крайне требовательны к степени очистки и составу бензина, содержанию грязи, свинца и серы.

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 - Результаты теплового расчета

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	1,2	11	1,0096	1,920	774,703	1,006	1,0386	50,6125	0,0409	0,2930	3,2					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	D X1-2	P	m	m1-2	X
0	-15	0,11148	0,0439	1,2195	6,5E-07	774,7026	774,7026	781,2473	774,7026	777,9749			1,3E-06	1,92014	1	1	0
1	-14	0,10892	0,0383	1,1914	1,1E-05	781,2473	781,2473	787,7863	781,2474	784,5168	1,3576	6,593	2,2E-05	1,98198	1	1	1,29E-06
2	-13	0,10652	0,0331	1,1653	5,3E-05	787,7863	787,7863	794,6313	787,787	791,2088	1,3568	6,6059	0,00011	2,04348	1	1	2,37E-05
3	-12	0,1043	0,0282	1,141	0,00015	794,6313	794,6313	802,2602	794,633	798,4457	1,3559	6,619	0,00031	2,10515	1	1	0,00013
4	-11	0,10225	0,0237	1,1186	0,00034	802,2602	802,2602	811,3233	802,2638	806,7917	1,355	6,6331	0,00068	2,16793	1	1	0,000436
5	-10	0,10038	0,0196	1,0981	0,00064	811,3233	811,3233	822,6425	811,33	816,9829	1,354	6,6491	0,00128	2,23335	1	1	0,001112
6	-9	0,09868	0,0159	1,0795	0,00109	822,6425	822,6425	837,2025	822,6543	829,9225	1,3528	6,6685	0,00217	2,3035	1	1	0,00239
7	-8	0,09716	0,0126	1,0629	0,00171	837,2025	837,2025	856,1305	837,2226	846,6665	1,3513	6,6926	0,00342	2,38103	1	1	0,004562
8	-7	0,09582	0,0096	1,0482	0,00254	856,1305	856,1305	880,6642	856,1645	868,3973	1,3495	6,723	0,00507	2,46912	1,0001	1,0001	0,007979
9	-6	0,09465	0,0071	1,0354	0,0036	880,6642	880,6642	912,1048	880,7206	896,3845	1,3472	6,7612	0,00719	2,57133	1,0001	1,0001	0,013052
10	-5	0,09366	0,0049	1,0246	0,00491	912,1048	912,1048	951,7581	912,1964	931,9314	1,3443	6,8084	0,00981	2,69146	1,0002	1,0002	0,020243
11	-4	0,09285	0,0031	1,0157	0,00649	951,7581	951,7581	1000,864	951,9029	976,3112	1,341	6,8653	0,01297	2,8333	1,0003	1,0002	0,030057
12	-3	0,09223	0,0018	1,0089	0,00834	1000,864	1000,864	1060,521	1001,086	1030,693	1,3372	6,9319	0,01667	3,00035	1,0004	1,0003	0,043028
13	-2	0,09178	0,0008	1,0039	0,01045	1060,521	1060,521	1131,605	1060,848	1096,063	1,3329	7,0075	0,0209	3,19548	1,0006	1,0005	0,059699
14	-1	0,09151	0,0002	1,001	0,0128	1131,605	1131,605	1214,691	1132,071	1173,148	1,3284	7,0907	0,0256	3,42068	1,0007	1,0006	0,080597
15	0	0,09142	0	1	0,01535	1214,691	1214,691	1309,976	1215,331	1262,333	1,3236	7,1795	0,03071	3,67666	1,001	1,0009	0,106202
16	1	0,09151	0,0002	1,001	0,01804	1309,976	1309,976	1417,207	1310,825	1363,591	1,3189	7,2715	0,03607	3,96268	1,0013	1,0011	0,136907
17	2	0,09178	0,0008	1,0039	0,02077	1417,207	1417,207	1535,623	1418,296	1476,415	1,3143	7,3641	0,04154	4,27628	1,0016	1,0014	0,17298
18	3	0,09223	0,0018	1,0089	0,02345	1535,623	1535,623	1663,907	1536,976	1599,765	1,3098	7,4549	0,04689	4,61316	1,002	1,0018	0,21452
19	4	0,09285	0,0031	1,0157	0,02594	1663,907	1663,907	1800,172	1665,542	1732,039	1,3057	7,5419	0,05189	4,96718	1,0024	1,0022	0,261413
20	5	0,09366	0,0049	1,0246	0,02813	1800,172	1800,172	1941,979	1802,098	1871,075	1,302	7,6234	0,05626	5,33046	1,0029	1,0027	0,313302
21	6	0,09465	0,0071	1,0354	0,02987	1941,979	1941,979	2086,405	1944,196	2014,192	1,2986	7,6982	0,05974	5,6936	1,0034	1,0032	0,369562
22	7	0,09582	0,0096	1,0482	0,03103	2086,405	2086,405	2230,159	2088,904	2158,282	1,2956	7,7654	0,06206	6,04616	1,004	1,0037	0,429298
23	8	0,09716	0,0126	1,0629	0,03152	2230,159	2230,159	2369,757	2232,925	2299,958	1,2931	7,8246	0,06304	6,3772	1,0045	1,0043	0,491361
24	9	0,09868	0,0159	1,0795	0,03126	2369,757	2369,757	2501,728	2372,767	2435,742	1,2909	7,8756	0,06252	6,67597	1,0051	1,0048	0,554397

25	10	0,10038	0,0196	1,0981	0,03024	2501,728	2501,728	2622,858	2504,956	2562,293	1,2891	7,9186	0,06048	6,93271	1,0057	1,0054	0,616919
26	11	0,10225	0,0237	1,1186	0,02849	2622,858	2622,858	2730,424	2626,273	2676,641	1,2876	7,9541	0,05697	7,13935	1,0063	1,006	0,677395
27	12	0,1043	0,0282	1,141	0,0261	2730,424	2730,424	2822,406	2733,995	2776,415	1,2864	7,9824	0,05219	7,2902	1,0068	1,0065	0,734369
28	13	0,10652	0,0331	1,1653	0,02321	2822,406	2822,406	2897,627	2826,1	2860,016	1,2855	8,0042	0,04642	7,38234	1,0073	1,007	0,786563
29	14	0,10892	0,0383	1,1914	0,02001	2897,627	2897,627	2955,825	2901,413	2926,726	1,2849	8,0204	0,04001	7,41583	1,0077	1,0075	0,832984
30	15	0,11148	0,0439	1,2195	0,01668	2955,825	2955,825	2997,61	2959,673	2976,717	1,2844	8,0317	0,03336	7,39359	1,0081	1,0079	0,872994
31	16	0,11422	0,0499	1,2494	0,01342	2997,61	2997,61	3024,341	3001,492	3010,976	1,2841	8,0388	0,02685	7,32094	1,0084	1,0082	0,906351
32	17	0,11712	0,0562	1,2812	0,01041	3024,341	3024,341	3037,93	3028,235	3031,136	1,284	8,0426	0,02081	7,20499	1,0086	1,0085	0,933198
33	18	0,12019	0,063	1,3148	0,00775	3037,93	3037,93	3040,595	3041,814	3039,262	1,2839	8,0437	0,01551	7,05388	1,0088	1,0087	0,954011
34	19	0,12343	0,07	1,3502	0,00554	3040,595	3040,595	3034,626	3044,454	3037,61	1,284	8,0428	0,01108	6,87596	1,009	1,0089	0,96952
35	20	0,12683	0,0775	1,3874	0,00379	3034,626	3034,626	3022,176	3038,447	3028,401	1,2841	8,0404	0,00758	6,67914	1,0091	1,009	0,980603
36	21	0,1304	0,0853	1,4264	0,00247	3022,176	3022,176	3005,117	3025,95	3013,647	1,2842	8,037	0,00494	6,4704	1,0091	1,0091	0,988178
37	22	0,13412	0,0934	1,4672	0,00153	3005,117	3005,117	2984,963	3008,837	2995,04	1,2844	8,0329	0,00307	6,25546	1,0092	1,0092	0,993119
38	23	0,13801	0,1019	1,5097	0,0009	2984,963	2984,963	2962,857	2988,625	2973,91	1,2846	8,0282	0,00181	6,03877	1,0092	1,0092	0,996186
39	24	0,14205	0,1108	1,5539	0,0005	2962,857	2962,857	2939,61	2966,459	2951,233	1,2848	8,0233	0,00101	5,82357	1,0092	1,0092	0,997993
40	25	0,14625	0,12	1,5998	0,00026	2939,61	2939,61	2915,765	2943,151	2927,688	1,285	8,0181	0,00053	5,61209	1,0092	1,0092	0,999

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

					ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ												
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ	θ				
20	50	1,1	11	1,029113296	1,582523	736,9788	1,038615	0,86	44,3204	0,034593	0,293	3					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DХ1-2	P	m	m1-2	X
0	-20	0,12823	0,07161	1,35804	0,00000	736,9788	736,9788	743,922	736,9788	740,4504			0,00000	1,58252	1	1	0
1	-19	0,12497	0,06472	1,32360	0,00001	743,922	743,922	750,8951	743,9221	747,4085	1,36259	6,51594	0,00002	1,63900	1	1	1E-06
2	-18	0,12188	0,05817	1,29083	0,00004	750,8951	750,8951	758,056	750,8956	754,4755	1,36162	6,53067	0,00007	1,69636	1	1	2E-05
3	-17	0,11895	0,05195	1,25975	0,00010	758,056	758,056	765,6327	758,0574	761,8443	1,36066	6,54546	0,00019	1,75479	1	1	9E-05
4	-16	0,11617	0,04608	1,23038	0,00020	765,6327	765,6327	773,9218	765,6354	769,7772	1,35967	6,56069	0,00041	1,81466	1	1	0,0003
5	-15	0,11356	0,04054	1,20271	0,00037	773,9218	773,9218	783,2864	773,9265	778,6041	1,35862	6,57689	0,00074	1,87651	1	1	0,0007
6	-14	0,11111	0,03536	1,17678	0,00061	783,2864	783,2864	794,1516	783,2939	788,719	1,35748	6,59469	0,00122	1,94112	1	1	0,0014
7	-13	0,10883	0,03052	1,15258	0,00093	794,1516	794,1516	806,9993	794,1633	800,5755	1,35620	6,61476	0,00187	2,00943	1,0001	1,0001	0,0027
8	-12	0,10671	0,02603	1,13013	0,00135	806,9993	806,9993	822,3585	807,0167	814,6789	1,35475	6,63785	0,00271	2,08260	1,0001	1,0001	0,0045
9	-11	0,10475	0,02189	1,10944	0,00188	822,3585	822,3585	840,7946	822,3839	831,5765	1,35306	6,66472	0,00377	2,16198	1,0002	1,0002	0,0072

10	-10	0,10297	0,01810	1,09051	0,00253	840,7946	840,7946	862,8942	840,831	851,8444	1,35112	6,69605	0,00506	2,24904	1,0003	1,0003	0,011
11	-9	0,10135	0,01467	1,07337	0,00330	862,8942	862,8942	889,2479	862,9456	876,071	1,34889	6,73245	0,00661	2,34535	1,0005	1,0004	0,0161
12	-8	0,09990	0,01160	1,05801	0,00421	889,2479	889,2479	920,4298	889,319	904,8388	1,34636	6,77433	0,00842	2,45252	1,0006	1,0005	0,0227
13	-7	0,09862	0,00889	1,04444	0,00525	920,4298	920,4298	956,9759	920,5261	938,7028	1,34353	6,82190	0,01050	2,57211	1,0009	1,0008	0,0311
14	-6	0,09750	0,00653	1,03266	0,00642	956,9759	956,9759	999,3608	957,1032	978,1683	1,34042	6,87510	0,01285	2,70553	1,0012	1,001	0,0416
15	-5	0,09656	0,00454	1,02269	0,00773	999,3608	999,3608	1047,975	999,5251	1023,668	1,33706	6,93358	0,01546	2,85393	1,0015	1,0014	0,0544
16	-4	0,09579	0,00291	1,01453	0,00915	1047,975	1047,975	1103,101	1048,181	1075,538	1,33352	6,99672	0,01831	3,01814	1,002	1,0017	0,0699
17	-3	0,09519	0,00163	1,00817	0,01068	1103,101	1103,101	1164,892	1103,353	1133,997	1,32983	7,06366	0,02137	3,19854	1,0025	1,0022	0,0882
18	-2	0,09476	0,00073	1,00363	0,01230	1164,892	1164,892	1233,354	1165,193	1199,123	1,32609	7,13336	0,02460	3,39498	1,0031	1,0028	0,1095
19	-1	0,09451	0,00018	1,00091	0,01397	1233,354	1233,354	1308,324	1233,704	1270,839	1,32234	7,20468	0,02794	3,60671	1,0038	1,0034	0,1341
20	0	0,09442	0,00000	1,00000	0,01567	1308,324	1308,324	1389,459	1308,72	1348,891	1,31865	7,27643	0,03133	3,83231	1,0046	1,0042	0,1621
21	1	0,09451	0,00018	1,00091	0,01735	1389,459	1389,459	1476,226	1389,899	1432,842	1,31509	7,34748	0,03469	4,06971	1,0054	1,005	0,1934
22	2	0,09476	0,00073	1,00363	0,01896	1476,226	1476,226	1567,896	1476,703	1522,061	1,31168	7,41679	0,03793	4,31613	1,0064	1,0059	0,2281
23	3	0,09519	0,00163	1,00817	0,02047	1567,896	1567,896	1663,55	1568,405	1615,723	1,30848	7,48346	0,04094	4,56814	1,0075	1,007	0,266
24	4	0,09579	0,00291	1,01453	0,02182	1663,55	1663,55	1762,091	1664,084	1712,821	1,30550	7,54672	0,04364	4,82177	1,0086	1,0081	0,307
25	5	0,09656	0,00454	1,02269	0,02296	1762,091	1762,091	1862,262	1762,642	1812,177	1,30276	7,60600	0,04592	5,07256	1,0099	1,0093	0,3506
26	6	0,09750	0,00653	1,03266	0,02384	1862,262	1862,262	1962,683	1862,824	1912,473	1,30026	7,66086	0,04768	5,31573	1,0112	1,0105	0,3965
27	7	0,09862	0,00889	1,04444	0,02442	1962,683	1962,683	2061,89	1963,249	2012,286	1,29802	7,71104	0,04884	5,54637	1,0125	1,0118	0,4442
28	8	0,09990	0,01160	1,05801	0,02467	2061,89	2061,89	2158,385	2062,455	2110,137	1,29602	7,75638	0,04933	5,75962	1,0139	1,0132	0,4931
29	9	0,10135	0,01467	1,07337	0,02456	2158,385	2158,385	2250,695	2158,946	2204,54	1,29425	7,79684	0,04911	5,95089	1,0153	1,0146	0,5424
30	10	0,10297	0,01810	1,09051	0,02408	2250,695	2250,695	2337,432	2251,248	2294,064	1,29272	7,83249	0,04817	6,11609	1,0166	1,016	0,5915
31	11	0,10475	0,02189	1,10944	0,02326	2337,432	2337,432	2417,351	2337,975	2377,392	1,29140	7,86345	0,04652	6,25178	1,018	1,0173	0,6397
32	12	0,10671	0,02603	1,13013	0,02210	2417,351	2417,351	2489,405	2417,882	2453,378	1,29028	7,88994	0,04420	6,35539	1,0193	1,0187	0,6862
33	13	0,10883	0,03052	1,15258	0,02065	2489,405	2489,405	2552,794	2489,925	2521,1	1,28934	7,91219	0,04130	6,42532	1,0206	1,0199	0,7304
34	14	0,11111	0,03536	1,17678	0,01896	2552,794	2552,794	2606,992	2553,302	2579,893	1,28858	7,93050	0,03791	6,46099	1,0217	1,0211	0,7717
35	15	0,11356	0,04054	1,20271	0,01709	2606,992	2606,992	2651,769	2607,489	2629,381	1,28797	7,94518	0,03418	6,46286	1,0228	1,0222	0,8096
36	16	0,11617	0,04608	1,23038	0,01511	2651,769	2651,769	2687,186	2652,256	2669,478	1,28750	7,95657	0,03023	6,43239	1,0237	1,0233	0,8438
37	17	0,11895	0,05195	1,25975	0,01310	2687,186	2687,186	2713,574	2687,664	2700,38	1,28715	7,96502	0,02621	6,37190	1,0246	1,0242	0,874
38	18	0,12188	0,05817	1,29083	0,01113	2713,574	2713,574	2731,505	2714,045	2722,539	1,28691	7,97087	0,02226	6,28439	1,0253	1,025	0,9002
39	19	0,12497	0,06472	1,32360	0,00925	2731,505	2731,505	2741,734	2731,969	2736,619	1,28676	7,97445	0,01850	6,17339	1,026	1,0256	0,9225
40	20	0,12823	0,07161	1,35804	0,00751	2741,734	2741,734	2745,152	2742,193	2743,443	1,28669	7,97610	0,01503	6,04272	1,0265	1,0262	0,941
41	21	0,13163	0,07883	1,39414	0,00596	2745,152	2745,152	2742,717	2745,606	2743,934	1,286692	7,97612	0,01193	5,89630	1,0269	1,0267	0,956
42	22	0,13520	0,08638	1,43188	0,00462	2742,717	2742,717	2735,404	2743,168	2739,061	1,286747	7,97479	0,00924	5,73791	1,0272	1,0271	0,9679
43	23	0,13891	0,09425	1,47124	0,00349	2735,404	2735,404	2724,151	2735,853	2729,778	1,286847	7,97235	0,00697	5,57110	1,0275	1,0274	0,9771

44	24	0,14278	0,10244	1,51222	0,00256	2724,151	2724,151	2709,819	2724,597	2716,985	1,286984	7,96904	0,00512	5,39905	1,0277	1,0276	0,9841
45	25	0,14680	0,11096	1,55478	0,00183	2709,819	2709,819	2693,168	2710,264	2701,493	1,287148	7,96504	0,00366	5,22449	1,0278	1,0278	0,9892
46	26	0,15097	0,11978	1,59892	0,00127	2693,168	2693,168	2674,837	2693,61	2684,002	1,287335	7,96051	0,00255	5,04966	1,0279	1,0279	0,9929
47	27	0,15528	0,12892	1,64461	0,00086	2674,837	2674,837	2655,352	2675,279	2665,095	1,287539	7,95559	0,00172	4,87639	1,028	1,028	0,9955
48	28	0,15974	0,13837	1,69183	0,00056	2655,352	2655,352	2635,12	2655,792	2645,236	1,287755	7,95037	0,00112	4,70603	1,0281	1,028	0,9972
49	29	0,164343	0,148112	1,740558	0,000354731	2635,12	2635,12	2614,454	2635,56	2624,787	1,28798	7,944933	0,000709	4,539598	1,0281	1,0281	0,9983
50	30	0,169085	0,158156	1,79078	0,000217026	2614,454	2614,454	2593,579	2614,892	2604,016	1,288212	7,939342	0,000434	4,377794	1,0281	1,0281	0,999

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

					ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ												
θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ	θ				
30	60	1,05	11	1,0402	1,0443	659,9860	1,0667	0,96	50,4466	0,0321	0,2930	3,4	30				
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X
0	-30	0,1737	0,1582	1,7908	5,2E-08	659,986	659,986	667,0646	659,986	663,5253			1,04E-07	1,04429	1	1	0
1	-29	0,1688	0,1481	1,7406	1E-06	667,0646	667,0646	674,2125	667,0647	670,6386	1,37459	6,3391	2,08E-06	1,08595	1	1	1,04E-07
2	-28	0,1641	0,1384	1,6918	5,4E-06	674,2125	674,2125	681,4641	674,2127	677,8383	1,37337	6,35664	1,08E-05	1,1292	1	1	2,19E-06
3	-27	0,1595	0,1289	1,6446	1,7E-05	681,4641	681,4641	688,8796	681,4648	685,1719	1,37215	6,37413	3,32E-05	1,17411	1	1	1,3E-05
4	-26	0,1551	0,1198	1,5989	3,9E-05	688,8796	688,8796	696,547	688,8808	692,7133	1,37094	6,39169	7,71E-05	1,22081	1	1	4,62E-05
5	-25	0,1508	0,111	1,5548	7,6E-05	696,547	696,547	704,5849	696,549	700,5659	1,36972	6,40949	0,000152	1,26944	1	1	0,000123
6	-24	0,1467	0,1024	1,5122	0,00013	704,5849	704,5849	713,1443	704,5879	708,8646	1,36848	6,42775	0,000267	1,32024	1,00001	1,00001	0,000275
7	-23	0,1427	0,0942	1,4712	0,00022	713,1443	713,1443	722,41	713,1487	717,7772	1,36719	6,44674	0,000433	1,37351	1,00002	1,00002	0,000542
8	-22	0,1389	0,0864	1,4319	0,00033	722,41	722,41	732,601	722,4161	727,5055	1,36584	6,46682	0,000661	1,42963	1,00004	1,00003	0,000975
9	-21	0,1352	0,0788	1,3941	0,00048	732,601	732,601	743,9706	732,6092	738,2858	1,36441	6,48836	0,000964	1,48908	1,00006	1,00005	0,001636
10	-20	0,1317	0,0716	1,358	0,00068	743,9706	743,9706	756,8051	743,9813	750,3879	1,36286	6,51177	0,001352	1,55244	1,0001	1,00008	0,0026
11	-19	0,1284	0,0647	1,3236	0,00092	756,8051	756,8051	771,4224	756,819	764,1138	1,36117	6,5375	0,001838	1,62039	1,00015	1,00013	0,003951
12	-18	0,1252	0,0582	1,2908	0,00122	771,4224	771,4224	788,1677	771,4402	779,795	1,35933	6,56599	0,002434	1,69373	1,00023	1,00019	0,005789
13	-17	0,1222	0,052	1,2598	0,00158	788,1677	788,1677	807,4102	788,1903	797,789	1,35729	6,59768	0,003152	1,77334	1,00032	1,00027	0,008223
14	-16	0,1193	0,0461	1,2304	0,002	807,4102	807,4102	829,5362	807,4386	818,4732	1,35505	6,63294	0,004004	1,86023	1,00044	1,00038	0,011375
15	-15	0,1166	0,0405	1,2027	0,0025	829,5362	829,5362	854,9423	829,5714	842,2392	1,3526	6,6721	0,004999	1,95545	1,0006	1,00052	0,015379
16	-14	0,1141	0,0354	1,1768	0,00307	854,9423	854,9423	884,0268	854,9855	869,4845	1,34993	6,71537	0,006146	2,06014	1,00079	1,0007	0,020378
17	-13	0,1118	0,0305	1,1526	0,00373	884,0268	884,0268	917,1806	884,079	900,6037	1,34705	6,76283	0,007454	2,17544	1,00103	1,00091	0,026524
18	-12	0,1096	0,026	1,1301	0,00446	917,1806	917,1806	954,7759	917,2426	935,9783	1,34397	6,81443	0,008927	2,30249	1,00132	1,00118	0,033978

19	-11	0,1076	0,0219	1,1094	0,00528	954,7759	954,7759	997,1559	954,8482	975,9659	1,34072	6,86996	0,010568	2,44236	1,00167	1,0015	0,042906
20	-10	0,1058	0,0181	1,0905	0,00619	997,1559	997,1559	1044,623	997,2385	1020,889	1,33732	6,92907	0,012375	2,59604	1,00208	1,00188	0,053474
21	-9	0,1041	0,0147	1,0734	0,00717	1044,623	1044,623	1097,424	1044,715	1071,023	1,33382	6,99124	0,014342	2,7643	1,00257	1,00233	0,065848
22	-8	0,1026	0,0116	1,058	0,00823	1097,424	1097,424	1155,745	1097,525	1126,585	1,33026	7,05587	0,01646	2,94773	1,00313	1,00285	0,08019
23	-7	0,1013	0,0089	1,0444	0,00936	1155,745	1155,745	1219,69	1155,851	1187,717	1,32668	7,12225	0,018714	3,14661	1,00377	1,00345	0,096651
24	-6	0,1001	0,0065	1,0327	0,01054	1219,69	1219,69	1289,275	1219,799	1254,482	1,32312	7,18961	0,021081	3,36085	1,0045	1,00413	0,115364
25	-5	0,0992	0,0045	1,0227	0,01177	1289,275	1289,275	1364,415	1289,383	1326,845	1,31963	7,25719	0,023535	3,58997	1,00532	1,00491	0,136445
26	-4	0,0984	0,0029	1,0145	0,01302	1364,415	1364,415	1444,913	1364,517	1404,664	1,31624	7,32424	0,026041	3,83305	1,00624	1,00578	0,159979
27	-3	0,0978	0,0016	1,0082	0,01428	1444,913	1444,913	1530,452	1445,006	1487,682	1,31299	7,39005	0,028559	4,08866	1,00725	1,00674	0,18602
28	-2	0,0973	0,0007	1,0036	0,01552	1530,452	1530,452	1620,588	1530,53	1575,52	1,30989	7,45399	0,031043	4,35484	1,00836	1,00781	0,21458
29	-1	0,0971	0,0002	1,0009	0,01672	1620,588	1620,588	1714,748	1620,648	1667,668	1,30696	7,51551	0,033441	4,62914	1,00957	1,00897	0,245623
30	0	0,097	0	1	0,01785	1714,748	1714,748	1812,229	1714,785	1763,489	1,30422	7,57417	0,035697	4,90858	1,01088	1,01022	0,279064
31	1	0,0971	0,0002	1,0009	0,01888	1812,229	1812,229	1912,204	1812,239	1862,216	1,30168	7,62959	0,037752	5,18975	1,01227	1,01157	0,314761
32	2	0,0973	0,0007	1,0036	0,01977	1912,204	1912,204	2013,732	1912,185	1962,968	1,29933	7,68152	0,039546	5,46882	1,01374	1,013	0,352513
33	3	0,0978	0,0016	1,0082	0,02051	2013,732	2013,732	2115,778	2013,682	2064,755	1,29719	7,72976	0,041021	5,74169	1,01528	1,01451	0,392059
34	4	0,0984	0,0029	1,0145	0,02106	2115,778	2115,778	2217,229	2115,695	2166,503	1,29524	7,77421	0,042122	6,00406	1,01688	1,01608	0,43308
35	5	0,0992	0,0045	1,0227	0,0214	2217,229	2217,229	2316,927	2217,113	2267,078	1,29348	7,81482	0,042804	6,2516	1,01852	1,0177	0,475202
36	6	0,1001	0,0065	1,0327	0,02151	2316,927	2316,927	2413,7	2316,778	2365,314	1,2919	7,8516	0,043027	6,48007	1,02019	1,01936	0,518006
37	7	0,1013	0,0089	1,0444	0,02138	2413,7	2413,7	2506,394	2413,519	2460,047	1,2905	7,8846	0,042768	6,68551	1,02187	1,02103	0,561033
38	8	0,1026	0,0116	1,058	0,02101	2506,394	2506,394	2593,918	2506,183	2550,156	1,28927	7,91394	0,042015	6,86437	1,02353	1,0227	0,6038
39	9	0,1041	0,0147	1,0734	0,02039	2593,918	2593,918	2675,274	2593,679	2634,596	1,2882	7,93972	0,040776	7,01366	1,02517	1,02435	0,645815
40	10	0,1058	0,0181	1,0905	0,01954	2675,274	2675,274	2749,598	2675,009	2712,436	1,28727	7,96212	0,039074	7,13107	1,02676	1,02597	0,686592
41	11	0,1076	0,0219	1,1094	0,01848	2749,598	2749,598	2816,191	2749,311	2782,895	1,28648	7,98131	0,036951	7,21507	1,02828	1,02752	0,725666
42	12	0,1096	0,026	1,1301	0,01723	2816,191	2816,191	2874,539	2815,884	2845,365	1,28582	7,99749	0,034465	7,26494	1,02972	1,029	0,762617
43	13	0,1118	0,0305	1,1526	0,01584	2874,539	2874,539	2924,337	2874,215	2899,438	1,28527	8,01086	0,031685	7,28084	1,03107	1,03039	0,797082
44	14	0,1141	0,0354	1,1768	0,01435	2924,337	2924,337	2965,488	2923,999	2944,913	1,28483	8,02164	0,028695	7,26371	1,0323	1,03168	0,828767
45	15	0,1166	0,0405	1,2027	0,01279	2965,488	2965,488	2998,106	2965,14	2981,797	1,28449	8,03006	0,025582	7,21528	1,03342	1,03286	0,857462
46	16	0,1193	0,0461	1,2304	0,01122	2998,106	2998,106	3022,497	2997,75	3010,301	1,28424	8,03635	0,022436	7,13793	1,03442	1,03392	0,883044
47	17	0,1222	0,052	1,2598	0,00967	3022,497	3022,497	3039,138	3022,136	3030,818	1,28406	8,04073	0,019343	7,03454	1,03529	1,03485	0,90548
48	18	0,1252	0,0582	1,2908	0,00819	3039,138	3039,138	3048,647	3038,775	3043,893	1,28395	8,04342	0,016381	6,9084	1,03604	1,03567	0,924823
49	19	0,1284	0,0647	1,3236	0,00681	3048,647	3048,647	3051,744	3048,283	3050,195	1,2839	8,04464	0,013616	6,763	1,03668	1,03636	0,941203
50	20	0,1317	0,0716	1,358	0,00555	3051,744	3051,744	3049,212	3051,381	3050,478	1,28391	8,04458	0,011101	6,60191	1,03721	1,03695	0,95482
51	21	0,1352	0,0788	1,3941	0,00443	3049,212	3049,212	3041,862	3048,853	3045,537	1,28395	8,04344	0,008868	6,42862	1,03765	1,03743	0,96592
52	22	0,1389	0,0864	1,4319	0,00347	3041,862	3041,862	3030,49	3041,507	3036,176	1,28403	8,0414	0,006936	6,24644	1,03799	1,03782	0,974789

53	23	0,1427	0,0942	1,4712	0,00265	3030,49	3030,49	3015,853	3030,141	3023,172	1,28415	8,0386	0,005307	6,05839	1,03826	1,03813	0,981725
54	24	0,1467	0,1024	1,5122	0,00198	3015,853	3015,853	2998,644	3015,511	3007,249	1,28428	8,03519	0,003969	5,86712	1,03847	1,03837	0,987032
55	25	0,1508	0,111	1,5548	0,00145	2998,644	2998,644	2979,471	2998,308	2989,057	1,28444	8,0313	0,002898	5,67494	1,03862	1,03855	0,991001
56	26	0,1551	0,1198	1,5989	0,00103	2979,471	2979,471	2958,858	2979,144	2969,164	1,28462	8,02702	0,002064	5,48372	1,03874	1,03868	0,993899
57	27	0,1595	0,1289	1,6446	0,00072	2958,858	2958,858	2937,235	2958,538	2948,046	1,2848	8,02244	0,001433	5,295	1,03882	1,03878	0,995963
58	28	0,1641	0,1384	1,6918	0,00048	2937,235	2937,235	2914,949	2936,924	2926,092	1,285	8,01763	0,000968	5,10995	1,03887	1,03885	0,997396
59	29	0,1688	0,1481	1,7406	0,00032	2914,949	2914,949	2892,271	2914,646	2903,61	1,2852	8,01265	0,000636	4,92942	1,03891	1,03889	0,998364
60	30	0,1737	0,1582	1,7908	0,0002	2892,271	2892,271	2869,405	2891,977	2880,838	1,28541	8,00755	0,000406	4,75406	1,03894	1,03892	0,999

Таблица А4 - 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					
40	70	1,05	11	1,040	0,692	584,113	1,077	0,97	50,658	0,028	0,293	3,4					
Расчёт процесса сгорания																	
f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T1	T2	T2истина	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m ₁₋₂	X
0	-40	0,2424	0,295	2,4752	2,6E-08	574,702	574,7023	581,04	574,702	577,871			5,26E-08	0,65151	1	1	0
1	-39	0,2357	0,2814	2,4069	5,3E-07	581,04	581,0398	587,5	581,04	584,269	1,39173	6,105576	1,06E-06	0,67738	1	1	5,26E-08
2	-38	0,2291	0,268	2,3399	2,8E-06	587,497	587,4975	594,1	587,497	590,798	1,39028	6,12459	5,5E-06	0,70452	1	1	1,11E-06
3	-37	0,2227	0,2548	2,2742	8,4E-06	594,098	594,0978	600,88	594,097	597,487	1,38882	6,143714	1,68E-05	0,733	1	1	6,61E-06
4	-36	0,2164	0,242	2,2099	2E-05	600,877	600,8767	607,89	600,876	604,381	1,38737	6,163021	3,91E-05	0,76295	1	1,000001	2,34E-05
5	-35	0,2103	0,2294	2,147	3,8E-05	607,886	607,8856	615,19	607,884	611,539	1,38591	6,182623	7,7E-05	0,79447	1	1,000002	6,26E-05
6	-34	0,2042	0,2171	2,0854	6,8E-05	615,192	615,1922	622,88	615,19	619,037	1,38442	6,202665	0,000135	0,82775	1,00001	1,000004	0,00014
7	-33	0,1983	0,2051	2,0253	0,00011	622,882	622,8819	631,06	622,879	626,97	1,3829	6,223332	0,00022	0,86296	1,00001	1,000008	0,000275
8	-32	0,1926	0,1933	1,9667	0,00017	631,058	631,0583	639,84	631,054	635,451	1,38133	6,244841	0,000336	0,90035	1,00002	1,000015	0,000495
9	-31	0,187	0,1819	1,9096	0,00024	639,844	639,8438	649,38	639,838	644,612	1,37969	6,26744	0,00049	0,9402	1,00003	1,000026	0,000831
10	-30	0,1816	0,1708	1,854	0,00034	649,38	649,3801	659,83	649,373	654,604	1,37797	6,291405	0,000687	0,98285	1,00005	1,000042	0,00132
11	-29	0,1763	0,16	1,7999	0,00047	659,828	659,8276	671,37	659,819	665,597	1,37615	6,31703	0,000935	1,02866	1,00008	1,000065	0,002007
12	-28	0,1711	0,1495	1,7475	0,00062	671,366	671,3657	684,19	671,354	677,778	1,37421	6,344619	0,00124	1,07811	1,00012	1,000097	0,002942
13	-27	0,1661	0,1393	1,6966	0,0008	684,191	684,1913	698,52	684,177	691,354	1,37213	6,37448	0,001607	1,13169	1,00016	1,000139	0,004182
14	-26	0,1613	0,1295	1,6474	0,00102	698,517	698,5175	714,57	698,5	706,545	1,3699	6,406905	0,002045	1,18997	1,00023	1,000195	0,005789
15	-25	0,1567	0,12	1,5998	0,00128	714,572	714,5722	732,6	714,551	723,584	1,3675	6,442161	0,002559	1,25362	1,00031	1,000266	0,007835
16	-24	0,1522	0,1108	1,5539	0,00158	732,596	732,5956	752,84	732,569	742,716	1,36493	6,480475	0,003156	1,32332	1,00041	1,000357	0,010394
17	-23	0,1478	0,1019	1,5097	0,00192	752,837	752,8369	775,55	752,805	764,194	1,36219	6,522017	0,003841	1,39985	1,00053	1,000468	0,01355

18	-22	0,1437	0,0934	1,4672	0,00231	775,551	775,5513	801	775,513	788,274	1,35927	6,566887	0,004619	1,48405	1,00068	1,000605	0,017391
19	-21	0,1397	0,0853	1,4264	0,00275	800,996	800,9963	829,43	800,95	815,212	1,35618	6,615101	0,005495	1,57677	1,00086	1,000771	0,02201
20	-20	0,1359	0,0775	1,3874	0,00324	829,427	829,4269	861,09	829,372	845,259	1,35295	6,666589	0,006473	1,67894	1,00108	1,000968	0,027505
21	-19	0,1322	0,07	1,3502	0,00378	861,091	861,0914	896,23	861,027	878,659	1,34958	6,721184	0,007556	1,79148	1,00133	1,001202	0,033978
22	-18	0,1288	0,063	1,3148	0,00437	896,226	896,2265	935,05	896,151	915,639	1,3461	6,778626	0,008743	1,91531	1,00162	1,001477	0,041534
23	-17	0,1255	0,0562	1,2812	0,00502	935,052	935,0516	977,76	934,965	956,408	1,34255	6,83857	0,010036	2,05133	1,00197	1,001796	0,050277
24	-16	0,1224	0,0499	1,2494	0,00572	977,764	977,7641	1024,5	977,665	1001,15	1,33895	6,900598	0,011432	2,20036	1,00236	1,002163	0,060313
25	-15	0,1194	0,0439	1,2195	0,00646	1024,53	1024,533	1075,5	1024,42	1050,01	1,33533	6,964229	0,012926	2,36316	1,00281	1,002583	0,071745
26	-14	0,1167	0,0383	1,1914	0,00726	1075,49	1075,494	1130,7	1075,37	1103,12	1,33173	7,028946	0,014512	2,54033	1,00331	1,003059	0,084671
27	-13	0,1141	0,0331	1,1653	0,00809	1130,74	1130,743	1190,3	1130,6	1160,54	1,32818	7,09421	0,016181	2,73229	1,00388	1,003596	0,099183
28	-12	0,1117	0,0282	1,141	0,00896	1190,33	1190,33	1254,3	1190,17	1222,29	1,3247	7,15948	0,017921	2,93928	1,00451	1,004196	0,115364
29	-11	0,1095	0,0237	1,1186	0,00986	1254,25	1254,253	1322,5	1254,08	1288,35	1,32132	7,224231	0,019716	3,16123	1,00521	1,004863	0,133285
30	-10	0,1075	0,0196	1,0981	0,01078	1322,45	1322,453	1394,8	1322,27	1358,63	1,31807	7,287971	0,02155	3,3978	1,00598	1,005599	0,153001
31	-9	0,1057	0,0159	1,0795	0,0117	1394,81	1394,809	1471,1	1394,61	1432,97	1,31495	7,350251	0,023401	3,64827	1,00683	1,006406	0,174551
32	-8	0,1041	0,0126	1,0629	0,01262	1471,13	1471,13	1551,2	1470,92	1511,14	1,31198	7,410675	0,025246	3,91154	1,00774	1,007285	0,197953
33	-7	0,1026	0,0096	1,0482	0,01353	1551,16	1551,157	1634,6	1550,93	1592,86	1,30917	7,4689	0,027058	4,18612	1,00873	1,008237	0,223198
34	-6	0,1014	0,0071	1,0354	0,0144	1634,55	1634,554	1720,9	1634,32	1677,73	1,30653	7,524646	0,028808	4,47006	1,00979	1,00926	0,250256
35	-5	0,1003	0,0049	1,0246	0,01523	1720,91	1720,91	1809,7	1720,66	1765,33	1,30406	7,577688	0,030466	4,761	1,01092	1,010352	0,279064
36	-4	0,0995	0,0031	1,0157	0,016	1809,74	1809,741	1900,5	1809,48	1855,11	1,30176	7,627856	0,032001	5,05616	1,01211	1,011511	0,309531
37	-3	0,0988	0,0018	1,0089	0,01669	1900,49	1900,489	1992,5	1900,22	1946,51	1,29962	7,675032	0,033379	5,35241	1,01336	1,012733	0,341531
38	-2	0,0983	0,0008	1,0039	0,01728	1992,53	1992,533	2085,2	1992,26	2038,86	1,29766	7,719142	0,034569	5,64627	1,01466	1,014012	0,37491
39	-1	0,098	0,0002	1,001	0,01777	2085,19	2085,189	2177,7	2084,91	2131,46	1,29585	7,760153	0,035541	5,93405	1,01602	1,015341	0,409479
40	0	0,0979	0	1	0,01813	2177,73	2177,729	2269,4	2177,44	2223,56	1,2942	7,798065	0,036266	6,21189	1,01741	1,016712	0,44502
41	1	0,098	0,0002	1,001	0,01836	2269,39	2269,386	2359,4	2269,09	2314,38	1,2927	7,832909	0,03672	6,47592	1,01883	1,018116	0,481286
42	2	0,0983	0,0008	1,0039	0,01844	2359,37	2359,374	2446,9	2359,07	2403,14	1,29134	7,864739	0,036885	6,72234	1,02026	1,019544	0,518006
43	3	0,0988	0,0018	1,0089	0,01837	2446,9	2446,901	2531,2	2446,6	2489,05	1,29012	7,89363	0,036746	6,94753	1,0217	1,020983	0,554891
44	4	0,0995	0,0031	1,0157	0,01815	2531,19	2531,192	2611,5	2530,88	2571,35	1,28903	7,919672	0,036296	7,14823	1,02314	1,022423	0,591636
45	5	0,1003	0,0049	1,0246	0,01777	2611,5	2611,501	2687,1	2611,19	2649,32	1,28806	7,942969	0,035538	7,32158	1,02456	1,023852	0,627933
46	6	0,1014	0,0071	1,0354	0,01724	2687,14	2687,135	2757,5	2686,82	2722,3	1,28721	7,963638	0,034478	7,46526	1,02595	1,025257	0,66347
47	7	0,1026	0,0096	1,0482	0,01657	2757,47	2757,472	2822	2757,15	2789,72	1,28646	7,981801	0,033135	7,57756	1,0273	1,026626	0,697949
48	8	0,1041	0,0126	1,0629	0,01577	2821,97	2821,973	2880,2	2821,65	2851,09	1,28581	7,997589	0,031534	7,65741	1,0286	1,027948	0,731084
49	9	0,1057	0,0159	1,0795	0,01485	2880,2	2880,202	2931,8	2879,88	2906,02	1,28526	8,011136	0,029705	7,70443	1,02983	1,029213	0,762617
50	10	0,1075	0,0196	1,0981	0,01384	2931,83	2931,832	2976,7	2931,51	2954,24	1,2848	8,022582	0,027689	7,71889	1,03099	1,030411	0,792323
51	11	0,1095	0,0237	1,1186	0,01276	2976,65	2976,654	3014,6	2976,33	2995,62	1,28441	8,032068	0,025529	7,70173	1,03207	1,031533	0,820012

52	12	0,1117	0,0282	1,141	0,01164	3014,58	3014,583	3045,7	3014,26	3030,12	1,2841	8,039737	0,023271	7,65445	1,03307	1,032574	0,84554
53	13	0,1141	0,0331	1,1653	0,01048	3045,65	3045,655	3070	3045,34	3057,84	1,28386	8,045732	0,020964	7,57908	1,03398	1,033529	0,868811
54	14	0,1167	0,0383	1,1914	0,00933	3070,02	3070,02	3087,9	3069,7	3078,98	1,28368	8,050192	0,018656	7,47805	1,0348	1,034394	0,889775
55	15	0,1194	0,0439	1,2195	0,0082	3087,94	3087,935	3099,8	3087,62	3093,84	1,28356	8,053259	0,016392	7,3541	1,03553	1,035168	0,90843
56	16	0,1224	0,0499	1,2494	0,00711	3099,75	3099,753	3105,9	3099,44	3102,83	1,28348	8,055068	0,014215	7,21022	1,03617	1,035854	0,924823
57	17	0,1255	0,0562	1,2812	0,00608	3105,9	3105,902	3106,9	3105,59	3106,39	1,28346	8,055749	0,01216	7,04944	1,03673	1,036453	0,939038
58	18	0,1288	0,063	1,3148	0,00513	3106,87	3106,87	3103,2	3106,56	3105,03	1,28347	8,05543	0,010256	6,87485	1,03721	1,036968	0,951198
59	19	0,1322	0,07	1,3502	0,00426	3103,19	3103,187	3095,4	3102,88	3099,3	1,28352	8,054231	0,008524	6,68941	1,03761	1,037407	0,961454
60	20	0,1359	0,0775	1,3874	0,00349	3095,4	3095,404	3084,1	3095,1	3089,74	1,2836	8,052264	0,006977	6,49597	1,03794	1,037774	0,969977
61	21	0,1397	0,0853	1,4264	0,00281	3084,07	3084,073	3069,7	3083,77	3076,9	1,2837	8,049633	0,005622	6,29711	1,03821	1,038077	0,976954
62	22	0,1437	0,0934	1,4672	0,00223	3069,74	3069,736	3052,9	3069,44	3061,32	1,28383	8,046436	0,004456	6,09519	1,03843	1,038324	0,982576
63	23	0,1478	0,1019	1,5097	0,00174	3052,9	3052,904	3034,1	3052,61	3043,48	1,28398	8,042761	0,003473	5,89227	1,03861	1,038521	0,987032
64	24	0,1522	0,1108	1,5539	0,00133	3034,05	3034,053	3013,6	3033,76	3023,83	1,28414	8,038685	0,00266	5,69013	1,03874	1,038676	0,990506
65	25	0,1567	0,12	1,5998	0,001	3013,61	3013,61	2992	3013,32	3002,78	1,28432	8,034279	0,002001	5,49024	1,03885	1,038796	0,993166
66	26	0,1613	0,1295	1,6474	0,00074	2991,95	2991,952	2969,4	2991,67	2980,68	1,28451	8,029603	0,001477	5,29381	1,03893	1,038887	0,995167
67	27	0,1661	0,1393	1,6966	0,00053	2969,41	2969,405	2946,2	2969,12	2957,82	1,28471	8,024709	0,001069	5,10178	1,03898	1,038955	0,996644
68	28	0,1711	0,1495	1,7475	0,00038	2946,24	2946,243	2922,7	2945,96	2934,47	1,28491	8,019642	0,000759	4,91488	1,03903	1,039005	0,997714
69	29	0,1763	0,16	1,7999	0,00026	2922,69	2922,692	2898,9	2922,42	2910,81	1,28513	8,014437	0,000528	4,73364	1,03906	1,039041	0,998473
70	30	0,1816	0,1708	1,854	0,00018	2898,93	2898,934	#3НАЧ!	2898,66	#3НАЧ!	1,28534	8,009126	0,000359	4,5584	1,03908	1,039066	0,999

Таблица А5 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

θ	ϕ	α	ε	μ	P_y	T_y	V_a	ζ	E_2	γ	λ	μ					
50	75	1,05	11	1,0402	0,4361	520,9035	1,1205	0,8	32,1376	0,0282	0,2933884	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	0,3282	0,44441	3,2221	1,09E-07	520,90	520,90	526,20	520,90	523,55			2,18E-07	0,436104	1	1	0
1	-49	0,3201	0,42855	3,1427	1,64E-06	526,20	526,20	531,64	526,20	528,92	1,405	5,93	3,27E-06	0,451662	1	1	2,18E-07
2	-48	0,3122	0,41287	3,0643	7,1E-06	531,64	531,64	537,23	531,64	534,43	1,404	5,95	1,42E-05	0,467997	1	1	3,49E-06
3	-47	0,3043	0,39739	2,9869	1,91E-05	537,23	537,23	543,04	537,23	540,13	1,403	5,97	3,82E-05	0,485177	1,000001	1	1,77E-05
4	-46	0,2965	0,38211	2,9106	4,03E-05	543,04	543,04	549,11	543,04	546,07	1,401	5,99	8,06E-05	0,50329	1,000002	1,000001	5,59E-05
5	-45	0,2888	0,36705	2,8352	7,32E-05	549,11	549,11	555,51	549,10	552,31	1,399	6,01	0,000146	0,522436	1,000005	1,000004	0,000136
6	-44	0,2813	0,3522	2,761	0,000121	555,51	555,51	562,32	555,51	558,92	1,398	6,03	0,000241	0,542741	1,000011	1,000008	0,000283
7	-43	0,2738	0,33757	2,6879	0,000185	562,32	562,32	569,64	562,32	565,98	1,396	6,05	0,00037	0,564349	1,000021	1,000016	0,000524

8	-42	0,2665	0,32318	2,6159	0,000269	569,64	569,64	577,57	569,64	573,60	1,395	6,07	0,000538	0,587427	1,000035	1,000028	0,000894
9	-41	0,2593	0,30903	2,5451	0,000375	577,57	577,57	586,21	577,56	581,89	1,393	6,09	0,000749	0,612171	1,000056	1,000045	0,001431
10	-40	0,2522	0,29511	2,4756	0,000505	586,21	586,21	595,69	586,20	590,95	1,391	6,12	0,001011	0,638802	1,000085	1,000071	0,002181
11	-39	0,2452	0,28146	2,4073	0,000663	595,69	595,69	606,14	595,68	600,91	1,389	6,14	0,001326	0,66757	1,000125	1,000105	0,003191
12	-38	0,2384	0,26805	2,3403	0,00085	606,14	606,14	617,69	606,12	611,91	1,387	6,17	0,001699	0,698758	1,000177	1,000151	0,004517
13	-37	0,2317	0,25492	2,2746	0,001068	617,69	617,69	630,49	617,67	624,09	1,384	6,20	0,002136	0,73268	1,000243	1,00021	0,006216
14	-36	0,2251	0,24205	2,2102	0,00132	630,49	630,49	644,68	630,47	637,59	1,382	6,24	0,00264	0,769687	1,000327	1,000285	0,008352
15	-35	0,2187	0,22946	2,1473	0,001607	644,68	644,68	660,42	644,66	652,55	1,379	6,27	0,003214	0,810159	1,00043	1,000378	0,010992
16	-34	0,2125	0,21715	2,0857	0,001932	660,42	660,42	677,85	660,39	669,13	1,376	6,31	0,003863	0,854516	1,000556	1,000493	0,014206
17	-33	0,2063	0,20512	2,0256	0,002294	677,85	677,85	697,12	677,81	687,48	1,374	6,35	0,004589	0,90321	1,000707	1,000631	0,01807
18	-32	0,2004	0,1934	1,967	0,002697	697,12	697,12	718,37	697,07	707,75	1,370	6,40	0,005393	0,956726	1,000886	1,000797	0,022658
19	-31	0,1945	0,18197	1,9099	0,003139	718,37	718,37	741,75	718,32	730,06	1,367	6,45	0,006278	1,01558	1,001097	1,000992	0,028052
20	-30	0,1889	0,17085	1,8542	0,003621	741,75	741,75	767,39	741,69	754,57	1,364	6,50	0,007242	1,080317	1,001343	1,00122	0,034329
21	-29	0,1834	0,16004	1,8002	0,004143	767,39	767,39	795,39	767,31	781,39	1,360	6,55	0,008287	1,151503	1,001626	1,001485	0,041572
22	-28	0,178	0,14954	1,7477	0,004705	795,39	795,39	825,88	795,30	810,64	1,357	6,60	0,009409	1,229725	1,001951	1,001788	0,049859
23	-27	0,1728	0,13936	1,6968	0,005303	825,88	825,88	858,93	825,77	842,40	1,353	6,66	0,010607	1,315578	1,002319	1,002135	0,059268
24	-26	0,1678	0,12951	1,6476	0,005937	858,93	858,93	894,62	858,81	876,78	1,350	6,72	0,011874	1,409661	1,002734	1,002526	0,069874
25	-25	0,163	0,11999	1,6	0,006603	894,62	894,62	933,01	894,48	913,82	1,346	6,78	0,013206	1,51256	1,003198	1,002966	0,081748
26	-24	0,1583	0,11081	1,554	0,007298	933,01	933,01	974,11	932,85	953,56	1,343	6,84	0,014595	1,624843	1,003715	1,003456	0,094955
27	-23	0,1538	0,10197	1,5098	0,008016	974,11	974,11	1017,93	973,93	996,02	1,339	6,90	0,016032	1,747037	1,004286	1,004	0,10955
28	-22	0,1495	0,09346	1,4673	0,008753	1017,93	1017,93	1064,45	1017,74	1041,19	1,336	6,96	0,017505	1,879614	1,004913	1,004599	0,125581
29	-21	0,1453	0,08531	1,4266	0,009502	1064,45	1064,45	1113,61	1064,23	1089,03	1,332	7,02	0,019004	2,022971	1,005598	1,005255	0,143087
30	-20	0,1413	0,07751	1,3876	0,010256	1113,61	1113,61	1165,31	1113,37	1139,46	1,329	7,08	0,020512	2,177407	1,006341	1,00597	0,16209
31	-19	0,1376	0,07007	1,3503	0,011008	1165,31	1165,31	1219,45	1165,05	1192,38	1,326	7,14	0,022015	2,343097	1,007144	1,006742	0,182602
32	-18	0,1339	0,06298	1,3149	0,011748	1219,45	1219,45	1275,85	1219,17	1247,65	1,323	7,20	0,023496	2,520069	1,008005	1,007574	0,204618
33	-17	0,1305	0,05626	1,2813	0,012468	1275,85	1275,85	1334,33	1275,55	1305,09	1,320	7,25	0,024937	2,708173	1,008924	1,008465	0,228114
34	-16	0,1273	0,0499	1,2495	0,013159	1334,33	1334,33	1394,66	1334,01	1364,50	1,317	7,31	0,026317	2,907061	1,0099	1,009412	0,253051
35	-15	0,1242	0,04392	1,2196	0,013809	1394,66	1394,66	1456,57	1394,32	1425,61	1,315	7,36	0,027618	3,116154	1,010929	1,010415	0,279368
36	-14	0,1214	0,0383	1,1915	0,014409	1456,57	1456,57	1519,76	1456,21	1488,16	1,312	7,41	0,028819	3,334626	1,01201	1,01147	0,306986
37	-13	0,1187	0,03306	1,1653	0,01495	1519,76	1519,76	1583,89	1519,38	1551,82	1,310	7,45	0,0299	3,561381	1,013137	1,012574	0,335805
38	-12	0,1162	0,0282	1,141	0,015421	1583,89	1583,89	1648,61	1583,50	1616,25	1,308	7,50	0,030841	3,795045	1,014307	1,013722	0,365705
39	-11	0,1139	0,02372	1,1186	0,015813	1648,61	1648,61	1713,52	1648,20	1681,06	1,306	7,54	0,031625	4,033961	1,015514	1,01491	0,396547
40	-10	0,1119	0,01962	1,0981	0,016117	1713,52	1713,52	1778,21	1713,09	1745,87	1,304	7,58	0,032235	4,276196	1,016751	1,016132	0,428172
41	-9	0,11	0,0159	1,0795	0,016328	1778,21	1778,21	1842,26	1777,77	1810,24	1,302	7,62	0,032655	4,519555	1,018012	1,017381	0,460407

42	-8	0,1083	0,01257	1,0629	0,016438	1842,26	1842,26	1905,24	1841,81	1873,75	1,301	7,65	0,032875	4,761615	1,019289	1,018651	0,493062
43	-7	0,1068	0,00963	1,0482	0,016443	1905,24	1905,24	1966,70	1904,77	1935,97	1,299	7,68	0,032886	4,999766	1,020576	1,019933	0,525938
44	-6	0,1055	0,00708	1,0354	0,016341	1966,70	1966,70	2026,23	1966,22	1996,47	1,298	7,71	0,032682	5,231264	1,021862	1,021219	0,558823
45	-5	0,1044	0,00492	1,0246	0,016131	2026,23	2026,23	2083,40	2025,74	2054,82	1,297	7,74	0,032262	5,453297	1,023141	1,022501	0,591505
46	-4	0,1035	0,00315	1,0157	0,015815	2083,40	2083,40	2137,83	2082,90	2110,62	1,296	7,76	0,03163	5,66306	1,024403	1,023772	0,623768
47	-3	0,1028	0,00177	1,0089	0,015396	2137,83	2137,83	2189,16	2137,32	2163,49	1,295	7,79	0,030793	5,857836	1,02564	1,025022	0,655398
48	-2	0,1023	0,00079	1,0039	0,01488	2189,16	2189,16	2237,06	2188,64	2213,11	1,294	7,81	0,029761	6,035078	1,026845	1,026243	0,686191
49	-1	0,102	0,0002	1,001	0,014275	2237,06	2237,06	2281,25	2236,53	2259,16	1,293	7,82	0,028551	6,192486	1,028009	1,027427	0,715952
50	0	0,1019	0	1	0,013591	2281,25	2281,25	2321,52	2280,73	2301,39	1,292	7,84	0,027182	6,328085	1,029126	1,028568	0,744503
51	1	0,102	0,0002	1,001	0,012838	2321,52	2321,52	2357,69	2320,99	2339,61	1,292	7,85	0,025675	6,440285	1,03019	1,029658	0,771684
52	2	0,1023	0,00079	1,0039	0,012029	2357,69	2357,69	2389,64	2357,16	2373,66	1,291	7,87	0,024058	6,527931	1,031194	1,030692	0,79736
53	3	0,1028	0,00177	1,0089	0,011178	2389,64	2389,64	2417,30	2389,10	2403,47	1,291	7,88	0,022356	6,590331	1,032135	1,031665	0,821417
54	4	0,1035	0,00315	1,0157	0,010299	2417,30	2417,30	2440,69	2416,77	2429,00	1,290	7,89	0,020597	6,627272	1,03301	1,032573	0,843773
55	5	0,1044	0,00492	1,0246	0,009406	2440,69	2440,69	2459,86	2440,16	2450,28	1,290	7,89	0,018811	6,639011	1,033816	1,033413	0,86437
56	6	0,1055	0,00708	1,0354	0,008513	2459,86	2459,86	2474,90	2459,32	2467,38	1,290	7,90	0,017026	6,626249	1,034552	1,034184	0,883182
57	7	0,1068	0,00963	1,0482	0,007633	2474,90	2474,90	2485,98	2474,36	2480,44	1,290	7,90	0,015267	6,590091	1,035218	1,034885	0,900207
58	8	0,1083	0,01257	1,0629	0,00678	2485,98	2485,98	2493,28	2485,44	2489,63	1,290	7,91	0,013559	6,53199	1,035815	1,035516	0,915474
59	9	0,11	0,0159	1,0795	0,005963	2493,28	2493,28	2497,03	2492,75	2495,16	1,290	7,91	0,011925	6,453686	1,036345	1,03608	0,929033
60	10	0,1119	0,01962	1,0981	0,005191	2497,03	2497,03	2497,49	2496,50	2497,26	1,290	7,91	0,010382	6,357131	1,036812	1,036579	0,940959
61	11	0,1139	0,02372	1,1186	0,004473	2497,492	2497,492	2494,926	2496,96	2496,209	1,290	7,91	0,008946	6,244423	1,037218	1,037015	0,951341
62	12	0,1162	0,0282	1,141	0,003813	2494,93	2494,93	2489,62	2494,40	2492,27	1,290	7,91	0,007626	6,117736	1,037568	1,037393	0,960287
63	13	0,1187	0,03306	1,1653	0,003215	2489,62	2489,62	2481,86	2489,10	2485,74	1,290	7,91	0,00643	5,979254	1,037866	1,037717	0,967913
64	14	0,1214	0,0383	1,1915	0,00268	2481,86	2481,86	2471,94	2481,34	2476,90	1,290	7,90	0,00536	5,83112	1,038118	1,037992	0,974342
65	15	0,1242	0,04392	1,2196	0,002209	2471,94	2471,94	2460,12	2471,42	2466,03	1,290	7,90	0,004417	5,675382	1,038328	1,038223	0,979703
66	16	0,1273	0,0499	1,2495	0,001798	2460,12	2460,12	2446,68	2459,61	2453,40	1,290	7,90	0,003597	5,513963	1,038501	1,038414	0,98412
67	17	0,1305	0,05626	1,2813	0,001447	2446,68	2446,68	2431,86	2446,18	2439,27	1,290	7,89	0,002893	5,34863	1,038641	1,038571	0,987717
68	18	0,1339	0,06298	1,3149	0,001149	2431,86	2431,86	2415,90	2431,37	2423,88	1,290	7,89	0,002298	5,18098	1,038754	1,038698	0,99061
69	19	0,1376	0,07007	1,3503	0,000901	2415,90	2415,90	2398,99	2415,41	2407,45	1,291	7,88	0,001802	5,012426	1,038844	1,038799	0,992908
70	20	0,1413	0,07751	1,3876	0,000697	2398,99	2398,99	2381,34	2398,51	2390,16	1,291	7,88	0,001394	4,8442	1,038915	1,03888	0,99471
71	21	0,1453	0,08531	1,4266	0,000532	2381,34	2381,34	2363,09	2380,85	2372,21	1,291	7,87	0,001064	4,677357	1,038969	1,038942	0,996105
72	22	0,1495	0,09346	1,4673	0,000401	2363,09	2363,09	2344,40	2362,61	2353,74	1,291	7,87	0,000801	4,512783	1,039011	1,03899	0,997169
73	23	0,1538	0,10197	1,5098	0,000297	2344,40	2344,40	2325,39	2343,93	2334,89	1,292	7,86	0,000595	4,351206	1,039042	1,039027	0,997971
74	24	0,1583	0,11081	1,554	0,000217	2325,39	2325,39	2306,16	2324,92	2315,77	1,292	7,85	0,000435	4,193215	1,039066	1,039054	0,998565

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

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

$\varphi_{кв}, \text{град}$	$\varphi_{кв}, \text{рад}$	$S_x, \text{мм}$	$V_x, \text{м/с}$	$W_{x1}, \text{м/с}^2$	$W_{x2}, \text{м/с}^2$	$W_x, \text{м/с}^2$
0	0	0	0	12208,48	3581,8272	15790,3
10	0,1745	0,6964	4,66	12023,01	3365,8166	15388,8
20	0,3491	2,7501	9,083	11472,22	2743,8388	14216,1
30	0,5236	6,058	13,05	10572,85	1790,9136	12363,8
40	0,6981	10,457	16,39	9352,239	621,97776	9974,22
50	0,8727	15,737	18,96	7847,461	-621,9778	7225,48
60	1,0472	21,656	20,67	6104,241	-1790,914	4313,33
70	1,2217	27,957	21,53	4175,547	-2743,839	1431,71
80	1,3963	34,386	21,55	2119,981	-3365,817	-1245,84
90	1,5708	40,708	20,82	7,48E-13	-3581,827	-3581,83
100	1,7453	46,715	19,46	-2119,98	-3365,817	-5485,8
110	1,9199	52,24	17,6	-4175,55	-2743,839	-6919,39
120	2,0944	57,156	15,38	-6104,24	-1790,914	-7895,15
130	2,2689	61,375	12,94	-7847,46	-621,9778	-8469,44
140	2,4435	64,846	10,37	-9352,24	621,97776	-8730,26
150	2,618	67,546	7,764	-10572,9	1790,9136	-8781,94
160	2,7925	69,468	5,157	-11472,2	2743,8388	-8728,38
170	2,9671	70,618	2,571	-12023	3365,8166	-8657,19
180	3,1416	71	2E-15	-12208,5	3581,8272	-8626,65
190	3,3161	70,618	-2,571	-12023	3365,8166	-8657,19
200	3,4907	69,468	-5,157	-11472,2	2743,8388	-8728,38
210	3,6652	67,546	-7,764	-10572,9	1790,9136	-8781,94
220	3,8397	64,846	-10,37	-9352,24	621,97776	-8730,26
230	4,0143	61,375	-12,94	-7847,46	-621,9778	-8469,44
240	4,1888	57,156	-15,38	-6104,24	-1790,914	-7895,15
250	4,3633	52,24	-17,6	-4175,55	-2743,839	-6919,39
260	4,5379	46,715	-19,46	-2119,98	-3365,817	-5485,8
270	4,7124	40,708	-20,82	-2,2E-12	-3581,827	-3581,83
280	4,8869	34,386	-21,55	2119,981	-3365,817	-1245,84
290	5,0615	27,957	-21,53	4175,547	-2743,839	1431,71
300	5,236	21,656	-20,67	6104,241	-1790,914	4313,33
310	5,4105	15,737	-18,96	7847,461	-621,9778	7225,48
320	5,5851	10,457	-16,39	9352,239	621,97776	9974,22
330	5,7596	6,058	-13,05	10572,85	1790,9136	12363,8
340	5,9341	2,7501	-9,083	11472,22	2743,8388	14216,1
350	6,1087	0,6964	-4,66	12023,01	3365,8166	15388,8
360	6,2832	3E-31	-7E-15	12208,48	3581,8272	15790,3
370	6,4577	0,6964	4,66	12023,01	3365,8166	15388,8
380	6,6323	2,7501	9,083	11472,22	2743,8388	14216,1
390	6,8068	6,058	13,05	10572,85	1790,9136	12363,8
400	6,9813	10,457	16,39	9352,239	621,97776	9974,22
410	7,1558	15,737	18,96	7847,461	-621,9778	7225,48
420	7,3304	21,656	20,67	6104,241	-1790,914	4313,33
430	7,5049	27,957	21,53	4175,547	-2743,839	1431,71
440	7,6794	34,386	21,55	2119,981	-3365,817	-1245,84

450	7,854	40,708	20,82	3,74E-12	-3581,827	-3581,83
460	8,0285	46,715	19,46	-2119,98	-3365,817	-5485,8
470	8,203	52,24	17,6	-4175,55	-2743,839	-6919,39
480	8,3776	57,156	15,38	-6104,24	-1790,914	-7895,15
490	8,5521	61,375	12,94	-7847,46	-621,9778	-8469,44
500	8,7266	64,846	10,37	-9352,24	621,97776	-8730,26
510	8,9012	67,546	7,764	-10572,9	1790,9136	-8781,94
520	9,0757	69,468	5,157	-11472,2	2743,8388	-8728,38
530	9,2502	70,618	2,571	-12023	3365,8166	-8657,19
540	9,4248	71	5E-15	-12208,5	3581,8272	-8626,65
550	9,5993	70,618	-2,571	-12023	3365,8166	-8657,19
560	9,7738	69,468	-5,157	-11472,2	2743,8388	-8728,38
570	9,9484	67,546	-7,764	-10572,9	1790,9136	-8781,94
580	10,123	64,846	-10,37	-9352,24	621,97776	-8730,26
590	10,297	61,375	-12,94	-7847,46	-621,9778	-8469,44
600	10,472	57,156	-15,38	-6104,24	-1790,914	-7895,15
610	10,647	52,24	-17,6	-4175,55	-2743,839	-6919,39
620	10,821	46,715	-19,46	-2119,98	-3365,817	-5485,8
630	10,996	40,708	-20,82	-5,2E-12	-3581,827	-3581,83
640	11,17	34,386	-21,55	2119,981	-3365,817	-1245,84
650	11,345	27,957	-21,53	4175,547	-2743,839	1431,71
660	11,519	21,656	-20,67	6104,241	-1790,914	4313,33
670	11,694	15,737	-18,96	7847,461	-621,9778	7225,48
680	11,868	10,457	-16,39	9352,239	621,97776	9974,22
690	12,043	6,058	-13,05	10572,85	1790,9136	12363,8
700	12,217	2,7501	-9,083	11472,22	2743,8388	14216,1
710	12,392	0,6964	-4,66	12023,01	3365,8166	15388,8
720	12,566	1E-30	-1E-14	12208,48	3581,8272	15790,3

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Таблица В1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя.

ϕ°	Δp_r , МПа	W , м/с ²	p_i , 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	$M_{кр.ц}$ Нм
0	0,0167	21539	-2,542	-2,5248	0	0	1	-2,525	1	-2,525	0	0	0	0
10	0,0067	20988	-2,477	-2,4699	0,0521	-0,129	1,0014	-2,473	0,975767	-2,41	0,224914	-0,55551	-3,4559	-166,575
20	-0,0033	19379	-2,287	-2,29	0,1029	-0,236	1,0053	-2,302	0,904474	-2,071	0,438741	-1,00473	-6,25054	-301,276
30	-0,0053	16838	-1,987	-1,9922	0,1514	-0,302	1,0113	-2,015	0,790277	-1,574	0,631072	-1,25723	-7,8214	-376,992
40	-0,0083	13562	-1,6	-1,6086	0,1961	-0,315	1,0189	-1,639	0,639878	-1,029	0,79287	-1,27543	-7,93463	-382,449
50	-0,0113	9796	-1,156	-1,1672	0,2355	-0,275	1,027	-1,199	0,462126	-0,539	0,917162	-1,07055	-6,66005	-321,014
60	-0,0143	5811	-0,686	-0,6999	0,2683	-0,188	1,0348	-0,724	0,267354	-0,187	0,999645	-0,69968	-4,35279	-209,804
70	-0,0173	1872	-0,221	-0,2382	0,2929	-0,07	1,0412	-0,248	0,066479	-0,016	1,039078	-0,24751	-1,53982	-74,2194
80	-0,0193	-1780	0,21	0,1907	0,3082	0,0588	1,0454	0,1994	-0,13008	-0,025	1,037314	0,197852	1,230866	59,32774
90	-0,0193	-4957	0,5849	0,5656	0,3134	0,1773	1,0469	0,5922	-0,31342	-0,177	0,998899	0,565004	3,514966	169,4214
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	-0,0035	-11502	1,3573	1,3537	-0,236	-0,319	1,027	1,3903	-0,82298	-1,114	-0,61437	-0,83169	-5,17406	-249,389

240	0,0052	-10754	1,269	1,2742	-0,268	-0,342	1,0348	1,3185	-0,73204	-0,933	-0,73136	-0,93192	-5,79758	-279,443
250	0,0173	-9455	1,1157	1,133	-0,293	-0,332	1,0412	1,1797	-0,61698	-0,699	-0,83871	-0,95028	-5,91184	-284,951
260	0,0341	-7525	0,888	0,9221	-0,308	-0,284	1,0454	0,964	-0,47701	-0,44	-0,93027	-0,85779	-5,33643	-257,216
270	0,0577	-4946	0,5836	0,6413	-0,313	-0,201	1,0469	0,6714	-0,31342	-0,201	-0,9989	-0,64059	-3,98522	-192,088
280	0,0916	-1767	0,2085	0,3002	-0,308	-0,093	1,0454	0,3138	-0,13008	-0,039	-1,03731	-0,31138	-1,93713	-93,3695
290	0,1416	1886	-0,223	-0,081	-0,293	0,0237	1,0412	-0,084	0,066479	-0,005	-1,03908	0,084114	0,523288	25,22247
300	0,2174	5826	-0,687	-0,47	-0,268	0,1261	1,0348	-0,486	0,267354	-0,126	-0,99964	0,469834	2,922903	140,8839
310	0,3361	9813	-1,158	-0,8218	-0,236	0,1936	1,027	-0,844	0,462126	-0,38	-0,91716	0,753702	4,688886	226,0043
320	0,5266	13580	-1,602	-1,0758	-0,196	0,2109	1,0189	-1,096	0,639878	-0,688	-0,79287	0,852962	5,306396	255,7683
330	0,9803	16857	-1,989	-1,0088	-0,151	0,1527	1,0113	-1,02	0,790277	-0,797	-0,63107	0,636644	3,960652	190,9034
331	1,0515	17148	-2,023	-0,972	-0,147	0,1426	1,0106	-0,982	0,803455	-0,781	-0,61308	0,5959	3,707175	178,6859
332	1,1297	17432	-2,057	-0,9272	-0,142	0,1316	1,01	-0,936	0,816261	-0,757	-0,59478	0,551483	3,430851	165,367
333	1,2156	17707	-2,089	-0,8739	-0,137	0,1199	1,0093	-0,882	0,828688	-0,724	-0,5762	0,503518	3,132455	150,9843
334	1,3097	17975	-2,121	-0,8113	-0,132	0,1074	1,0087	-0,818	0,840729	-0,682	-0,55734	0,452188	2,813128	135,5928
335	1,4126	18234	-2,152	-0,739	-0,128	0,0943	1,0081	-0,745	0,852376	-0,63	-0,5382	0,397744	2,474419	119,267
336	1,5248	18485	-2,181	-0,6563	-0,123	0,0805	1,0075	-0,661	0,863622	-0,567	-0,5188	0,340505	2,118327	102,1034
337	1,6470	18727	-2,21	-0,5627	-0,118	0,0663	1,0069	-0,567	0,874462	-0,492	-0,49914	0,280871	1,747341	84,22182
338	1,7796	18960	-2,237	-0,4577	-0,113	0,0517	1,0063	-0,461	0,884888	-0,405	-0,47924	0,219327	1,364466	65,76725
339	1,9230	19184	-2,264	-0,3408	-0,108	0,0368	1,0058	-0,343	0,894894	-0,305	-0,4591	0,156443	0,973254	46,91083
340	2,0774	19399	-2,289	-0,2117	-0,103	0,0218	1,0053	-0,213	0,904474	-0,191	-0,43874	0,092879	0,577812	27,85052
341	2,2431	19605	-2,313	-0,0703	-0,098	0,0069	1,0048	-0,071	0,913624	-0,064	-0,41816	0,029384	0,182802	8,811051
342	2,4201	19801	-2,337	0,0836	-0,093	-0,008	1,0043	0,0839	0,922337	0,077	-0,39738	-0,03321	-0,20658	-9,95702
343	2,6082	19987	-2,359	0,2497	-0,088	-0,022	1,0038	0,2506	0,930608	0,232	-0,3764	-0,09398	-0,58463	-28,1793
344	2,8071	20164	-2,379	0,4277	-0,083	-0,035	1,0034	0,4292	0,938433	0,401	-0,35523	-0,15194	-0,94524	-45,5606
345	3,0162	20330	-2,399	0,6172	-0,078	-0,048	1,003	0,619	0,945806	0,584	-0,33389	-0,20606	-1,28194	-61,7895
346	3,2346	20487	-2,417	0,8172	-0,073	-0,059	1,0026	0,8193	0,952725	0,779	-0,31238	-0,25527	-1,58805	-76,5441
347	3,4614	20633	-2,435	1,0267	-0,067	-0,069	1,0023	1,029	0,959184	0,985	-0,29072	-0,29847	-1,85683	-89,4993
348	3,6950	20769	-2,451	1,2443	-0,062	-0,078	1,0019	1,2467	0,965179	1,201	-0,26891	-0,33461	-2,08164	-100,335
349	3,9340	20894	-2,466	1,4684	-0,057	-0,084	1,0016	1,4708	0,970708	1,425	-0,24698	-0,36266	-2,25617	-108,747
350	4,1762	21009	-2,479	1,6971	-0,052	-0,088	1,0014	1,6994	0,975767	1,656	-0,22491	-0,3817	-2,37461	-114,456
351	4,4196	21114	-2,491	1,9282	-0,047	-0,09	1,0011	1,9303	0,980353	1,89	-0,20274	-0,39092	-2,43195	-117,22
352	4,6616	21207	-2,502	2,1592	-0,042	-0,09	1,0009	2,1611	0,984464	2,126	-0,18047	-0,38967	-2,42417	-116,845
353	4,8998	21290	-2,512	2,3876	-0,037	-0,087	1,0007	2,3892	0,988097	2,359	-0,15811	-0,37749	-2,34844	-113,195

354	5,1313	21361	-2,521	2,6106	-0,031	-0,082	1,0005	2,6119	0,991249	2,588	-0,13567	-0,35417	-2,20335	-106,201
355	5,3533	21422	-2,528	2,8255	-0,026	-0,074	1,0003	2,8264	0,99392	2,808	-0,11316	-0,31972	-1,98905	-95,872
356	5,5631	21472	-2,534	3,0293	-0,021	-0,063	1,0002	3,03	0,996107	3,018	-0,09059	-0,27444	-1,70733	-82,2933
357	5,7578	21511	-2,538	3,2195	-0,016	-0,05	1,0001	3,2199	0,997809	3,212	-0,06798	-0,21888	-1,36168	-65,633
358	5,9351	21539	-2,542	3,3935	-0,01	-0,035	1,0001	3,3937	0,999026	3,39	-0,04534	-0,15387	-0,95723	-46,1387
359	6,0925	21555	-2,544	3,5489	-0,005	-0,019	1	3,549	0,999757	3,548	-0,02268	-0,08048	-0,50066	-24,132
360	6,2281	21561	-2,544	3,6839	-7E-17	-3E-16	1	3,6839	1	3,684	-2,5E-16	-9E-16	-5,6E-15	-2,7E-13
361	6,3403	21556	-2,544	3,7967	0,0052	0,0198	1	3,7968	0,999757	3,796	0,022677	0,086097	0,53562	25,81687
362	6,4279	21539	-2,542	3,8863	0,0104	0,0406	1,0001	3,8865	0,999026	3,883	0,045342	0,176213	1,096248	52,83916
363	6,4903	21511	-2,538	3,952	0,0157	0,0619	1,0001	3,9525	0,997809	3,943	0,067985	0,268675	1,671464	80,56456
364	6,5273	21473	-2,534	3,9935	0,0209	0,0834	1,0002	3,9944	0,996107	3,978	0,090594	0,361786	2,250722	108,4848
365	6,5390	21423	-2,528	4,0111	0,0261	0,1047	1,0003	4,0125	0,99392	3,987	0,113158	0,453888	2,823703	136,1025
366	6,5262	21362	-2,521	4,0055	0,0313	0,1254	1,0005	4,0075	0,991249	3,97	0,135666	0,543411	3,380636	162,9467
367	6,4901	21291	-2,512	3,9778	0,0365	0,1452	1,0007	3,9805	0,988097	3,93	0,158107	0,628917	3,912583	188,5865
368	6,4320	21208	-2,503	3,9294	0,0417	0,1639	1,0009	3,9329	0,984464	3,868	0,180469	0,709143	4,411675	212,6428
369	6,3537	21115	-2,492	3,8622	0,0469	0,1811	1,0011	3,8664	0,980353	3,786	0,202742	0,78302	4,871277	234,7956
370	6,2571	21011	-2,479	3,7779	0,0521	0,1967	1,0014	3,783	0,975767	3,686	0,224914	0,849699	5,286095	254,7898
371	6,1444	20896	-2,466	3,6787	0,0572	0,2105	1,0016	3,6847	0,970708	3,571	0,246975	0,90855	5,652217	272,4369
372	6,0177	20771	-2,451	3,5668	0,0624	0,2224	1,0019	3,5737	0,965179	3,443	0,268914	0,959164	5,967093	287,6139
373	5,8793	20635	-2,435	3,4443	0,0675	0,2325	1,0023	3,4522	0,959184	3,304	0,290719	1,001338	6,229463	300,2601
374	5,7311	20489	-2,418	3,3135	0,0726	0,2406	1,0026	3,3222	0,952725	3,157	0,312381	1,035059	6,43925	310,3718
375	5,5754	20332	-2,399	3,1762	0,0777	0,2468	1,003	3,1857	0,945806	3,004	0,333888	1,060483	6,597416	317,9954
376	5,4140	20166	-2,38	3,0344	0,0828	0,2513	1,0034	3,0448	0,938433	2,848	0,35523	1,077906	6,705806	323,2198
377	5,2486	19989	-2,359	2,8899	0,0879	0,2539	1,0038	2,901	0,930608	2,689	0,376397	1,08774	6,766985	326,1687
378	5,0810	19803	-2,337	2,7442	0,0929	0,255	1,0043	2,756	0,922337	2,531	0,397378	1,090487	6,784071	326,9922
379	4,9124	19607	-2,314	2,5988	0,0979	0,2545	1,0048	2,6112	0,913624	2,374	0,418162	1,086712	6,760586	325,8602
380	4,7442	19402	-2,289	2,4548	0,1029	0,2527	1,0053	2,4677	0,904474	2,22	0,438741	1,077024	6,700314	322,9551
381	4,5774	19187	-2,264	2,3133	0,1079	0,2496	1,0058	2,3267	0,894894	2,07	0,459104	1,062053	6,607181	318,4661
382	4,4128	18963	-2,238	2,1752	0,1129	0,2455	1,0063	2,189	0,884888	1,925	0,47924	1,042438	6,485152	312,5843
383	4,2512	18730	-2,21	2,0411	0,1178	0,2404	1,0069	2,0552	0,874462	1,785	0,499141	1,018808	6,338147	305,4987
384	4,0932	18488	-2,182	1,9117	0,1227	0,2345	1,0075	1,926	0,863622	1,651	0,518797	0,991776	6,16998	297,393
385	3,9393	18237	-2,152	1,7873	0,1275	0,228	1,0081	1,8017	0,852376	1,523	0,538198	0,961931	5,984306	288,4435
386	3,8309	17978	-2,121	1,7095	0,1324	0,2263	1,0087	1,7244	0,840729	1,437	0,557336	0,952776	5,927351	285,6983

387	3,6961	17710	-2,09	1,6063	0,1372	0,2203	1,0093	1,6212	0,828688	1,331	0,576201	0,925524	5,757816	277,5267
388	3,5655	17435	-2,057	1,5082	0,142	0,2141	1,01	1,5232	0,816261	1,231	0,594784	0,897037	5,580595	268,9847
389	3,4392	17152	-2,024	1,4153	0,1467	0,2076	1,0106	1,4304	0,803455	1,137	0,613077	0,867705	5,398115	260,1891
390	3,3173	16861	-1,99	1,3277	0,1514	0,201	1,0113	1,3428	0,790277	1,049	0,631072	0,83789	5,21263	251,2487
391	3,1997	16563	-1,954	1,2453	0,156	0,1943	1,012	1,2603	0,776735	0,967	0,648759	0,807927	5,026225	242,2641
392	3,0865	16257	-1,918	1,1681	0,1607	0,1877	1,0127	1,183	0,762838	0,891	0,666131	0,778123	4,840813	233,3272
393	2,9775	15945	-1,881	1,096	0,1653	0,1811	1,0135	1,1108	0,748593	0,82	0,68318	0,748759	4,658136	224,5222
394	2,8727	15626	-1,844	1,0288	0,1698	0,1747	1,0142	1,0435	0,734009	0,755	0,699899	0,720088	4,479769	215,9248
395	2,7720	15300	-1,805	0,9666	0,1743	0,1685	1,015	0,981	0,719094	0,695	0,716279	0,692337	4,307123	207,6033
396	2,6753	14969	-1,766	0,909	0,1787	0,1625	1,0157	0,9233	0,703857	0,64	0,732315	0,665707	4,141457	199,6182
397	2,5826	14631	-1,726	0,8561	0,1831	0,1568	1,0165	0,8702	0,688308	0,589	0,747998	0,640377	3,983878	192,0229
398	2,4936	14288	-1,686	0,8077	0,1875	0,1514	1,0173	0,8216	0,672456	0,543	0,763322	0,616503	3,835352	184,864
399	2,4083	13939	-1,645	0,7635	0,1918	0,1464	1,0181	0,7773	0,656309	0,501	0,778282	0,594218	3,696712	178,1815
400	2,3265	13585	-1,603	0,7235	0,1961	0,1419	1,0189	0,7371	0,639878	0,463	0,79287	0,573635	3,568663	172,0096
410	1,6757	9819	-1,159	0,5171	0,2355	0,1218	1,027	0,531	0,462126	0,239	0,917162	0,474243	2,950335	142,2061
420	1,2506	5833	-0,688	0,5623	0,2683	0,1508	1,0348	0,5818	0,267354	0,15	0,999645	0,562059	3,496648	168,5384
430	0,9676	1895	-0,224	0,744	0,2929	0,2179	1,0412	0,7746	0,066479	0,049	1,039078	0,773064	4,809336	231,81
440	0,7744	-1757	0,2074	0,9818	0,3082	0,3026	1,0454	1,0264	-0,13008	-0,128	1,037314	1,018413	6,33569	305,3803
450	0,6393	-4934	0,5823	1,2216	0,3134	0,3829	1,0469	1,2789	-0,31342	-0,383	0,998899	1,220249	7,591341	365,9026
460	0,5429	-7513	0,8865	1,4294	0,3082	0,4406	1,0454	1,4944	-0,47701	-0,682	0,930268	1,329743	8,272515	398,7352
470	0,4730	-9441	1,1141	1,587	0,2929	0,4649	1,0412	1,6524	-0,61698	-0,979	0,838712	1,331073	8,280793	399,1342
480	0,4217	-10739	1,2672	1,6889	0,2683	0,4531	1,0348	1,7477	-0,73204	-1,236	0,731358	1,235227	7,684517	370,3937
490	0,3841	-11486	1,3553	1,7394	0,2355	0,4097	1,027	1,7864	-0,82298	-1,432	0,614368	1,068659	6,648276	320,4469
500	0,3567	-11805	1,393	1,7497	0,1961	0,3431	1,0189	1,7827	-0,89194	-1,561	0,492477	0,86169	5,360692	258,3854
510	0,2567	-11842	1,3974	1,6541	0,1514	0,2504	1,0113	1,6728	-0,94166	-1,558	0,368864	0,610134	3,79573	182,9542
520	0,1567	-11742	1,3856	1,5423	0,1029	0,1588	1,0053	1,5504	-0,97488	-1,504	0,24529	0,378315	2,353549	113,441
530	0,1467	-11628	1,3721	1,5188	0,0521	0,0791	1,0014	1,5209	-0,99385	-1,509	0,122382	0,185874	1,156349	55,73603
540	0,0467	-11580	1,3664	1,4131	1E-16	2E-16	1	1,4131	-1	-1,413	3,68E-16	5,19E-16	3,23E-15	1,56E-13
550	0,0267	-11627	1,3719	1,3987	-0,052	-0,073	1,0014	1,4006	-0,99385	-1,39	-0,12238	-0,17117	-1,06488	-51,327
560	0,0167	-11740	1,3853	1,402	-0,103	-0,144	1,0053	1,4094	-0,97488	-1,367	-0,24529	-0,3439	-2,13947	-103,122
570	0,0167	-11838	1,3969	1,4137	-0,151	-0,214	1,0113	1,4297	-0,94166	-1,331	-0,36886	-0,52145	-3,24398	-156,36
580	0,0167	-11800	1,3924	1,4091	-0,196	-0,276	1,0189	1,4357	-0,89194	-1,257	-0,49248	-0,69396	-4,31722	-208,09
590	0,0167	-11480	1,3546	1,3713	-0,236	-0,323	1,027	1,4084	-0,82298	-1,129	-0,61437	-0,8425	-5,24132	-252,632

600	0,0167	-10732	1,2664	1,2831	-0,268	-0,344	1,0348	1,3277	-0,73204	-0,939	-0,73136	-0,93839	-5,83783	-281,383
610	0,0167	-9433	1,1131	1,1298	-0,293	-0,331	1,0412	1,1763	-0,61698	-0,697	-0,83871	-0,94756	-5,89493	-284,136
620	0,0167	-7503	0,8854	0,9021	-0,308	-0,278	1,0454	0,9431	-0,47701	-0,43	-0,93027	-0,83916	-5,22055	-251,631
630	0,0167	-4923	0,5809	0,5977	-0,313	-0,187	1,0469	0,6257	-0,31342	-0,187	-0,9989	-0,597	-3,71402	-179,016
640	0,0167	-1745	0,2059	0,2226	-0,308	-0,069	1,0454	0,2327	-0,13008	-0,029	-1,03731	-0,23093	-1,43663	-69,2455
650	0,0167	1908	-0,225	-0,2085	-0,293	0,0611	1,0412	-0,217	0,066479	-0,014	-1,03908	0,216614	1,347584	64,95356
660	0,0167	5848	-0,69	-0,6733	-0,268	0,1806	1,0348	-0,697	0,267354	-0,18	-0,99964	0,673094	4,187413	201,8333
670	0,0167	9835	-1,161	-1,1438	-0,236	0,2694	1,027	-1,175	0,462126	-0,529	-0,91716	1,049048	6,526273	314,5663
680	0,0167	13602	-1,605	-1,5883	-0,196	0,3114	1,0189	-1,618	0,639878	-1,016	-0,79287	1,259335	7,8345	377,6229
690	0,0167	16879	-1,992	-1,9751	-0,151	0,299	1,0113	-1,997	0,790277	-1,561	-0,63107	1,246405	7,754062	373,7458
700	0,0167	19421	-2,292	-2,275	-0,103	0,2342	1,0053	-2,287	0,904474	-2,058	-0,43874	0,998142	6,209581	299,3018
710	0,0167	21032	-2,482	-2,465	-0,052	0,1283	1,0014	-2,468	0,975767	-2,405	-0,22491	0,554417	3,449103	166,2468
720	0,0167	21583	-2,547	-2,5301	-1E-16	4E-16	1	-2,53	1	-2,53	-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} , Нм
	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	
0	0	0	180	1E-14	360	4,4E-14	540	-2E-13	0
10	10	-44,81	190	-13,76	370	-14,51	550	183,51	110,43
20	20	-81,44	200	-27,88	380	-28,896	560	256,9	118,68
30	30	-102,1	210	-42,28	390	-43,686	570	238,53	50,409
40	40	-104,1	220	-56,23	400	-57,943	580	196,8	-21,47
50	50	-88,08	230	-68,07	410	-70,109	590	163,58	-62,67
60	60	-58,58	240	-76,48	420	-77,857	600	147,24	-65,68
70	70	-22,36	250	-78,53	430	-78,449	610	144,4	-34,94
80	80	13,635	260	-72,08	440	-69,433	620	147,95	20,078
90	90	43,694	270	-56,26	450	-49,568	630	151,15	89,022
100	100	63,935	280	-32,41	460	-19,727	640	149,48	161,28
110	110	73,486	290	-4,545	470	16,5999	650	141,1	226,64
120	120	73,525	300	20,879	480	53,5385	660	126,4	274,35
130	130	66,466	310	36,254	490	83,8987	670	107,14	293,76
140	140	55,101	320	35,161	500	100,876	680	85,441	276,58
150	150	41,616	330	1,0924	510	99,8937	690	58,236	200,84
160	160	27,559	340	-66,85	520	80,0117	700	34,544	75,269
170	170	13,681	350	-107,5	530	44,4452	710	16,926	-32,44
180	180	1E-14	360	-2E-13	540	1E-13	720	4E-14	-4E-14

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

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

φ, град	K, Н	T, Н	P _к , Н	R _{ш.ш.} , Н	K _{рк} , Н	R _к , Н
0	0	-5,7399273	-13,1852	13,1852	-25,1662	25,16618
10	-1,262266	-5,5023939	-12,9477	13,0091	-24,9287	24,96059
20	-2,294001	-4,7540424	-12,1993	12,4132	-24,1803	24,28887
30	-2,877449	-3,6258327	-11,0711	11,4390	-23,0521	23,23098
40	-2,932338	-2,3855716	-9,83088	10,2589	-21,8118	22,00805
50	-2,481005	-1,2647845	-8,71009	9,0565	-20,691	20,83926
60	-1,65023	-0,450858	-7,89616	8,0668	-19,8771	19,9455
70	-0,629773	-0,0440001	-7,48931	7,5157	-19,4703	19,48044
80	0,384087	-0,0457587	-7,49106	7,5009	-19,472	19,4758
90	1,230827	-0,3777332	-7,82304	7,9193	-19,804	19,8422
100	1,800979	-0,9095024	-8,35481	8,5467	-20,3358	20,41535
110	2,070035	-1,5041583	-8,94946	9,1857	-20,9304	21,03253
120	2,071118	-2,0509152	-9,49622	9,7195	-21,4772	21,5768
130	1,872293	-2,4835429	-9,92885	10,1038	-21,9098	21,98965
140	1,552144	-2,7852538	-10,2306	10,3476	-22,2115	22,26568
150	1,172288	-2,966214	-10,4115	10,4773	-22,3925	22,42314
160	0,776318	-3,0587768	-10,5041	10,5327	-22,485	22,49843
170	0,385386	-3,1030137	-10,5483	10,5554	-22,5293	22,53257
180	3,82E-16	-3,1207367	-10,566	10,5660	-22,547	22,54699
190	-0,387654	-3,1212813	-10,5666	10,5737	-22,5475	22,55087
200	-0,785408	-3,0945957	-10,5399	10,5691	-22,5209	22,53454
210	-1,191073	-3,0137455	-10,4591	10,5267	-22,44	22,47159
220	-1,584038	-2,8424865	-10,2878	10,4090	-22,2687	22,32501
230	-1,917436	-2,543424	-9,98873	10,1711	-21,9697	22,0532
240	-2,154364	-2,1333496	-9,57865	9,8179	-21,5596	21,66698
250	-2,212154	-1,6074265	-9,05273	9,3191	-21,0337	21,14969
260	-2,030351	-1,0253364	-8,47064	8,7106	-20,4516	20,55213
270	-1,584736	-0,4863457	-7,93165	8,0884	-19,9126	19,97556
280	-0,912847	-0,1087532	-7,55406	7,6090	-19,535	19,55633
290	-0,128034	0,0089453	-7,43636	7,4375	-19,4173	19,41773
300	0,588142	-0,1606857	-7,60599	7,6287	-19,5869	19,59577
310	1,021234	-0,5206123	-7,96592	8,0311	-19,9469	19,97299
320	0,990458	-0,8057759	-8,25108	8,3103	-20,232	20,25626
330	0,030773	-0,0387763	-7,48408	7,4841	-19,465	19,46506
340	-1,882975	3,90224019	-3,54307	4,0123	-15,524	15,6378
350	-3,028041	13,1996563	5,754351	6,5024	-6,2266	6,923842
360	-5,59E-15	22,8075236	15,36222	15,3622	3,381267	3,381267
363	5,16928	22,5336162	15,08831	15,9493	3,10736	6,031347
370	7,236548	14,9968801	7,551575	10,4592	-4,42938	8,484515
380	6,719095	8,46663701	1,021332	6,7963	-10,9596	12,85533
390	5,543702	4,51001735	-2,93529	6,2728	-14,9162	15,9131
400	4,607904	2,34905044	-5,09625	6,8706	-17,0772	17,68795
410	4,147725	1,13319652	-6,31211	7,5529	-18,2931	18,75739
420	4,067645	0,28419257	-7,16111	8,2357	-19,1421	19,56947
430	4,167684	-0,4965221	-7,94183	8,9690	-19,9228	20,35403
440	4,257855	-1,3067092	-8,75201	9,7328	-20,733	21,16566
450	4,210721	-2,1264329	-9,57174	10,4570	-21,5527	21,96016

460	3,974547	-2,8880409	-10,3333	11,0714	-22,3143	22,6655
470	3,560659	-3,525926	-10,9712	11,5346	-22,9522	23,22673
480	3,018037	-4,003339	-11,4486	11,8398	-23,4296	23,62318
490	2,406775	-4,3188519	-11,7642	12,0078	-23,7451	23,86677
500	1,640449	-4,1507914	-11,5961	11,7116	-23,577	23,63405
510	0,973068	-3,8339943	-11,2793	11,3212	-23,2603	23,2806
520	0,476784	-3,8389293	-11,2842	11,2943	-23,2652	23,27007
530	1,25E-15	-3,3925513	-10,8379	10,8379	-22,8188	22,81881
540	-0,408721	-3,2909027	-10,7362	10,7440	-22,7172	22,72084
550	-0,813978	-3,2071636	-10,6525	10,6835	-22,6334	22,64805
560	-1,230593	-3,1137412	-10,559	10,6305	-22,54	22,57357
570	-1,632202	-2,9289143	-10,3742	10,5018	-22,3552	22,41468
580	-1,974911	-2,6196631	-10,065	10,2569	-22,0459	22,1342
590	-2,193152	-2,171759	-9,61706	9,8640	-21,598	21,70908
600	-2,20983	-1,6057381	-9,05104	9,3169	-21,032	21,14777
610	-1,955857	-0,9877164	-8,43302	8,6569	-20,414	20,50745
620	-1,396283	-0,4285106	-7,87382	7,9967	-19,8548	19,9038
630	-0,555701	-0,0662041	-7,51151	7,5320	-19,4925	19,50038
640	0,467604	-0,0326699	-7,47798	7,4926	-19,4589	19,46454
650	1,508128	-0,4120344	-7,85734	8,0008	-19,8383	19,89553
660	2,363345	-1,204803	-8,65011	8,9671	-20,6311	20,76598
670	2,84158	-2,3117358	-9,75704	10,1624	-21,738	21,92293
680	2,813907	-3,5457645	-10,9911	11,3456	-22,972	23,14372
690	2,253851	-4,6708365	-12,1161	12,3240	-24,0971	24,20227
700	1,251976	-5,4575392	-12,9028	12,9634	-24,8838	24,91527
710	2,81E-15	-5,7399273	-13,1852	13,1852	-25,1662	25,16618
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	10032,7	10032,7	10032,7	0	0	0	0	0	0	0	10032,7	10032,7
Rш.ш 10	9876,2	9876,2	9876,2	0	0	0	0	0	0	0	9876,2	9876,2
Rш.ш 20	9333,16	9333,16	9333,16	0	0	0	0	0	0	0	9333,16	9333,16
Rш.ш 30	8425,23	8425,23	8425,23	0	0	0	0	0	0	0	0	8425,23
Rш.ш 40	7293,79	7293,79	7293,79	0	0	0	0	0	0	0	0	7293,79
Rш.ш 50	6086,23	6086,23	6086,23	0	0	0	0	0	0	0	0	6086,23
Rш.ш 60	5022,51	5022,51	5022,51	0	0	0	0	0	0	0	0	5022,51
Rш.ш 70	4382,3	4382,3	4382,3	0	0	0	0	0	0	0	4382,3	4382,3
Rш.ш 80	4355,53	4355,53	4355,53	0	0	0	0	0	0	0	4355,53	4355,53
Rш.ш 90	4830	4830	0	0	0	0	0	0	0	0	4830	4830
Rш.ш 100	5505,23	5505,23	0	0	0	0	0	0	0	0	5505,23	5505,23
Rш.ш 110	6155,47	6155,47	0	0	0	0	0	0	0	0	6155,47	6155,47
Rш.ш 120	6673,26	6673,26	0	0	0	0	0	0	0	0	6673,26	6673,26
Rш.ш 130	7030,25	7030,25	0	0	0	0	0	0	0	0	7030,25	7030,25
Rш.ш 140	7246,25	7246,25	0	0	0	0	0	0	0	0	7246,25	7246,25
Rш.ш 150	7353,07	7353,07	0	0	0	0	0	0	0	0	7353,07	7353,07
Rш.ш 160	7392,46	7392,46	7392,46	0	0	0	0	0	0	0	7392,46	7392,46
Rш.ш 170	7405,86	7405,86	7405,86	0	0	0	0	0	0	0	7405,86	7405,86
Rш.ш 180	7413,54	7413,54	7413,54	0	0	0	0	0	0	0	7413,54	7413,54
Rш.ш 190	7424,22	7424,22	7424,22	0	0	0	0	0	0	0	7424,22	7424,22
Rш.ш 200	7429,04	7429,04	7429,04	0	0	0	0	0	0	0	7429,04	7429,04
Rш.ш 210	7403	7403	7403	0	0	0	0	0	0	0	0	7403
Rш.ш 220	7309,01	7309,01	7309,01	0	0	0	0	0	0	0	0	7309,01
Rш.ш 230	7100,04	7100,04	7100,04	0	0	0	0	0	0	0	0	7100,04
Rш.ш 240	6777,67	6777,67	6777,67	0	0	0	0	0	0	0	0	6777,67
Rш.ш 250	6301,3	6301,3	6301,3	0	0	0	0	0	0	0	0	6301,3
Rш.ш 260	5692,54	5692,54	5692,54	0	0	0	0	0	0	0	0	5692,54
Rш.ш 270	5035,05	5035,05	5035,05	0	0	0	0	0	0	0	0	5035,05
Rш.ш 280	4495,22	4495,22	4495,22	0	0	0	0	0	0	0	4495,22	4495,22
Rш.ш 290	4285,77	4285,77	4285,77	0	0	0	0	0	0	0	4285,77	4285,77
Rш.ш 300	4492,16	4492,16	0	0	0	0	0	0	0	0	4492,16	4492,16
Rш.ш 310	4920,56	4920,56	0	0	0	0	0	0	0	0	4920,56	4920,56
Rш.ш 320	5193,9	5193,9	0	0	0	0	0	0	0	0	5193,9	5193,9
Rш.ш 330	4331,69	4331,69	0	0	0	0	0	0	0	0	4331,69	4331,69
Rш.ш 340	1923,05	1923,05	1923,05	0	0	0	0	0	0	0	1923,05	1923,05
Rш.ш 350	9407,5	9407,5	9407,5	0	0	0	0	0	0	0	9407,5	9407,5
Rш.ш 360	18514,7	18514,7	18514,7	0	0	0	0	0	0	0	18514,7	18514,7
Rш.ш 370	18959,1	18959,1	18959,1	0	0	0	0	0	0	0	18959,1	18959,1
Rш.ш 380	12920,7	12920,7	12920,7	0	0	12920,71	12920,7	12920,7	0	0	12920,7	12920,7

RIII. III 390	0	0	0	0	0	0	0	0	7909,94	7909,94	7909,94	7909,94
RIII. III 400	5547,96	5547,96	0	0	0	0	0	0	0	0	5547,96	5547,96
RIII. III 410	5001,1	5001,1	0	0	0	0	0	0	0	0	5001,1	5001,1
RIII. III 420	5214,09	5214,09	0	0	0	0	0	0	0	0	5214,09	5214,09
RIII. III 430	5710,93	5710,93	0	0	0	0	0	0	0	0	5710,93	5710,93
RIII. III 440	6348,8	6348,8	0	0	0	0	0	0	0	0	6348,8	6348,8
RIII. III 450	7034,48	0	0	0	0	0	0	0	0	7034,48	7034,48	7034,48
RIII. III 460	7677,03	7677,03	0	0	0	0	0	0	0	0	7677,03	7677,03
RIII. III 470	8207,41	8207,41	0	0	0	0	0	0	0	0	8207,41	8207,41
RIII. III 480	8591,33	8591,33	0	0	0	0	0	0	0	0	8591,33	8591,33
RIII. III 490	8828,06	8828,06	0	0	0	0	0	0	0	0	8828,06	8828,06
RIII. III 500	8941,66	8941,66	0	0	0	0	0	0	0	0	8941,66	8941,66
RIII. III 510	8601,48	8601,48	0	0	0	0	0	0	0	0	8601,48	8601,48
RIII. III 520	8184,85	8184,85	8184,85	0	0	0	0	0	0	0	8184,85	8184,85
RIII. III 530	8145,7	8145,7	8145,7	0	0	0	0	0	0	0	8145,7	8145,7
RIII. III 540	7685,36	7685,36	7685,36	0	0	0	0	0	0	0	7685,36	7685,36
RIII. III 550	7594,72	7594,72	7594,72	0	0	0	0	0	0	0	7594,72	7594,72
RIII. III 560	7544,01	7544,01	7544,01	0	0	0	0	0	0	0	7544,01	7544,01
RIII. III 570	7508,08	7508,08	7508,08	0	0	0	0	0	0	0	0	7508,08
RIII. III 580	7403,87	7403,87	7403,87	0	0	0	0	0	0	0	0	7403,87
RIII. III 590	7189,06	7189,06	7189,06	0	0	0	0	0	0	0	0	7189,06
RIII. III 600	6826,46	6826,46	6826,46	0	0	0	0	0	0	0	0	6826,46
RIII. III 610	6298,9	6298,9	6298,9	0	0	0	0	0	0	0	0	6298,9
RIII. III 620	5631,1	5631,1	5631,1	0	0	0	0	0	0	0	0	5631,1
RIII. III 630	4923,46	4923,46	4923,46	0	0	0	0	0	0	0	0	4923,46
RIII. III 640	4394,29	4394,29	4394,29	0	0	0	0	0	0	0	4394,29	4394,29
RIII. III 650	4350,68	4350,68	4350,68	0	0	0	0	0	0	0	4350,68	4350,68
RIII. III 660	4940,65	4940,65	0	0	0	0	0	0	0	0	4940,65	4940,65
RIII. III 670	5984,07	5984,07	0	0	0	0	0	0	0	0	5984,07	5984,07
RIII. III 680	7189,89	7189,89	0	0	0	0	0	0	0	0	7189,89	7189,89
RIII. III 690	8328,34	8328,34	0	0	0	0	0	0	0	0	8328,34	8328,34
RIII. III 700	9242,66	9242,66	0	0	0	0	0	0	0	0	9242,66	9242,66
RIII. III 710	9830,4	9830,4	0	0	0	0	0	0	0	0	9830,4	9830,4
Σ RIII. III i	10032,7	10032,7	0	0	0	0	0	0	0	0	10032,7	10032,7

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

1-я коренная шейка	1-й кривошип				2-я коренная шейка			2-й кривошип			3-я коренная шейка			3-й кривошип		
Рк.ш1, Н	јкв, град	Рк1, Н	Т1, Н	Крк1, Н	Тк2, Н	Кк2, Н	Рк.ш2, Н	јкв, град	Т2, Н	Крк2, Н	Тк3, Н	Кк3, Н	Рк.ш3, Н	јкв, град	Т3, Н	Крк3, Н
8523,25	0	17046,51	0	-17046,51	1,9Е-13	1309,6	1309,6	180	3,8Е-13	-14427,32	8,1Е-13	-14563,22	14563,22	540	1,25Е-12	-14699,13
8428,15	10	16856,3	-1262,27	-16808,97	437,306	1190,6	1268,33	190	-387,65	-14427,86	-398,188	-14512,67	14518,13	550	-408,721	-14597,48
8111,81	20	16223,63	-2294	-16060,62	754,296	829,72	1121,34	200	-785,41	-14401,18	-799,693	-14457,46	14479,56	560	-813,978	-14513,74
7603,56	30	15207,13	-2877,45	-14932,41	843,188	306,04	897,011	210	-1191,1	-14320,33	-1210,83	-14370,32	14421,24	570	-1230,59	-14420,32
7001,31	40	14002,63	-2932,34	-13692,15	674,15	-228,46	711,808	220	-1584	-14149,07	-1608,12	-14192,28	14283,1	580	-1632,2	-14235,49
6406,92	50	12813,84	-2481	-12571,36	281,784	-639,32	698,665	230	-1917,4	-13850	-1946,17	-13888,12	14023,82	590	-1974,91	-13926,24
5936,34	60	11872,68	-1650,23	-11757,44	-252,067	-841,25	878,198	240	-2154,4	-13439,93	-2173,76	-13459,13	13633,54	600	-2193,15	-13478,34
5684,02	70	11368,04	-629,773	-11350,58	-791,191	-781,71	1112,23	250	-2212,2	-12914,01	-2210,99	-12913,16	13101,08	610	-2209,83	-12912,32
5679,42	80	11358,83	384,0875	-11352,34	-1207,22	-489,79	1302,79	260	-2030,4	-12331,92	-1993,1	-12313,11	12473,37	620	-1955,86	-12294,3
5874,48	90	11748,96	1230,827	-11684,31	-1407,78	-54,306	1408,83	270	-1584,7	-11792,93	-1490,51	-11764,01	11858,06	630	-1396,28	-11735,09
6174,06	100	12348,12	1800,979	-12216,08	-1356,91	400,37	1414,75	280	-912,85	-11415,33	-734,274	-11394,06	11417,69	640	-555,701	-11372,78
6488,45	110	12976,9	2070,035	-12810,74	-1099,03	756,55	1334,26	290	-128,03	-11297,63	169,785	-11318,44	11319,72	650	467,604	-11339,25
6758,55	120	13517,11	2071,118	-13357,49	-741,488	945,11	1201,27	300	588,142	-11467,27	1048,13	-11592,94	11640,23	660	1508,128	-11718,61
6958,32	130	13916,64	1872,293	-13790,12	-425,529	981,47	1069,74	310	1021,23	-11827,19	1692,29	-12169,29	12286,39	670	2363,345	-12511,38
7088,53	140	14177,06	1552,144	-14091,83	-280,843	989,74	1028,81	320	990,458	-12112,36	1916,02	-12865,34	13007,23	680	2841,58	-13618,32
7160,43	150	14320,86	1172,288	-14272,79	-570,758	1463,7	1571,06	330	30,7727	-11345,36	1422,34	-13098,85	13175,85	690	2813,907	-14852,34
7193,16	160	14386,32	776,3176	-14365,36	-1329,65	3480,5	3725,84	340	-1883	-7404,34	185,438	-11690,88	11692,35	700	2253,851	-15977,42
7207,37	170	14414,75	385,3857	-14409,59	-1706,71	8151,3	8328,09	350	-3028	1893,077	-888,033	-7435,521	7488,363	710	1251,976	-16764,12
7213,66	180	14427,32	3,82Е-13	-14427,32	-3Е-12	12964	12964,1	360	-6Е-12	11500,94	-1,4Е-12	-2772,782	2772,782	720	2,81Е-12	-17046,51
7216,53	190	14433,07	-387,654	-14427,86	2778,47	12827	13124,9	370	5169,28	11227,04	2584,64	-2909,735	3891,905	0	0	-17046,51
7211,29	200	14422,58	-785,408	-14401,18	4010,98	9045,7	9895,12	380	7236,55	3690,3	2987,14	-6559,337	7207,49	10	-1262,27	-16808,97
7184,89	210	14369,77	-1191,07	-14320,33	3955,08	5740,2	6970,83	390	6719,1	-2839,943	2212,55	-9450,282	9705,833	20	-2294	-16060,62
7118,73	220	14237,46	-1584,04	-14149,07	3563,87	3676,3	5120,16	400	5543,7	-6796,562	1333,13	-10864,49	10945,97	30	-2877,45	-14932,41
6991,05	230	13982,1	-1917,44	-13850	3262,67	2446,2	4077,88	410	4607,9	-8957,529	837,783	-11324,84	11355,79	40	-2932,34	-13692,15
6805,75	240	13611,5	-2154,36	-13439,93	3151,04	1633,3	3549,18	420	4147,73	-10173,38	833,36	-11372,37	11402,87	50	-2481	-12571,36

6551,05	250	13102,11	-2212,15	-12914,01	3139,9	945,81	3279,26	430	4067,64	-11022,39	1208,71	-11389,91	11453,87	60	-1650,23	-11757,44
6248,97	260	12497,94	-2030,35	-12331,92	3099,02	264,41	3110,28	440	4167,68	-11803,1	1768,96	-11576,84	11711,21	70	-629,773	-11350,58
5949,46	270	11898,93	-1584,74	-11792,93	2921,3	-410,18	2949,95	450	4257,85	-12613,29	2320,97	-11982,81	12205,52	80	384,0875	-11352,34
5725,89	280	11451,77	-912,847	-11415,33	2561,78	-1008,8	2753,27	460	4210,72	-13433,01	2720,77	-12558,66	12850	90	1230,827	-11684,31
5649,18	290	11298,36	-128,034	-11297,63	2051,29	-1448,5	2511,16	470	3974,55	-14194,62	2887,76	-13205,35	13517,41	100	1800,979	-12216,08
5741,17	300	11482,34	588,1418	-11467,27	1486,26	-1682,6	2245,03	480	3560,66	-14832,51	2815,35	-13821,62	14105,44	110	2070,035	-12810,74
5935,6	310	11871,2	1021,234	-11827,19	998,401	-1741,4	2007,27	490	3018,04	-15309,92	2544,58	-14333,71	14557,82	120	2071,118	-13357,49
6076,39	320	12152,78	990,4576	-12112,36	708,159	-1756,5	1893,92	500	2406,78	-15625,43	2139,53	-14707,78	14862,58	130	1872,293	-13790,12
5672,7	330	11345,4	30,77274	-11345,36	804,838	-2056	2207,92	510	1640,45	-15457,37	1596,3	-14774,6	14860,59	140	1552,144	-14091,83
3820,01	340	7640,016	-1882,97	-7404,34	1428,02	-3868,1	4123,3	520	973,068	-15140,57	1072,68	-14706,68	14745,75	150	1172,288	-14272,79
1785,55	350	3571,103	-3028,04	1893,077	1752,41	-8519,3	8697,66	530	476,784	-15145,51	626,551	-14755,43	14768,73	160	776,3176	-14365,36
5750,47	360	11500,94	-5,6E-12	11500,94	3,4E-12	-13100	13100	540	1,2E-12	-14699,13	192,693	-14554,36	14555,64	170	385,3857	-14409,59
6179,96	370	12359,93	5169,28	11227,04	-2789	-12912	13210	550	-408,72	-14597,48	-204,36	-14512,4	14513,84	180	3,82E-13	-14427,32
4061,59	380	8123,173	7236,548	3690,3	-4025,26	-9102	9952,36	560	-813,98	-14513,74	-600,816	-14470,8	14483,27	190	-387,654	-14427,86
3647,31	390	7294,622	6719,095	-2839,943	-3974,84	-5790,2	7023,22	570	-1230,6	-14420,32	-1008	-14410,75	14445,96	200	-785,408	-14401,18
4385,37	400	8770,741	5543,702	-6796,562	-3587,95	-3719,5	5167,96	580	-1632,2	-14235,49	-1411,64	-14277,91	14347,52	210	-1191,07	-14320,33
5036,62	410	10073,24	4607,904	-8957,529	-3291,41	-2484,4	4123,76	590	-1974,9	-13926,24	-1779,47	-14037,65	14149,99	220	-1584,04	-14149,07
5493,21	420	10986,42	4147,725	-10173,38	-3170,44	-1652,5	3575,24	600	-2193,2	-13478,34	-2055,29	-13664,17	13817,88	230	-1917,44	-13850
5874,49	430	11748,99	4067,645	-11022,39	-3138,74	-944,97	3277,9	610	-2209,8	-12912,32	-2182,1	-13176,12	13355,59	240	-2154,36	-13439,93
6258,65	440	12517,3	4167,684	-11803,1	-3061,77	-245,6	3071,6	620	-1955,9	-12294,3	-2084,01	-12604,15	12775,28	250	-2212,15	-12914,01
6656,28	450	13312,56	4257,855	-12613,29	-2827,07	439,1	2860,97	630	-1396,3	-11735,09	-1713,32	-12033,5	12154,86	260	-2030,35	-12331,92
7038,75	460	14077,5	4210,721	-13433,01	-2383,21	1030,1	2596,31	640	-555,7	-11372,78	-1070,22	-11582,85	11632,19	270	-1584,74	-11792,93
7370,28	470	14740,57	3974,547	-14194,62	-1753,47	1427,7	2261,18	650	467,604	-11339,25	-222,622	-11377,29	11379,47	280	-912,847	-11415,33
7626,95	480	15253,9	3560,659	-14832,51	-1026,27	1556,9	1864,75	660	1508,13	-11718,61	690,047	-11508,12	11528,79	290	-128,034	-11297,63
7802,28	490	15604,56	3018,037	-15309,92	-327,346	1399,3	1437,05	670	2363,34	-12511,38	1475,74	-11989,32	12079,81	300	588,1418	-11467,27
7904,85	500	15809,7	2406,775	-15625,43	217,402	1003,6	1026,84	680	2841,58	-13618,32	1931,41	-12722,75	12868,52	310	1021,234	-11827,19
7772,09	510	15544,18	1640,449	-15457,37	586,729	302,51	660,125	690	2813,91	-14852,34	1902,18	-13482,35	13615,88	320	990,4576	-12112,36
7585,91	520	15171,81	973,0678	-15140,57	640,392	-418,42	764,969	700	2253,85	-15977,42	1142,31	-13661,39	13709,06	330	30,77274	-11345,36
7576,51	530	15153,01	476,7844	-15145,51	387,596	-809,3	897,332	710	1251,98	-16764,12	-315,499	-12084,23	12088,35	340	-1882,97	-7404,34

7349,57	540	14699,13	1,25E-12	-14699,13	7,8E-13	-1173,7	1173,69	720	2,8E-12	-17046,51	-1514,02	-7576,715	7726,505	350	-3028,04	1893,0765
7301,6	550	14603,2	-408,721	-14597,48	204,36	-1224,5	1241,45	0	0	-17046,51	-2,8E-12	-2772,782	2772,782	360	-5,6E-12	11500,944
7268,28	560	14536,55	-813,978	-14513,74	-224,144	-1147,6	1169,3	10	-1262,3	-16808,97	1953,51	-2790,969	3406,713	370	5169,28	11227,036
7236,37	570	14472,73	-1230,59	-14420,32	-531,704	-820,15	977,423	20	-2294	-16060,62	2471,27	-6185,161	6660,586	380	7236,548	3690,3004
7164,38	580	14328,76	-1632,2	-14235,49	-622,624	-348,46	713,501	30	-2877,4	-14932,41	1920,82	-8886,178	9091,409	390	6719,095	-2839,943
7032,79	590	14065,58	-1974,91	-13926,24	-478,714	117,05	492,815	40	-2932,3	-13692,15	1305,68	-10244,36	10327,23	400	5543,702	-6796,562
6827,8	600	13655,6	-2193,15	-13478,34	-143,926	453,49	475,779	50	-2481	-12571,36	1063,45	-10764,45	10816,85	410	4607,904	-8957,529
6550,02	610	13100,05	-2209,83	-12912,32	279,8	577,44	641,658	60	-1650,2	-11757,44	1248,75	-10965,41	11036,29	420	4147,725	-10173,38
6224,45	620	12448,9	-1955,86	-12294,3	663,042	471,86	813,803	70	-629,77	-11350,58	1718,94	-11186,48	11317,78	430	4067,645	-11022,39
5908,93	630	11817,87	-1396,28	-11735,09	890,185	191,38	910,524	80	384,087	-11352,34	2275,89	-11577,72	11799,29	440	4167,684	-11803,1
5693,18	640	11386,35	-555,701	-11372,78	893,264	-155,76	906,743	90	1230,83	-11684,31	2744,34	-12148,8	12454,91	450	4257,855	-12613,29
5674,44	650	11348,89	467,604	-11339,25	666,687	-438,42	797,923	100	1800,98	-12216,08	3005,85	-12824,55	13172,1	460	4210,721	-13433,01
5907,63	660	11815,26	1508,128	-11718,61	280,954	-546,06	614,1	110	2070,04	-12810,74	3022,29	-13502,68	13836,78	470	3974,547	-14194,62
6366,32	670	12732,64	2363,345	-12511,38	-146,113	-423,06	447,577	120	2071,12	-13357,49	2815,89	-14095	14373,53	480	3560,659	-14832,51
6955,81	680	13911,62	2841,58	-13618,32	-484,643	-85,904	492,198	130	1872,29	-13790,12	2445,16	-14550,02	14754,05	490	3018,037	-15309,92
7558,28	690	15116,55	2813,907	-14852,34	-630,882	380,26	736,618	140	1552,14	-14091,83	1979,46	-14858,63	14989,9	500	2406,775	-15625,43
8067,8	700	16135,6	2253,851	-15977,42	-540,782	852,31	1009,4	150	1172,29	-14272,79	1406,37	-14865,08	14931,46	510	1640,449	-15457,37
8405,4	710	16810,8	1251,976	-16764,12	-237,829	1199,4	1222,73	160	776,318	-14365,36	874,693	-14752,97	14778,87	520	973,0678	-15140,57
8523,25	720	17046,51	2,81E-12	-17046,51	192,693	1318,5	1332,46	170	385,386	-14409,59	431,085	-14777,55	14783,84	530	476,7844	-15145,51

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	14563,22	14563,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14563,2
Рк.ш 10	14518,13	14518,13	14518,1	0	0	0	0	0	0	0	0	14518,1
Рк.ш 20	14479,56	14479,56	14479,6	0	0	0	0	0	0	0	0	14479,6
Рк.ш 30	14421,24	14421,24	14421,2	0	0	0	0	0	0	0	0	14421,2
Рк.ш 40	14283,1	14283,1	14283,1	0	0	0	0	0	0	0	0	14283,1
Рк.ш 50	14023,82	14023,82	14023,8	0	0	0	0	0	0	0	0	14023,8
Рк.ш 60	13633,54	13633,54	13633,5	0	0	0	0	0	0	0	0	13633,5
Рк.ш 70	13101,08	13101,08	13101,1	0	0	0	0	0	0	0	0	13101,1
Рк.ш 80	12473,37	12473,37	0	0	0	0	0	0	0	0	12473,4	12473,4
Рк.ш 90	11858,06	11858,06	0	0	0	0	0	0	0	0	11858,1	11858,1
Рк.ш 100	11417,69	11417,69	0	0	0	0	0	0	0	0	11417,7	11417,7
Рк.ш 110	11319,72	11319,72	0	0	0	0	0	0	0	0	11319,7	11319,7
Рк.ш 120	11640,23	11640,23	0	0	0	0	0	0	0	0	11640,2	11640,2
Рк.ш 130	12286,39	12286,39	0	0	0	0	0	0	0	0	12286,4	12286,4
Рк.ш 140	13007,23	13007,23	0	0	0	0	0	0	0	0	13007,2	13007,2
Рк.ш 150	13175,85	13175,85	0	0	0	0	0	0	0	0	13175,8	13175,8
Рк.ш 160	11692,35	11692,35	0	0	0	0	0	0	0	0	11692,3	11692,3
Рк.ш 170	7488,363	7488,363	0	0	0	0	0	0	0	0	7488,36	7488,36
Рк.ш 180	2772,782	2772,782	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2772,78
Рк.ш 190	3891,905	3891,905	3891,9	0	0	0	0	0	0	0	0	3891,9
Рк.ш 200	7207,49	7207,49	7207,49	0	0	0	0	0	0	0	0	7207,49
Рк.ш 210	9705,833	9705,833	9705,83	0	0	0	0	0	0	0	0	9705,83
Рк.ш 220	10945,97	10945,97	10946	0	0	0	0	0	0	0	0	10946
Рк.ш 230	11355,79	11355,79	11355,8	0	0	0	0	0	0	0	0	11355,8
Рк.ш 240	11402,87	11402,87	11402,9	0	0	0	0	0	0	0	0	11402,9
Рк.ш 250	11453,87	11453,87	11453,9	0	0	0	0	0	0	0	0	11453,9
Рк.ш 260	11711,21	11711,21	11711,2	0	0	0	0	0	0	0	0	11711,2
Рк.ш 270	12205,52	12205,52	12205,5	0	0	0	0	0	0	0	0	12205,5
Рк.ш 280	12850	12850	12850	0	0	0	0	0	0	0	0	12850
Рк.ш 290	13517,41	13517,41	13517,4	0	0	0	0	0	0	0	0	13517,4
Рк.ш 300	14105,44	14105,44	0	0	0	0	0	0	0	0	14105,4	14105,4
Рк.ш 310	14557,82	14557,82	0	0	0	0	0	0	0	0	14557,8	14557,8
Рк.ш 320	14862,58	14862,58	0	0	0	0	0	0	0	0	14862,6	14862,6
Рк.ш 330	14860,59	14860,59	0	0	0	0	0	0	0	0	14860,6	14860,6
Рк.ш 340	0	14745,75	14745,8	14745,7515 7	14745,7515 7	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 350	14768,73	14768,73	0	0	0	0	0	0	0	0	14768,7	14768,7
Рк.ш 360	14555,64	14555,64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14555,6
Рк.ш 370	14513,84	14513,84	14513,8	0	0	0	0	0	0	0	0	14513,8
Рк.ш 380	14483,27	14483,27	14483,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 390	14445,96	14445,96	14446	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 400	0	14347,52	14347,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14150	14150
Рк.ш 420	13817,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13817,9	13817,9
Рк.ш 430	13355,59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13355,6	13355,6
Рк.ш 440	12775,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12775,3	12775,3
Рк.ш 450	12154,86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12154,9	12154,9
Рк.ш 460	11632,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11632,2	11632,2
Рк.ш 470	11379,47	11379,47	0	0	0	0	0	0	0	0	11379,5	11379,5
Рк.ш 480	11528,79	11528,79	0	0	0	0	0	0	0	0	11528,8	11528,8
Рк.ш 490	12079,81	12079,81	0	0	0	0	0	0	0	0	12079,8	12079,8
Рк.ш 500	12868,52	12868,52	0	0	0	0	0	0	0	0	12868,5	12868,5
Рк.ш 510	13615,88	13615,88	0	0	0	0	0	0	0	0	13615,9	13615,9
Рк.ш 520	13709,06	13709,06	0	0	0	0	0	0	0	0	13709,1	13709,1
Рк.ш 530	12088,35	12088,35	0	0	0	0	0	0	0	0	12088,3	12088,3
Рк.ш 540	7726,505	7726,505	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7726,5
Рк.ш 550	2772,782	2772,782	2772,78	0	0	0	0	0	0	0	0	2772,78
Рк.ш 560	3406,713	3406,713	3406,71	0	0	0	0	0	0	0	0	3406,71

Рк.ш 570	6660,586	6660,586	6660,59	0	0	0	0	0	0	0	0	6660,59
Рк.ш 580	9091,409	9091,409	9091,41	0	0	0	0	0	0	0	0	9091,41
Рк.ш 590	10327,23	10327,23	10327,2	0	0	0	0	0	0	0	0	10327,2
Рк.ш 600	10816,85	10816,85	10816,8	0	0	0	0	0	0	0	0	10816,8
Рк.ш 610	11036,29	11036,29	11036,3	0	0	0	0	0	0	0	0	11036,3
Рк.ш 620	11317,78	11317,78	11317,8	0	0	0	0	0	0	0	0	11317,8
Рк.ш 630	11799,29	11799,29	11799,3	0	0	0	0	0	0	0	0	11799,3
Рк.ш 640	12454,91	12454,91	12454,9	0	0	0	0	0	0	0	0	12454,9
Рк.ш 650	13172,1	13172,1	0	0	0	0	0	0	0	0	13172,1	13172,1
Рк.ш 660	13836,78	13836,78	0	0	0	0	0	0	0	0	13836,8	13836,8
Рк.ш 670	14373,53	14373,53	0	0	0	0	0	0	0	0	14373,5	14373,5
Рк.ш 680	14754,05	14754,05	0	0	0	0	0	0	0	0	14754	14754
Рк.ш 690	14989,9	14989,9	0	0	0	0	0	0	0	0	14989,9	14989,9
Рк.ш 700	14931,46	14931,46	0	0	0	0	0	0	0	0	14931,5	14931,5
Рк.ш 710	14778,87	14778,87	0	0	0	0	0	0	0	0	14778,9	14778,9
ΣРк.ш i	14783,84	14783,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14783,8

Таблица Г5 - Суммарные силы действующие на 1-ю коренную шейку

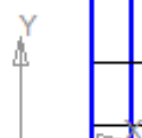
Рк.ш i	Значения Рк.ш i, Н, для лучей											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рк.ш 0	8523,253545	8523,253545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8523,253545
Рк.ш 10	8428,1509	8428,1509	8428,1509	0	0	0	0	0	0	0	0	8428,1509
Рк.ш 20	8111,812736	8111,812736	8111,812736	0	0	0	0	0	0	0	0	8111,812736
Рк.ш 30	7603,562561	7603,562561	7603,562561	0	0	0	0	0	0	0	0	7603,562561
Рк.ш 40	7001,314455	7001,314455	7001,314455	0	0	0	0	0	0	0	0	7001,314455
Рк.ш 50	6406,921715	6406,921715	6406,921715	0	0	0	0	0	0	0	0	6406,921715
Рк.ш 60	5936,34152	5936,34152	5936,34152	0	0	0	0	0	0	0	0	5936,34152
Рк.ш 70	5684,018755	5684,018755	5684,018755	0	0	0	0	0	0	0	0	5684,018755
Рк.ш 80	5679,417055	5679,417055	0	0	0	0	0	0	0	0	5679,417055	5679,417055
Рк.ш 90	5874,480945	5874,480945	0	0	0	0	0	0	0	0	5874,480945	5874,480945
Рк.ш 100	6174,062444	6174,062444	0	0	0	0	0	0	0	0	6174,062444	6174,062444
Рк.ш 110	6488,452366	6488,452366	0	0	0	0	0	0	0	0	6488,452366	6488,452366
Рк.ш 120	6758,553868	6758,553868	0	0	0	0	0	0	0	0	6758,553868	6758,553868
Рк.ш 130	6958,321696	6958,321696	0	0	0	0	0	0	0	0	6958,321696	6958,321696
Рк.ш 140	7088,528122	7088,528122	0	0	0	0	0	0	0	0	7088,528122	7088,528122
Рк.ш 150	7160,427728	7160,427728	0	0	0	0	0	0	0	0	7160,427728	7160,427728
Рк.ш 160	7193,158895	7193,158895	0	0	0	0	0	0	0	0	7193,158895	7193,158895
Рк.ш 170	7207,373068	7207,373068	0	0	0	0	0	0	0	0	7207,373068	7207,373068
Рк.ш 180	7213,65821	7213,65821	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7213,65821
Рк.ш 190	7216,533965	7216,533965	7216,533965	0	0	0	0	0	0	0	0	7216,533965
Рк.ш 200	7211,288413	7211,288413	7211,288413	0	0	0	0	0	0	0	0	7211,288413
Рк.ш 210	7184,886393	7184,886393	7184,886393	0	0	0	0	0	0	0	0	7184,886393
Рк.ш 220	7118,729756	7118,729756	7118,729756	0	0	0	0	0	0	0	0	7118,729756
Рк.ш 230	6991,050824	6991,050824	6991,050824	0	0	0	0	0	0	0	0	6991,050824
Рк.ш 240	6805,750985	6805,750985	6805,750985	0	0	0	0	0	0	0	0	6805,750985
Рк.ш 250	6551,05302	6551,05302	6551,05302	0	0	0	0	0	0	0	0	6551,05302
Рк.ш 260	6248,969553	6248,969553	6248,969553	0	0	0	0	0	0	0	0	6248,969553
Рк.ш 270	5949,463866	5949,463866	5949,463866	0	0	0	0	0	0	0	0	5949,463866
Рк.ш 280	5725,886754	5725,886754	5725,886754	0	0	0	0	0	0	0	0	5725,886754
Рк.ш 290	5649,179966	5649,179966	5649,179966	0	0	0	0	0	0	0	0	5649,179966
Рк.ш 300	5741,169058	5741,169058	0	0	0	0	0	0	0	0	5741,169058	5741,169058
Рк.ш 310	5935,600033	5935,600033	0	0	0	0	0	0	0	0	5935,600033	5935,600033
Рк.ш 320	6076,392122	6076,392122	0	0	0	0	0	0	0	0	6076,392122	6076,392122
Рк.ш 330	5672,698898	5672,698898	0	0	0	0	0	0	0	0	5672,698898	5672,698898
Рк.ш 340	0	3820,00781	3820,00781	3820,00781	3820,00781	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 350	1785,551272	1785,551272	0	0	0	0	0	0	0	0	1785,551272	1785,551272
Рк.ш 360	5750,471902	5750,471902	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5750,471902
Рк.ш 370	6179,963697	6179,963697	6179,963697	0	0	0	0	0	0	0	0	6179,963697
Рк.ш 380	4061,586513	4061,586513	4061,586513	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 390	3647,311155	3647,311155	3647,311155	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 400	0	4385,370265	4385,370265	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Рк.ш 410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5036,618611	5036,618611

Рк.ш 420	5493,208355	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5493,208355	5493,208355
Рк.ш 430	5874,49476	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5874,49476	5874,49476
Рк.ш 440	6258,650037	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6258,650037	6258,650037
Рк.ш 450	6656,282462	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6656,282462	6656,282462
Рк.ш 460	7038,749919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7038,749919	7038,749919
Рк.ш 470	7370,282832	7370,282832	0	0	0	0	0	0	0	0	7370,282832	7370,282832
Рк.ш 480	7626,950832	7626,950832	0	0	0	0	0	0	0	0	7626,950832	7626,950832
Рк.ш 490	7802,277829	7802,277829	0	0	0	0	0	0	0	0	7802,277829	7802,277829
Рк.ш 500	7904,851044	7904,851044	0	0	0	0	0	0	0	0	7904,851044	7904,851044
Рк.ш 510	7772,087825	7772,087825	0	0	0	0	0	0	0	0	7772,087825	7772,087825
Рк.ш 520	7585,905404	7585,905404	0	0	0	0	0	0	0	0	7585,905404	7585,905404
Рк.ш 530	7576,505942	7576,505942	0	0	0	0	0	0	0	0	7576,505942	7576,505942
Рк.ш 540	7349,565523	7349,565523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7349,565523
Рк.ш 550	7301,601639	7301,601639	7301,601639	0	0	0	0	0	0	0	0	7301,601639
Рк.ш 560	7268,27537	7268,27537	7268,27537	0	0	0	0	0	0	0	0	7268,27537
Рк.ш 570	7236,366732	7236,366732	7236,366732	0	0	0	0	0	0	0	0	7236,366732
Рк.ш 580	7164,380205	7164,380205	7164,380205	0	0	0	0	0	0	0	0	7164,380205
Рк.ш 590	7032,789563	7032,789563	7032,789563	0	0	0	0	0	0	0	0	7032,789563
Рк.ш 600	6827,802225	6827,802225	6827,802225	0	0	0	0	0	0	0	0	6827,802225
Рк.ш 610	6550,024857	6550,024857	6550,024857	0	0	0	0	0	0	0	0	6550,024857
Рк.ш 620	6224,449649	6224,449649	6224,449649	0	0	0	0	0	0	0	0	6224,449649
Рк.ш 630	5908,932932	5908,932932	5908,932932	0	0	0	0	0	0	0	0	5908,932932
Рк.ш 640	5693,176102	5693,176102	5693,176102	0	0	0	0	0	0	0	0	5693,176102
Рк.ш 650	5674,443508	5674,443508	0	0	0	0	0	0	0	0	5674,443508	5674,443508
Рк.ш 660	5907,629957	5907,629957	0	0	0	0	0	0	0	0	5907,629957	5907,629957
Рк.ш 670	6366,319542	6366,319542	0	0	0	0	0	0	0	0	6366,319542	6366,319542
Рк.ш 680	6955,808636	6955,808636	0	0	0	0	0	0	0	0	6955,808636	6955,808636
Рк.ш 690	7558,276986	7558,276986	0	0	0	0	0	0	0	0	7558,276986	7558,276986
Рк.ш 700	8067,801363	8067,801363	0	0	0	0	0	0	0	0	8067,801363	8067,801363
Рк.ш 710	8405,401989	8405,401989	0	0	0	0	0	0	0	0	8405,401989	8405,401989
ΣРк.ш i	8523,253545	8523,253545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8523,253545

Приложение Д – Спецификация сборочного чертежа

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
				<u>Документация</u>			
A4			16.БР.ЭМСЧ.008.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	87		
A1			16.БР.ЭМСЧ.008.00.000.СБ	Сборочный чертеж	2		
				<u>Сборочные единицы</u>			
	1		16.БР.ЭМСЧ.008.01.000.СБ	Блок цилиндров	1		
	2		16.БР.ЭМСЧ.008.02.000.СБ	Вал коленчатый	1		
	3		16.БР.ЭМСЧ.008.03.000.СБ	Головка цилиндров	1		
	4		16.БР.ЭМСЧ.008.04.000.СБ	Демпфер крутильных колебаний	1		
	5		16.БР.ЭМСЧ.008.05.000.СБ	Картер масляный	1		
	6		16.БР.ЭМСЧ.008.06.000.СБ	Коллектор выпускной	2		
	7		16.БР.ЭМСЧ.008.07.000.СБ	Колпачок маслоотражательный	16		
	8		16.БР.ЭМСЧ.008.08.000.СБ	Кольца маслоъемное	8		
	9		16.БР.ЭМСЧ.008.09.000.СБ	Маховик	1		
	10		16.БР.ЭМСЧ.008.10.000.СБ	Насос водяной	1		
	11		16.БР.ЭМСЧ.008.11.000.СБ	Насос масляный	1		
	12		16.БР.ЭМСЧ.008.2.000.СБ	Натяжитель ремня			
				автоматический	1		
	13		16.БР.ЭМСЧ.008.13.000.СБ	Приемник масляного насоса	1		
	14		16.БР.ЭМСЧ.008.14.000.СБ	Прокладка головки блока	1		
				16.БР.ЭМСЧ.008.00.000.СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Двигатель модернизированный ТГУ, ЭМСДз-1131		
Разраб.		Сафьянов М.О.					
Проб.		Смоленский					
Н.контр.		Смоленский					
Утв.		Павлов Ш.А.			Литера	Лист	Листов
						1	3

[illegible]



Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		31	16.БР.ЭМСЧ.008.00.031	Кольцо компрессионное верхнее	8	
		32	16.БР.ЭМСЧ.008.00.032	Кольцо компрессионное нижнее	8	
		33	16.БР.ЭМСЧ.008.00.033	Кольцо стопорное	16	
		34	16.БР.ЭМСЧ.008.00.034	Крышка головки цилиндров	2	
		35	16.БР.ЭМСЧ.008.00.035	Крышка защитная задняя	1	
		36	16.БР.ЭМСЧ.008.00.036	Крышка защитная передняя	1	
		37	16.БР.ЭМСЧ.008.00.037	Муфта опоры ресивера	4	
		38	16.БР.ЭМСЧ.008.00.038	Палец поршневой	8	
		39	16.БР.ЭМСЧ.008.00.039	Полукольцо упорного		
				подшипника	1	
		40	16.БР.ЭМСЧ.008.00.040	Полукольцо упорного		
				подшипника	1	
		41	16.БР.ЭМСЧ.008.00.041	Поршень	8	
		42	16.БР.ЭМСЧ.008.00.042	Пружина клапана	32	
		43	16.БР.ЭМСЧ.008.00.043	Ремень зубчатый	1	
		44	16.БР.ЭМСЧ.008.00.044	Сухарь клапана	64	
		45	16.БР.ЭМСЧ.008.00.045	Тарелка пружины	32	
		46	16.БР.ЭМСЧ.008.00.046	Труба впускная	1	
		47	16.БР.ЭМСЧ.008.00.047	Шкив зубчатый впускного		
				распределительного вала	2	
		48	16.БР.ЭМСЧ.008.00.048	Шкив зубчатый водяного		
				насоса	1	
		49	16.БР.ЭМСЧ.008.00.049	Шкив зубчатый коленчатого		
				вала	1	
		50	16.БР.ЭМСЧ.008.00.050	Штуцер крепления фильтра	1	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16.БР.ЭМСЧ.008.00.000	
					Лист	
					3	