

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Двигатель 1,6 л 16 кл. с пьезофорсунками для непосредственного впрыска

Студент

Ю.А. Головченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.Н. Брега

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)
Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭМиСУ

_____ Д.А. Павлов
(подпись) (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 2017г

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Головченко Юлия Александровна

1. Тема Двигатель 1,6 л 16 кл. с пьезофорсунками для непосредственного впрыска

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 16-22 июня 2017 года,

3. Исходные данные к бакалаврской работе Двигатель на базе ВАЗ, 1,6 л., 16 кл.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов) Тепловой расчет двигателя, Расчет кинематики и динамики двигателя, Расчет поршневой группы, Описание конструкции спроектированной двигателя, Безопасность и экологичность проекта

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала _____
Продольный и поперечный разрез двигателя, Лист диаграмм теплового расчета
Лист диаграмм ВСХ, Лист диаграмм кинематического и динамического расчета
Лист спец части

6. Консультанты по разделам – д.т.н., профессор Егоров А.Г.
к.т.н., профессор Фесина М.И.

7. Дата выдачи задания « _____ » _____ 201__ г.

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

Задание принял к исполнению _____ Ю.А. Головченко
(подпись) (И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)
Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭМСУ

_____ Д.А. Павлов
(подпись) (И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 2017г

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения бакалаврской работы**

Студента Головченко Юлии Александровны
по теме Двигатель 1,6 л 16 кл. с пьезофорсунками для непосредственного впрыска

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Тепловой расчет двигателя	5 мая 2017 г.			
Расчет кинематики двигателя	11 мая 2017 г.			
Расчет динамики двигателя	15 мая 2017 г.			
Описание конструкции спроектированного ДВС	20 мая 2017 г.			
Безопасность и экологичность	30 мая 2017 г.			
Предварительная защита и корректировка ВКР	30-13 июня 2017			
Защита перед ГИК	26-29 июня 2017			

Руководитель бакалаврской работы

_____ (подпись)

В.В. Смоленский

_____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

_____ (подпись)

Ю.А. Головченко

_____ (И.О. Фамилия)

_____ (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Для повышения эффективности процесса сгорания современных двигателей применяются различные системы, в настоящее время большое распространение получила система непосредственного впрыска топлива.

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, представлены результаты расчета двигателя ВАЗ, представленные индикаторной диаграммой в $p-V$ и $p-\phi$ координатах, ВСХ двигателя и тепловым балансом.

- Кинематический расчет, где получены характеристики хода поршня, скорость поршня и ускорение поршня.

- Динамический расчет, где определены: силы инерции, действующие в кривошипно-шатунном, суммарные силы, нагрузки на шатунную шейку, получена диаграмма износа шатунной и 3-ей коренной шейки (которая является максимально нагруженной).

- Специальная часть содержит общую схему впрыска типа Motronik. Данная система относится к числу наиболее современных и совершенных систем впрыска. Также представлен расчет и описание конструкции пьезофорсунки для питания двигателя при непосредственном впрыске топлива. представлен общий вид пьезофорсунки.

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

Проведенные исследования, по внедрению системы непосредственного впрыска показали ряд преимуществ и недостатков, которые описаны в заключении.

To improve the efficiency of the combustion process of modern engines, various systems are used, now the system of direct injection of fuel is widely used.

The purpose of this work is to assess the possibilities and efficiency of using as a nozzle for direct injection of piezo injectors.

Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part.

The explanatory memorandum includes:

- Thermal calculation under the selected conditions, the results of the calculation of the VAZ engine represented by the indicator diagram in $p-V$ and $p-\phi$ coordinates, engine ECC and thermal balance are presented.

- Kinematic calculation, where the characteristics of the stroke of the piston, the piston speed and the acceleration of the piston are obtained.

- Dynamic calculation, where it is determined: inertia forces acting in the crank-shaft crank, total forces, loads on the crankpin, a wear diagram of the connecting rod and the 3rd crank neck (which is the most loaded) is obtained.

The special part contains the general injection scheme of the Motronik type. This system is one of the most modern and perfect injection systems. Also, calculation and description of the design of the pie-nozzle for powering the engine with direct fuel injection is presented. A general view of the piezo-nozzle is presented.

The graphical part of the project shows longitudinal and transverse sections of the engine, as well as graphs of kinematic and dynamic calculations, the diagram of the BCA, and a special part.

The conducted studies, on the introduction of the direct injection system, showed a number of advantages and disadvantages, which are described in the conclusion.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Тепловой расчет двигателя с непосредственным впрыском топлива.....	7
1.1 Тепловой расчет двигателя.....	7
1.2 Тепловой баланс двигателя.....	19
2 Расчет кинематики и динамики.....	21
2.1 Кинематика.....	21
2.2 Динамика	21
3 Обзор иностранных источников	28
4 Обзор состояния вопроса и описание модернизированного двигателя с непосредственным впрыском топлива через пьезофорсунку	36
4.1 Общее описание конструкции и устройства пьезофорсунки	36
4.2 Описание конструкции спроектированной пьезофорсунки	38
4.3 Расчет пьезофорсунки.....	40
5 Безопасность и экологичность проекта.....	42
5.1 Оценка влияния непосредственного впрыска топлива в цилиндр на концентрацию токсичных компонентов в отработавших газах	42
5.2 Система питания с пьезофорсункой и её влияние на показатели работы ДВС.....	43
5.5 Выводы по главе	43
Заключение.....	45
Список использованных источников.....	46
Приложение А - Результаты теплового расчета.....	48
Приложение Б - Результаты кинематического расчета.....	67
Приложение В - Результаты динамического расчета.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного автомобилестроения идет по пути повышения эффективности процесса сгорания при снижении токсичности отработавших газов, одним из путей которые всегда манили инженеров, это возможность применения качественного регулирования нагрузкой в двигателях с искровым зажиганием, но при гомогенном смесеобразовании эффективный процесс сгорания возможно осуществить лишь в узком диапазоне составов смеси, что очень ограничивало возможности бензиновых двигателей по сравнению с дизельными, и приходилось регулировать мощность количественно, создавая на впуске дополнительное сопротивление дроссельной заслонкой, что приводило к потере мощности за счет возросших насосных потерь и понижением эффективности процесса сгорания из-за значительного разбавления рабочей смеси остаточными газами.

Развитие микропроцессорной электроники позволило в 90-х годах прошлого века осуществить заветную мечту, и реализовать в бензиновом двигателе непосредственный впрыск топлива в цилиндр обеспечивая возможность качественного регулирования мощностных характеристик двигателя. И хотя эта технология известна давно, ещё в 30-х годах она успешно применялась в авиационных поршневых двигателях но для обеспечения её эффективного применения нужно было создать быстро реагирующие исполнительные устройства, для подачи топлива. И в настоящее время развитие данного направления продолжается, так одно из современных перспективных решений это применение пьезофорсунки для более быстрой и качественной подачи топлива. По этому адаптация двигателя ВАЗ для установки на нем системы непосредственного впрыска с пьезофорсункой, является актуальной задачей бакалаврской работы.

1 Тепловой расчет двигателя с непосредственным впрыском топлива

1.1 Тепловой расчет двигателя

Расчет четырехтактного двигателя внутреннего сгорания с системой непосредственного впрыска на базе двигателя ВАЗ с рабочим объемом 1,6 л. Степень сжатия $\varepsilon = 11,5$.

В соответствии с заданной степенью сжатия $\varepsilon = 11,5$ у проектируемого двигателя и 10,5 у базового используется бензин марки АИ-95 [1].

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

Низшая теплота сгорания топлива [1]

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

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива

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

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \frac{8}{3} C + 8H - O = \quad (1.3)$$
$$= \frac{1}{0,23} \cdot \frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 = 14,957 \text{ кг возд кг топл.}$$

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

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]:

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

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

Таблица 1.1 – Рабочее тело

Кэф-фи-циент избытка воздуха	Количество горючей смеси КМОЛЬ ГОР. СМ. КГ ТОПЛ.	M_{CO_2} , кмоль CO_2 КГ ТОПЛ.	M_{H_2O} , кмоль H_2O КГ ТОПЛ.	M_{N_2} , кмоль N_2 КГ ТОПЛ.	M_{O_2} , кмоль O_2 КГ ТОПЛ.	Количество продуктов сгорания кмоль прод. сг. КГ ТОПЛ.	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель с пьезофорсункой							
1,2	0,6289	0,0712	0,0725	0,4912	0,0215	0,6564	900
1,1	0,5772	0,0712	0,0725	0,4503	0,0108	0,6048	2000
1,05	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	3500
1,05	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	5000
1,05	0,5514	0,0712	0,0725	0,4298	0,0054	0,5789	5600
Двигатель ВАЗ							
1	0,5247	0,0713	0,0725	0,4087	0	0,5524	900
1	0,5247	0,0713	0,0725	0,4087	0	0,5524	2600
1	0,5247	0,0713	0,0725	0,4087	0	0,5524	3700

1	0,5247	0,0713	0,0725	0,4087	0	0,5524	5000
1	0,5247	0,0713	0,0725	0,4087	0	0,5524	5600

Давление и температура окружающей среды

$$p_0 = 0,101 \text{ МПа и } T_0 = 293 \text{ К.}$$

Температура остаточных газов на номинальном режиме $T_r = 1040 \text{ К}$, тогда давление остаточных газов p_r , на номинальном скоростном режиме можно принять $p_{rN} = 0,11 \text{ МПа}$. А на остальных режимах проведем расчет по ниже приведенным формулам [1]:

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

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

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

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

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:

$$\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k); \text{ кг/м}^3.$$

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \beta^2 + \xi_{ВП} \overline{A_n^2} n^2 \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа.} \quad (1.14)$$

Давление в конце впуска:

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

Коэффициент остаточных газов:

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

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

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r); \text{ К.} \quad (1.17)$$

Коэффициент наполнения:

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

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

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

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Расчет процесса впуска

Объем рабочего тела, м ³	ΔT , °C	p_a , Мпа	p_r , Мпа	$\varphi_{оч}$	$\varphi_{доз}$	γ_r	T_a , К	η_v	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель с пьезофорсункой									
1,0209	24,6875	0,006783	0,093217	0,99	0,9	0,036197	347,1114	0,755371	900
1,04618	21,25	0,010275	0,089725	0,94	0,96	0,033024	341,6072	0,790464	2000
1,058665	16,5625	0,013004	0,086996	0,88	1,02	0,029779	335,1675	0,832584	3500
1,114729	11,875	0,0176995	0,0823	0,84	0,97	0,032173	333,8676	0,750205	5000
1,133133	10	0,019425	0,080575	0,8	0,95	0,031019	332,9951	0,722023	5600
Двигатель ВАЗ									
1,000492	19,75	0,005779	0,094221	1	0,85	0,043126	344,4703	0,721787	900
1,033941	15,5	0,010275	0,089725	0,94	0,93	0,036289	338,3532	0,770691	2600
1,067569	12,75	0,013588	0,086412	0,98	1	0,033797	336,4559	0,804532	3700
1,079382	9,5	0,016054	0,083946	0,81	0,95	0,029931	330,4714	0,758778	5000
1,122965	8	0,019425	0,080575	0,77	0,94	0,029751	330,0071	0,721778	5600

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Значение показателя политропы сжатия :

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

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 ,

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

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

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:

Угол опережения зажигания °ПКВ	Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси	Показатель политропы сжатия	P_c , МПа	T_c , К	Частота вращения, мин ⁻¹	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
Двигатель с пьезофорсункой								
12	1,050601	1,3702	2,337381	828,9211	900	0,11026	1,967552	791,23
14	1,03894	1,374725	2,273893	824,503	2000	0,117763	1,80708	774,445
16	1,039063	1,37283	2,194925	805,3634	3500	0,124724	1,639063	743,95
19	1,038972	1,37496	2,086875	806,2679	5000	0,141498	1,405866	723,92
24	1,050855	1,37538	2,045133	804,9556	5600	0,164719	1,143217	686,809
Двигатель ВАЗ								
15	1,060488	1,37058	2,364652	823,3493	900	0,115161	1,823871	767,52
20	1,050596	1,372	2,259369	811,433	2600	0,134725	1,469604	722,15
23	1,050718	1,3728	2,180028	808,4022	3700	0,150917	1,267603	697,78
26	1,050909	1,37378	2,122703	795,8551	5000	0,166039	1,098591	665,27
28	1,050917	1,3753	2,044748	797,5824	5600	0,182916	0,977444	652,08

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_u - 119950(\alpha - 1)}{H_u}, \quad (1.26)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

где

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

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;

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

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.

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

Температура газов в процессе сгорания:

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

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:

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

Таблица 1.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

Степень использования теплоты	δ	Ψ	Частота вращения, мин ⁻¹	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	φ_z , град, пкв.	Показатель сгорания
Двигатель с пьезофорсункой							
0,91	1	0,91	900	2311,506	47,544497	34	2
0,9	1	0,9	2000	2291,177	45,990604	38	2.2
0,93	1	0,93	3500	2375,011	47,11143	42	2.4
0,95	1	0,95	5000	2420,459	45,59819	50	2.6
0,99	1	0,99	5600	2643,545	48,99202	54	2.8
Двигатель ВАЗ							
0,81	1	0,81	900	2095,696	43,98798	40	3.1
0,86	1	0,86	2600	2284,733	46,40438	48	3.2
0,96	1	0,96	3700	2556,549	50,28953	55	3.3
0,97	1	0,97	5000	2592,875	50,44589	58	3.4
0,94	1	0,94	5600	2646,799	49,49647	62	3.5

Степень последующего расширения при V_z

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

Средний показатель политропы расширения:

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

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:

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

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

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

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

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

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100(T_r - T'_r)}{T_r} \% \quad (1.52)$$

Таблица 1.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

Степень последующего расширения	$V_z, \text{ м}^3$	$T_z, \text{ К}$	$P_z, \text{ МПа}$	Частота вращения, мин^{-1}	n_2	$P_b, \text{ МПа}$	$T_b, \text{ К}$	$T_r, \text{ К}$	$\Delta, \%$
Двигатель с пьезофорсункой									
8,48804	0,120284	3019,243	7,230007	900	1,177	0,58329	2067,555	1163,224	0,2779
7,27169	0,143871	2907,209	5,768566	2000	1,1796	0,55548	2035,725	1169,602	-0,034
6,50078	0,162852	2889,058	5,06501	3500	1,1795	0,55682	2064,706	1199,442	0,3717
5,63196	0,197929	2831,083	4,08341	5000	1,1804	0,53085	2072,834	1245,126	0,8199
5,79622	0,195495	3009,4	4,435073	5600	1,17476	0,56284	2213,654	1315,048	1,157
Двигатель ВАЗ									
6,688	0,1494	2639,83	5,121	900	1,188	0,5354	1846,58	1086,178	0,572
6,139	0,1684	2756,27	4,714	2600	1,1835	0,5504	1975,7	1162,08	0,093
5,474	0,1951	2913,76	4,303	3700	1,1775	0,5815	2155,05	1244,545	-0,036
5,474	0,1972	2929,05	4,279	5000	1,1767	0,5789	2168,77	1265,439	0,0347
5,474	0,2052	2976,31	4,179	5600	1,175	0,5669	2209,79	1309,556	0,349

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

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

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

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

Двигатель ВАЗ					
1,0012	900	1,1060343	12,442886	0,4289854	191,03093
1,09	2600	1,1651984	37,868947	0,4405874	186,00051
1,1957	3700	1,2379594	57,255621	0,4484105	182,75552
1,224	5000	1,2533459	78,334121	0,4813589	170,24613
1,2406	5600	1,2210353	85,47247	0,4929888	166,22992

Предварительно задаемся ходом поршня $S = 75,6$ мм. Вычислим среднюю скорость поршня

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

Среднее давление механических потерь

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

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

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

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

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

Литраж двигателя $V_H = 1,6$ л, задан по условию.

Рабочий объем одного цилиндра

$$V_h = \frac{V_H}{i} = \frac{1,6}{4} = 0,4 \text{ л.} \quad (1.63)$$

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

$$D = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,4}{3,14 \cdot 0,988}} = 82 \text{ мм.} \quad (1.64)$$

Окончательно принимаем $D = 82$ мм и $S = 75,6$ мм.

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

Площадь поршня

$$F_n = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 82^2}{4} = 59,96 \text{ см}^2. \quad (1.65)$$

Мощность двигателя

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{1,091 \cdot 1,6 \cdot 5600}{30 \cdot 4} = 91,8 \text{ кВт.} \quad (1.66)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3,14} \cdot \frac{91,8}{5600} = 108,8 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (1.67)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e \cdot 10^{-3} = 91,8 \cdot 227 \cdot 10^{-3} = 20,73 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}. \quad (1.68)$$

Таблица 1.7 - Эффективные показатели двигателя

$V_{п.ср},$ м/с	$p_m,$ Мпа	$p_e,$ Мпа	η_m	η_e	$g_e,$ г/(кВт.ч)	$N_e,$ кВт	$M_e,$ Н.м	$G_T,$ кг/ч	Частота враще- ния, мин ⁻¹
Двигатель с пьезофорсункой									
2,13	0,036	1,022	0,940988	0,3747	208	10,65	120,2	2,21	900
5,4	0,054	1,0183	0,919391	0,3985	204	49,31	117,3	9,84	2000
10	0,071	1,216	0,883067	0,3902	200	75,8	122,1	14,95	3500

16	0,104	1,091	0,794481	0,365	227	93,75	112,2	17,23	5000
13,25	0,115	1,216	0,757828	0,3638	238	91,8	108,8	18,92	5600
Двигатель ВАЗ									
2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	273,3719	11,68	123,99	3,377	900
6,4	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	267,3998	33,96	124,72	9,043	2600
10,3	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	258,8332	50,11	129,3	12,464	3700
16	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	261,652	66,13	126,29	15,336	5000
13,25	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	271,5434	70,49	120,19	17,208	5600

1.2 Тепловой баланс двигателя

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

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

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:

$$Q_b = \frac{c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot H_u - \Delta H_u}{\alpha \cdot H_u} = \quad (1.73)$$
$$= \frac{0,48 \cdot 4 \cdot 76,5^{1+2 \cdot 0,65} \cdot 43930 - 0}{1,05 \cdot 43930} = 56277 \frac{\text{Дж}}{\text{с}},$$

где c – коэффициент пропорциональности; m - показатель степени.

Теплота, потерянная с отработавшими газами:

$$Q_r = \frac{G_T}{3,6} \cdot M_2 \cdot mc''_v \frac{t_r}{t_0} + 8,315 \cdot t_r - M_1 \cdot mc_v \frac{20}{t_0} + 8,315 \cdot t_0 = \quad (1.74)$$
$$= \frac{17,23}{3,6} \cdot 0,579 \cdot 25,129 + 8,315 \cdot 754 - 0,551 \cdot 20,775 + 8,315 \cdot 20 = 68347 \frac{\text{Дж}}{\text{с}};$$

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

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

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

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

(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:

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

Таблица 1.10 – Составляющие теплового баланса

	Частота вращения двигателя, мин^{-1}							
	900		3500		5000		5600	
	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$	$Q, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$	$q, \%$
Эквивалент эффективной работе	10653	39,5	49309	41,1	75818	36,0	79398	34,4
Теплота, выведенная через систему охлаждения	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
Неучтенные потери теплоты	2314	8,6	97	0,1	9866	4,7	20800	9,0
Теплота введенная с топливом в двигатель	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

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

Ускорения поршня

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

2.2 Динамика

Приведение масс кривошипно-шатунного механизма к двухмассовой системе:

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

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

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

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

- 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

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

Определяем значения силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс

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

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

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

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

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

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

$$S = P^* / \cos \beta. \quad (2.17)$$

Сила (кН), действующая по радиусу кривошипа

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

Полная тангенциальная сила (кН)

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

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

$$\Delta = (168-161) \cdot 100 / 168 = 4,2\% \quad (2.23)$$

Максимальный и минимальный крутящие моменты:

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

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

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа

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

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

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

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа

$$K_{P_k} = P_k + K_{Rk} = (P_k - 15324), H \quad (2.28)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала

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

Сила, действующая на первую коренную шейку

$$R_{к.ш.1} = -0,5 * R_{k1} \quad (2.30)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку

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

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

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

где:

$$T_{k3} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \sin \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos 0^\circ - K_{pk3} * \sin 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (T_2 + T_3); \quad (2.35)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \cos \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin 0^\circ - K_{pk3} * \cos 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (K_{pk2} - K_{pk3}). \quad (2.36)$$

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

По этим диаграммам определяем:

- для 1 (5)-й коренной шейки:

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

- для 2 (4)-й коренной шейки:

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

- для 3-й коренной шейки:

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

Равномерность крутящего момента

$$\mu = \frac{M_{кр. max} - M_{кр. min}}{M_{кр. ср.}} = \frac{199,87 - (201,57 - 147,93)}{147,93} = 4,74. \quad (2.39)$$

Избыточная работа крутящего момента

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

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 Обзор иностранных источников

Быстрый и упрощенный подход к оценке индикаторной диаграммы для двигателя внутреннего сгорания

1. Введение

Классические требования: это высокая выходная мощность, надежность и др. Экономия топлива, выбросы выхлопных газов и шум двигателя стали важными параметрами не только для конкурентоспособности двигателя, но и подвергаются законодательству, которое становится все более жестче, через каждые несколько лет. Чтобы удовлетворить и полностью выполнить все эти требования, нужны очень разносторонние знания по химическим и физическим процессам, происходящие при трансформации энергии в двигателе, необходимые для того, чтобы охарактеризовать комплексное воздействие и выявить пути и направления, в том как улучшить в цилиндре двигателя процессы и, если это возможно, избежать нежелательных эффектов.

Сгорание является ключевым процессом влияющим на показатели двигателя (мощность, крутящий момент, удельный расход топлива), а также экологические характеристики двигателя т.е. выхлопные газы, шум и т.д. Обычно, выходная мощность, крутящий момент и расход топлива измеряются при контроле двигателя, а также, при необходимости, состав выхлопных газов, шум и т.д., так что общая эффективность двигателя может быть общепризнанными.

2. Теоретические основы

Камера сгорания двигателя является термодинамической системой. Основное уравнение применительно к этой системе является первое начало термодинамики

$$dQ = dU + pdV \quad (4.1)$$

Здесь dQ является изменение энергии в системе (кроме кинетической энергии которая отсутствует), dU это элементарный заряд в цилиндре и pdV механическая работа поршня.

Производная dQ состоит из энергии, выделяемой dQ_f , которая передается стенкам принятая в систему с помощью массовых потоков через границы, которая является энтальпией и элементарной массой. Таким образом, мы можем написать:

$$dQ = dQ_f + dQ_w + \sum h_i dm_i \quad (4.2)$$

Изменение внутренней энергии dQ дополнительно оценивается как:

$$dU = d(mu) + mdu + udm \quad (4.3)$$

Подставляя (2) и (3) в уравнении. (1), элементарная энергия, выделяемая при сгорании может быть выражена следующим образом:

$$dQ_f = mdu + pdV + udm + \sum h_i dm_i + dQ_w \quad (4.4)$$

3. Упрощенный метод для оценке скорости тепловыделения

Диаграмма регистрировала значения давления с использованием системы сбора данных, которая принималась в разных положениях коленчатого вала. Данные по давлению от угла поворота коленчатого вала могут легко быть преобразованы в физические данные. Поскольку от угла поворота коленчатого вала датчики имеют очень тонкое угловое приращение, поэтому изменения давления и объема малы. Таким образом, если мы рассмотрим изменения между двумя точками, то ошибка будет в разумных пределах.

Во время изменения состояния газа между двумя последовательными точками 1 до 2 количество топлива, химической энергии DQ_f высвобождается при сгорании. Если пренебречь влиянием потока, это тепло частично передается на газ DQ_n (официально обозначен как "чистым выделением тепла"), а частично передается стенкам DQ_w .

Оценка DQ_n и DQ_w может быть выполнена в упрощенном виде, удобная для лабораторного тестирования двигателя, но достаточно точным.

4. Некоторые результаты методов практического применения.

Описанный метод для оценки скорости выделения тепла демонстрируется на нескольких практических примерах. В дополнение к стандартным испытаниям двигателя оборудованы (динамометром с крутящим моментом двигателя и системой измерения частоты вращения двигателя, всасываемого воздуха и расхода топлива измерительных систем впуска воздуха, выхлопных газов, охлаждающей жидкости двигателя и температуры масла измерительной системы), двигатель был оснащен системой для записи давления в цилиндре. С водяным охлаждением, с температурной компенсацией датчик давления пьезоэлектрический был установлен в головке блока цилиндров, который получает прямой доступ к первой камере сгорания цилиндра (верхняя часть датчика совпадает со стенкой камеры сгорания). Устройство формирует сигналы осуществляемые через усилитель заряда, которое привело к приобретению цифровых данных и системы управления.

Оптический угловой датчик с разрешением 1024 знаков был установлен на коленчатом вале двигателя. Сигнал датчика давления регистрировали в течение 100 последовательных циклов, а средний цикл оценивался для последующего анализа.

Особое внимание было уделено синхронизацию давления и точному определению абсолютного уровня давления, так как эти проблемы могут существенно повлиять на результаты анализа тепловыделения. Датчики давления пьезоэлектрические, из-за их физических характеристик показывают только перепад давления, что означает, что абсолютное значение (нулевая линия) должна быть измерена или оценена отдельно. Кроме того, это должно быть сделано для каждого записанного цикла, так как сигнал имеет тенденцию всплывать (дрейф нуля). Эта проблема была решена путем применения термодинамического определения уровня абсолютного давления. Методика основана на сравнении

кривой (зарегистрированного давления) и теоретической линии сжатия (в особенности характерной части такта сжатия), рассчитанной с политропическим коэффициентом 1,32 для двигателей с принудительным зажиганием и 1,38 для двигателей. Метод широко используется на практике и оказался весьма эффективным.

Точная синхронизация между сигналом давления и положение на самом деле проблема точного определения положения ВМТ. Так как движение поршня вблизи верхней мертвой точки очень мал, механическая регистрация положения ВМТ является неточной. К тому же, в рабочем состоянии, под нагрузкой, ВМТ позиция может отличаться немного от своего стационарного положения из-за деталей двигателя термической и механической деформации. Фактическое положение ВМТ определяли путем записи диаграммы давления циклов без горения (чистого сжатия и расширения). Это было достигнуто за счет исключения зажигания в цилиндре, снабженного датчиком давления.

5. Выводы

Описанный метод оценки скорости выделения тепла от индикаторной диаграммы двигателя обеспечивает быстрый и простой анализ сгорания. Он считает в упрощенном виде тепло, передаваемое газу между двумя последовательными записанными точками, этот метод использует простые выражения для термодинамических свойств газа, и вычисляет перенос тепла к стенкам с помощью феноменологической модели. Это обеспечивает чрезвычайно эффективный метод.

Анализ ошибок показал, что погрешность уменьшается при уменьшении давления углового приращение, и то что приращение становится пренебрежимо малым. Ошибки, обусловлены термодинамическими процессами, которые составляют несколько процентов. В качестве примера, особое внимание следует обратить на синхронизационное давление. Погрешность составляла около одного градуса в положении ВМТ и производила ошибку около 5%.

Шум накладывается на зарегистрированное давление, которое может производить колебания в расчетной скорости выделения тепла. Эта проблема

может появиться, даже если среднее значение многих циклов двигателя используется и ее можно снизить путем применения некоторых из методов сглаживания кривой. С учетом выше сказанного простота этого метода, делает его "простым в использовании", а с другой стороны очень точным, так же можно утверждать, что ее очень удобно использовать для анализа горения испытываемого двигателя в практике. Это можно даже использовать в системе управления двигателем при тестированиях, чтобы обеспечить информацию о горении.

Двигатель внутреннего сгорания с постоянным объемом

1. Реферат

В данной работе рассказывается о двигателе внутреннего сгорания с постоянным объемом. Приведены Технические данные, которые позволяют эффективно понять особенности двигателей внутреннего сгорания. Особое внимание уделяется изучению эффективности работы системы и экологических проблем. Основные данные иллюстрируются графиками.

2. Введение

Основная цель работы заключается в том, чтобы рассказать людям о двигателе внутреннего сгорания, о его особенностях и преимуществах. Газообразное топливо распространяется в цилиндре двигателя, в виде рабочей смеси. Таким образом, горение рабочей смеси происходит в мертвой точке при постоянном объеме. Такой способ подачи рабочей смеси применяется, если инженеры используют жидкое топливо (бензин). Теоретический цикл работы двигателя внутреннего сгорания с подачей тепла при постоянном объеме показано на соответствующих диаграммах. Эффективное средство для увеличения мощности двигателей с теплоснабжением при постоянном давлении является применение наддува - это повышение начального давления рабочей смеси.

3. Общие принципы работы

Двигатель внутреннего сгорания является двигателем, в котором сгорание топлива происходит с окислителем (обычно с воздухом) в камере сгорания. Двигатель внутреннего сгорания - это термин, который обычно относится к двигателю внутреннего сгорания, которому относятся, четырехтактные и двух-

тактные поршневые двигатели, а также с вариантами, такими как роторные двигатели Ванкеля. Как следует из их названия, работа двигателя с четырьмя циклами внутреннего сгорания с постоянным объемом имеют 4 основных шага, которые повторяются с каждых двух оборотов двигателя:

1. Впуск. Горючая смесь распределяется в камере сгорания.
2. Сжатие. Смеси помещают под давлением.
3. Сгорание / Расширение. Смесь почти интенсивно сгорает, хотя немного присутствует детонация. Горячая смесь расширяется и движущиеся частицы двигателя выполняют полезную работу.

4. Выпуск. Продукты сгорания выбрасывается в атмосферу (рис 1)

Все двигатели внутреннего сгорания с постоянным объемом зависит от экзотермического химического процесса горения: реакции топлива, обычно с кислородом и воздухом. Наиболее распространенные современные виды топлива из углеводов, выводятся в основном из ископаемого топлива (нефть). Ископаемые виды топлива включают дизельное топливо, бензин и газ, и пропан. Жидкие и газообразные виды биотоплива, такие как этанол, тоже могут быть использованы.

Двигатель внутреннего сгорания требует воспламенение смеси, либо искровым зажиганием либо воспламенением от сжатия.

Системы внутреннего сгорания с постоянным объемом используют сочетание свинцово-кислотной батареи и индукционной катушкой, чтобы обеспечить высоковольтную электрическую искру, чтобы зажечь воздушно-топливную смесь в цилиндрах двигателя. Эта батарея заряжается во время работы с использованием устройства, которое генерирует электроэнергию, таких как генератор с приводом от двигателя. Бензиновые двигатели применяют смеси воздуха и бензина, и сжимают его, чтобы получить не более 12,8 бар (1,28 МПа), а затем используют свечу, чтобы зажечь смесь, когда она сжимается в каждом цилиндре.

4. Виды двигателя внутреннего сгорания

Двухтактный цикл.

Двигатели на основе двухтактного цикла используют два такта (один вверх, один вниз). Из-за этого нету впускных или выпускных толчков. Наиболее распространенным методом в искровым зажиганием двухтактных является использование движение вниз поршня для повышения давления свежего заряда в картере, который затем продувается через каналы стенок цилиндра.

Дизельный двигатель

Дизельный двигатель и ОЗВС (Однородный заряд с воспламенением от сжатия) эти двигатели, работают исключительно на высокой температуре и давлении, создаваемого двигателем в процессе сжатия для воспламенения. Дизельные двигатели будут принимать только воздух, и незадолго до пика сжатия, небольшое количество дизельного топлива впрыскивается в цилиндр через форсунки, что позволяет топливу мгновенно воспламеняется.

Цикл Ванкеля

Двигатель Ванкеля не имеет хода поршня. Он работает с таким же разделением фаз как и четырехтактный двигатель с фазами, происходящими в отдельных местах в двигателе. В цикл следует в термодинамических условиях двигателя Отто, его можно рассматривать как "четыре фазы" двигателя.

5. Термодинамические процессы

Давление на объем- диаграмма цикла Отто, показывает тепло сгорания впускной и выпускной Q_p выхлопных газов Q_o , ход расширения, конец такта сжатия. (Рисунок 3.1)

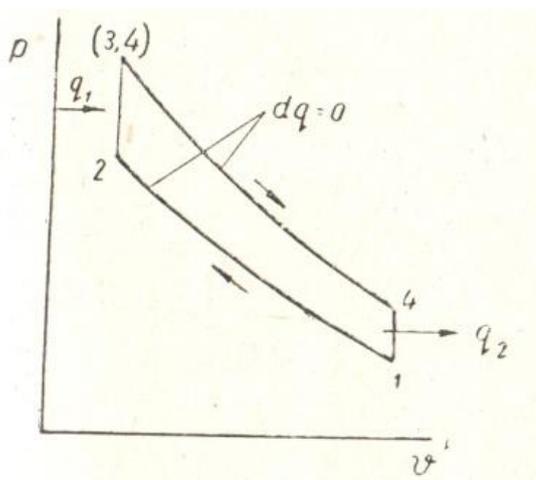


Рисунок 3.1 - Цикл Отто в P-V.

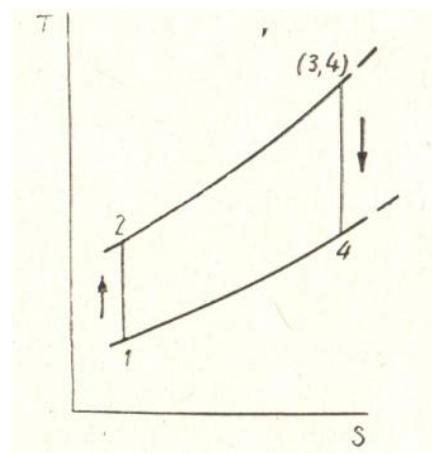


Рисунок 3.2 - Цикл Отто в T-S

Двигатели на основе четырех-тактного ("Отто цикла") имеют один рабочий ход для каждого четырех циклов (вверх-вниз-вверх-вниз) и используют свечи зажигания. Сжигание происходит быстро, и при сжигании объем изменяется незначительно ("постоянный объем"). Они используются в автомобилях, больших лодках, некоторых мотоциклах, и в многих легких самолетах(рисунок 3.2). Они, как правило тише и более эффективней, чем их аналогия двухтактных.

Этапы :

Впуск: испарение воздуха .

Такта сжатия: Пары топлива и воздух сжимаются и воспламеняется.

Такт: Топливо сгорает и поршень выталкивается вниз.

Выпускной ход: Выхлопы проталкиваются. Во время 1-ого, 2, и 4-го хода поршня, опираясь на силы и импульсы, генерируемого другими поршнями. В этом случае, четырехцилиндровый двигатель будет менее мощным, чем шести или восьми цилиндрового двигателя.

Экологические вопросы

Многие узлы и автомобили по-прежнему используют двигатели внутреннего сгорания, которые работают на нефти и уничтожают озоновый слой Земли. Такие двигатели выделяют ядовитые газы в атмосферу: синильную кислоту, углекислый газ, карбонаты натрия. Очень важно, что двигатели внутреннего сгорания отравляют среду в меньших количествах. Для этого необходимо применять специальные виды фильтров:

- 1) фильтры, которые не пропускают тяжелые оксиды
- 2) фильтры очистки выхлопных газов от тяжелых примесей

4 Обзор состояния вопроса и описание модернизированного двигателя с непосредственным впрыском топлива через пьезофорсунку

4.1 Общее описание конструкции и устройства пьезофорсунки

Пьезоэлектрический эффект это эффект возникновения в кристаллах, называемыми пьезо кристаллами, небольшого электрического тока под действием сжатия и в тоже время при подачи на кристалл электрического заряда его линейные размеры увеличиваются, что и привело к созданию исполнительных устройств на базе пьезоэлементов. Общая схема пьезофорсунки представлена на рисунке 4.1.

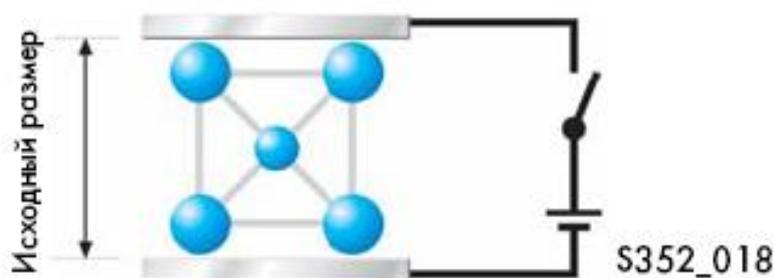


Рисунок 4.1 – Пьезофорсунка

Так в форсунках используется следующее явление. К пачке кристаллических пьезоэлементов (рисунок 4.2) подается ток [19], что приводит к изменению линейного размера кристаллов и перемещают связанную с ними запорную иглу. Подобрав необходимое количество кристаллов, можно получить заданную величину перемещения запорной иглы. Основное преимущество пьезоэлектриче-

ской форсунки – очень высокое быстродействие и электрическое управление режимами работы. Подобная схема позволяет очень точно дозировать подачу горючего и реализовать так называемый многоступенчатый впрыск, когда в процессе сжатия горючее подается несколькими порциями в зависимости от нагрузки на двигатель.

Пьезоэлемент при отсутствии напряжения U



Пьезоэлемент при подаче напряжения U

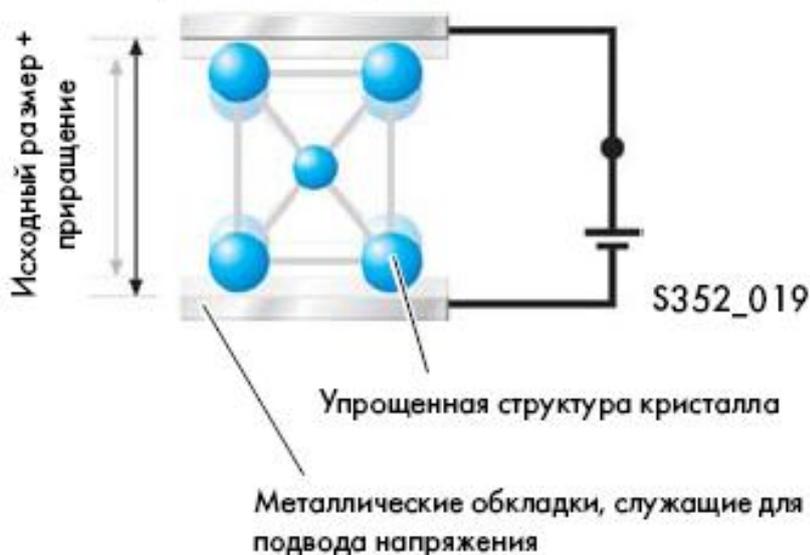


Рисунок 4.2 – Схема пьезокристалла

Увеличение линейных размеров пьезокристалла невелико, так стандартных размерах пьезокристалла 0,15 мм увеличение его размеров под действием силы тока от сети автомобиля, т.е. 12 вольт составляет всего 0,15%, следовательно чтобы получить хоть сколько нибудь заметный ход нужно набрать столбик из 200 - 300 пьезо кристаллов или пьезоэлементов.

4.2 Описание конструкции спроектированной пьезофорсунки

Конструкция спроектированной пьезофорсунки представлена на рисунке 4.3, на рисунках цифрами обозначены следующие позиции: 1 - пьезопривод, 2 - рычажный мультипликатор, 3 - игла клапана, 4 - пружина форсунки, 5 - игла распылителя, 6 - металлическая обкладка, 7 - пьезоэлемент, 8 - нажимная пластина, 9 - корпус с штекерным разъемом, 10 - рычаги.

Принцип работы пьезофорсунки: контроллер подает сигнал на штекерный разъем 9, отсюда он подается на пьезопривод 1, где пьезоэлементы 7 под действием электрического тока увеличиваются в своих линейных размерах и воздействуют на мультиклапан 2, который в свою очередь открывает канал и топливо, за счет разницы давления поднимает пошень с иглой распылителя 5, тем самым обеспечивая подачу топлива. При прекращении воздействия электрического тока на пьезоэлементы, рычажный мультипликатор 2 закрывает обратный ток топлива, тем самым перепад давления пропадает и пружина закрывает иглу клапана обратно 3.

Рассмотрим основные параметры работы двигателя при непосредственном впрыске топлива в цилиндр, так при работе на полном дросселе впрыск топлива осуществляется в полном объеме на такте сжатия, для своевременного перемешивания воздуха с топливом, при уменьшении нагрузки двигателю требуется меньше мощности и следовательно необходимо обеднить смесь, в результате чего на такте впуска впрыскивается лишь часть топлива, а основное количество подается непосредственно перед сгоранием, для обеспечения более плавного и эффективного протекания процесса сгорания. Дальнейшее уменьшение нагрузки приводит к полному прекращению подачи топлива в начале сжатия, и мы получаем расслоенную смесь с богатым составом смеси у свечи зажигания и практически одним воздухом в остальных частях камеры сгорания.

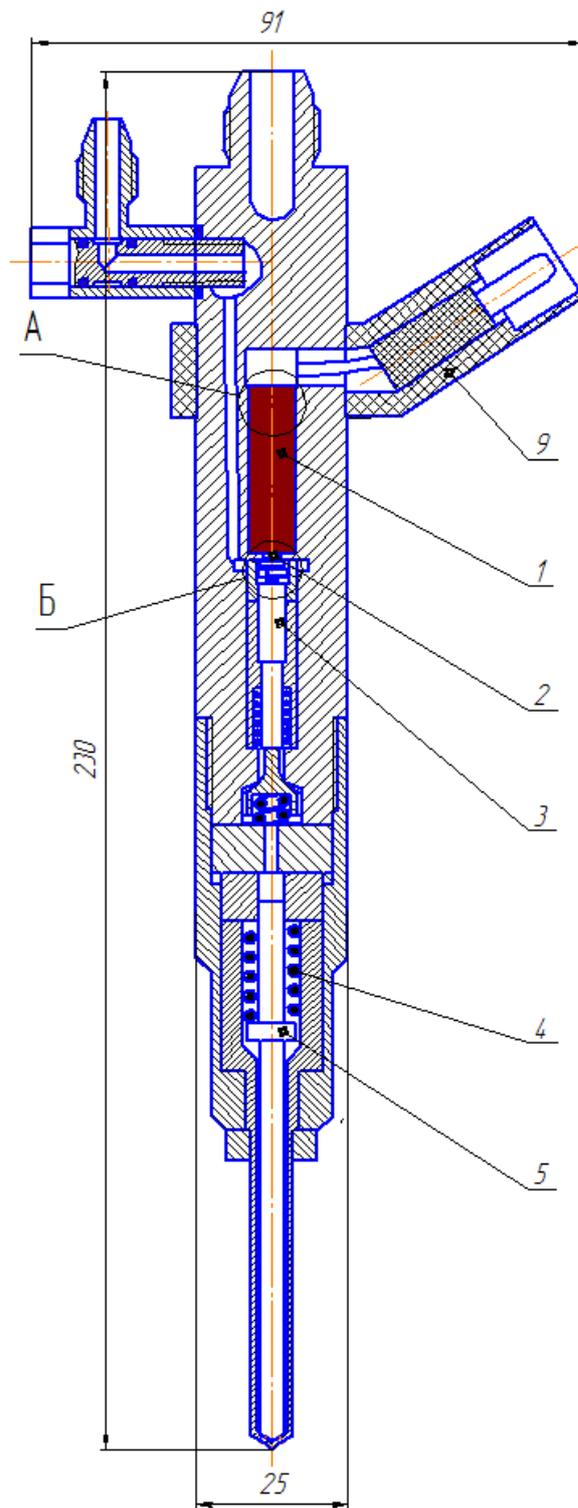


Рисунок 4.3 - Конструкция спроектированной пьезофорсунки

Помимо предложенных основных характеристик впрыска, имеется еще необходимость повышения содержания несгоревших углеводородов в продуктах сгорания для эффективной работы трехкомпонентного каталитического нейтрализатора, это осуществляется при помощи небольшого довпрыска на

такте расширения, тем самым мы можем обеспечить высокоэффективный процесс сгорания с расслоением заряда, но при этом не применять дорогостоящие схемы нейтрализации отработавших газов из-за невозможности восстановить оксиды азота при отсутствии продуктов неполного сгорания.

4.4 Расчет пьезофорсунки

Максимальная цикловая подача [4]

$$q_{\text{ц}}(\text{max}) = \frac{V_H \cdot \rho_B}{i \cdot 12} = \frac{1,6 \cdot 0,973}{4 \cdot 12} = 30,4 \frac{\text{г}}{\text{цикл}}. \quad (4.1)$$

Минимальная цикловая подача:

$$q_{\text{ц}}(\text{min}) = \frac{V_H \cdot \rho_B}{i \cdot 50} = \frac{1,6 \cdot 0,973}{4 \cdot 50} = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{цикл}}. \quad (4.2)$$

Период фазированного распределенного впрыска топлива:

$$T_{\text{min}} = \frac{120 \cdot 1000}{n_{\text{max}}} = \frac{120 \cdot 1000}{5600} = 17,6 \text{ мс}. \quad (4.3)$$

Максимальное время впрыска:

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

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:

$$Q_{\text{ст.max}} = 1 + \sqrt{\mu_{\text{КС}}^2 + \mu_{\text{ДП}}^2 + \mu_{\text{ОН}}^2} \cdot Q_{\text{ст.min}}, \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{ст.max}} = 1 + \sqrt{0,1^2 + 0,06^2 + 0,15^2} \cdot 1758 = 2091 \frac{\text{г}}{\text{с}}$$

Скорость истечения топлива из отверстия жиклера:

$$W_m = \frac{2}{\rho_T} \cdot p_T + p_{\text{раз}} \cdot 1000 = \frac{2}{695} \cdot 355 + 0 \cdot 1000 = 32 \frac{\text{М}}{\text{с}} \quad (4.7)$$

Площадь проходного сечения жиклера форсунки

$$F_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{см. max}}}{\mu_{\omega} \cdot \mu \cdot \rho_T \cdot W_m \cdot m} = \frac{2091}{0,85 \cdot 0,6 \cdot 695 \cdot 32 \cdot 3} = 0,062 \text{ мм}^2. \quad (4.8)$$

Диаметр отверстия одного жиклера в распылителе форсунки

$$d = \frac{4 \cdot F_{\text{ж}}}{\pi} = \frac{4 \cdot 0,062}{3,14} = 0,28 \text{ мм}. \quad (4.9)$$

5 Безопасность и экологичность проекта

5.1 Оценка влияния непосредственного впрыска топлива в цилиндр на концентрацию токсичных компонентов в отработавших газах

При работе на обедненной, бедной или переобедненной топливной смеси двигатель внутреннего сгорания при непосредственном впрыске топлива в цилиндр двигателя поддерживает режим работы с расслоением топливно-воздушной смеси, при этом на средних нагрузках поддерживается режим, где у свечи зажигания богатая смесь с коэффициентом избытка топлива 0,85-0,95, а в объеме бедная смесь с составом около 1,4 - 1,8 по коэффициенту избытка воздуха. В тоже время при работе на режимах глубокого дросселирования топливо подается только в зону свечи зажигания, а в остальном объеме это воздух и остаточные газы. Следовательно работа на этих режимах является сверх эффективной и низко токсичной по продуктам неполного сгорания. В тоже время на этих режимах возникают условия, близкие к дизельному циклу, при которых возможно образование твердых частиц.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

- ВОЗМОЖНОСТЬ РАБОТЫ НА ОБЕДНЕННОЙ СМЕСИ
- ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

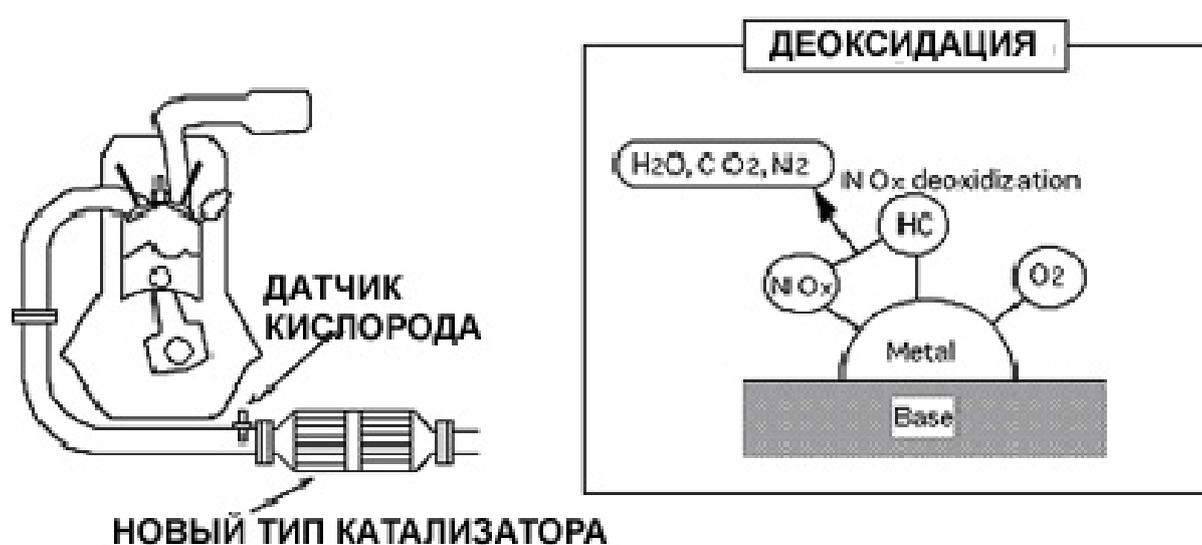


Рисунок 5.1 - Каталитический нейтрализатор отработавших газов накопительного типа для работы на обедненной смеси и восстановления оксидов азота

С концентрацией оксидов азота имеется двойственная позиция, с одной стороны на частичных режимах поддерживается большая равномерность процесса сгорания, что снижает температуру цикла, и тем самым ведет к уменьшению концентрации оксида азота в отработавших газах, но в тоже время отсутствие продуктов неполного сгорания приводит к невозможности осуществления реакции восстановления азота на ячейках каталитического нейтрализатора, что в итоге сказывается на повышенном содержании оксида азота в отработавших газах, тем самым вынуждая автопроизводителя применять специальные системы очистки отработавших газов от оксидов азота, накопительного типа, как это показано на рисунке 5.1.

5.2 Система питания с пьезофорсункой и её влияние на показатели работы ДВС

Применение пьезофорсунки в составе конструкции системы питания ДВС и её влияние на изменение эффективных и экологических показателей модернизированного двигателя заключается в следующем: обеспечение быстрого, безинерционной подачи топлива в камеру сгорания ДВС, что позволяет варьировать характеристиками впрыска топлива при впрыски на разных фазах работы двигателя. По расчетам получено, что скорость открытия клапана у пьезофорсунки в 4 раза выше чем у электромагнитной, это сокращает время отклика и лучше разделяет фазы впрыскивания топлива.

5.3 Выводы по главе

Показана снижение концентрации всех токсичных компонентов при выходе из цилиндра двигателя, но для их эффективной нейтрализации требуется более сложная система дожигания восстановления связанная с необходимостью накапливать и потом дожигать оксиды азота, так получено:

- по несгоревшим углеводородам (СН) – снижается, в связи с работой на бедных смесях и расслоением заряда в КС.
- по концентрации оксидов азота в отработавших газах (ОГ) снижается из-за снижения максимальных температур в камере сгорания, но требуется установка накопительного двухкомпонентного каталитического нейтрализатора, с короткими циклами работы на богатой смеси для дожигания NOx.
- CO и CO₂ снижаются, в связи с работой на бедных смесях и расслоением заряда в КС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведена модернизация двигателя 16 клапанного ВАЗ с рабочим объемом 1,6 литра, было предложено испроектирована головка блока цилиндра с расположенной в ней пьезофорсункой для непосредственного впрыска топлива в цилиндр двигателя, для этого проведен тепловой, кинематический и динамический расчет двигателя с пьезофорсункой, определены технические характеристики пьезофорсунки, что позволило поднять степень сжатия до 11,5 и проведено сравнение с базовым двигателем ВАЗ с распределенным впрыском топлива при степени сжатия 10,5, в результате получены следующие положительные показатели, а именно, увеличение эффективной мощности составило 5%, крутящего момента на 6%, при этом расход топлива снизился на 8% на по внешней скоростной характеристике, а при работе на частичных режимах снижение расхода топлива составляет до 40%.

Проведенный анализ безопасности и экологичности объекта бакалаврского проектирования показал, что для выполнения норм по токсичности Euro VI необходимо в совокупности с каталитическим нейтрализатором устанавливать катализатор с накопителем NO_x .

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. 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.
3. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
4. Луканин В.Н. «Промышленная транспортная экология». М.: Высшая школа, 2001.
5. Кузнецов В.Р., Собольников В.А. “Турбулентность и горение”. М. Наука, 1986.
6. Войнов В.В. “Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания”. М. Наука, 1984.
7. Звонов В.А. “Токсичность двигателей внутреннего сгорания”. М. Машиностроение, 1981.
8. Nlootat G., et al, “A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours”, SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.
9. 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.
10. Jehad, A.A. The effect of combustion duration on the performance and emission characteristics of propane fueled 4-stroke S.I. engines / A. A. Jehad, H. N. Gupta, B. B. Bansal // SAE, 1232708. - 2003.
11. Wilson, T.S. High bandwidth heat transfer and optical measurements in an instrumented spark ignition internal combustion engine / T. S. Wilson [и др.] // SAE. - 2002. - №2002-01-0747

12. Andersson, I. Cylinder pressure and ionization current modeling for spark ignited engines / I. Andersson: Linköpings Universitet, 2002
13. Koroll, G.W. Burning Velocities of Hydrogen-Air Mixtures / G.W. Koroll, R.K. Kumar, E.M. Bowles // *Combustion and Flame* 99, 1999, p. 330
14. CHUNG, K. LAW. COMBUSTION PHYSICS / Princeton University. Cambridge University Press. 2006. 722 c.
15. Bauer, C.G. Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles / C.G. Bauer, T.W. Forest // Part I: effect on S.I. engine performance. *International Journal of Hydrogen Energy* 2001;26(1):55–70.
16. Das, L. A comparative evaluation of the performance characteristics of a spark ignition engine using hydrogen and compressed natural gas as alternative fuels / L. Das, R. Gulati, P. Gupta // *Int. J. Hydrogen Energy*, 2000. 25(8): 783-793.
17. Babushok, V.I. Temperature Regions of Optimal Chemical Inhibition of Premixed Flames/ M.D. Rumminger, V.I. Babushok, G.T. Linteris // 29th Symp. Int. Combustion, 2002, pp. 329-336.
18. Macdonald, M.A. Temperature Dependence of phosphorus-based flame inhibition/ M.A. Macdonald, F.C. Gouldin, E.M. Fisher // *Combustion and Flame* 124, 2001, pp. 668-683.
19. Chryssakis, A. C. Effect of multiple injections on fuel-air mixing and soot formation in diesel combustion using direct flame visualization and CFD techniques / A. C. Chryssakis, N. D. Assanis // ASME Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference. - 2005.
20. Kuwahara, K. Mixing control strategy engine performance improvement in a gasoline direct injection engine / K. Kuwahara, K. Ueda, H. Ando // SAE, 980158.

Приложение А

Таблица А1 - Исходные данные для теплового расчета

Объем рабочего тела, м ³	Продолжительность процесс сгорания	Коэффициент избытка воздуха	Степень сжатия	Коэффициент молекулярного изменения смеси	P_u	T_u	Угол опережения зажигания	Полнота сгорания топлива	E_2 , МПа	Коэффициент остаточных газов	λ	Показатель характера сгорания	Частота вращения КВ
Двигатель с пьезофорсункой													
1,0209	34	1,2	11,5	1,050601	1,967552	791,23	12	0,92	47,544497	0,036197	0,26	2	900
1,04618	38	1,1	11,5	1,03894	1,80708	774,445	14	0,91	45,990604	0,033024	0,26	2.2	2000
1,058665	42	1,05	11,5	1,039063	1,639063	743,95	16	0,93	47,11143	0,029779	0,26	2.4	3500
1,114729	50	1,05	11,5	1,038972	1,405866	723,92	19	0,95	45,59819	0,032173	0,26	2.6	5000
1,133133	54	1,05	11,5	1,050855	1,143217	686,809	24	0,99	48,99202	0,031019	0,26	2.8	5600
Двигатель ВАЗ													
1,000492	40	1	10,5	1,060488	1,823871	767,52	15	0,81	43,98798	0,043126	0,26	3.1	900
1,033941	48	1	10,5	1,050596	1,469604	722,15	20	0,86	46,40438	0,036289	0,26	3.2	2600
1,067569	55	1	10,5	1,050718	1,267603	697,78	23	0,96	50,28953	0,033797	0,26	3.3	3700
1,079382	58	1	10,5	1,050909	1,098591	665,27	26	0,97	50,44589	0,029931	0,26	3.4	5000
1,122965	62	1	10,5	1,050917	0,977444	652,08	28	0,94	49,49647	0,029751	0,26	3.5	5600

Таблица А2 - Результаты теплового расчета двигателя с пьезофорсункой при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k_{1-2}	K_{1-2}	ΔX_{1-2}	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
810,625	810,625	0,10175	0,0275	1,14425	8,79E-05	815,617			0,000176	2,201299	1	1	0	0	-12
820,609	820,60913	0,09971	0,0231	1,12132	0,000615	828,959	1,35301	6,665569	0,001229	2,273979	1	1	0,000176	1	-11
837,3089	837,3102	0,09785	0,0191	1,10035	0,001665	850,6655	1,351445	6,690784	0,003329	2,364496	1	1,00001	0,001405	2	-10

Продолжение таблицы А2

864,0221	864,02876	0,09616	0,0155	1,08135	0,003226	883,8639	1,349009	6,730505	0,006451	2,482882	1	1,00003	0,004734	3	-9
903,7057	903,72939	0,09464	0,0123	1,06432	0,005272	931,25	1,345525	6,788301	0,010545	2,638637	1,0001	1,00007	0,011185	4	-8
958,7944	958,86239	0,09331	0,0094	1,04927	0,007761	994,9194	1,34099	6,865274	0,015522	2,839976	1,0002	1,00015	0,02173	5	-7
1031,045	1031,2098	0,09215	0,0069	1,03622	0,010626	1076,239	1,335583	6,959775	0,021252	3,093105	1,0003	1,00027	0,037252	6	-6
1121,434	1121,782	0,09116	0,0048	1,02516	0,013777	1175,777	1,329609	7,067792	0,027554	3,401645	1,0005	1,00045	0,058504	7	-5
1230,119	1230,7662	0,09036	0,0031	1,01611	0,0171	1293,277	1,32342	7,183914	0,034201	3,766231	1,0008	1,00067	0,086058	8	-4
1356,435	1357,5147	0,08973	0,0017	1,00906	0,02046	1427,673	1,317336	7,30247	0,04092	4,184297	1,0011	1,00096	0,120259	9	-3
1498,911	1500,5573	0,08928	0,0008	1,00403	0,023703	1577,113	1,311602	7,418442	0,047407	4,65002	1,0015	1,00131	0,161179	10	-2
1655,315	1657,6379	0,08901	0,0002	1,00101	0,02667	1739,011	1,306374	7,527963	0,053339	5,154415	1,0019	1,00172	0,208586	11	-1
1822,706	1825,7813	0,08892	0	1	0,0292	1910,124	1,30173	7,628437	0,0584	5,685638	1,0024	1,00219	0,261925	12	0
1997,542	2001,4018	0,08901	0,0002	1,00101	0,03115	2086,681	1,29769	7,718395	0,062301	6,229495	1,003	1,00271	0,320325	13	1
2175,82	2180,4582	0,08928	0,0008	1,00403	0,032404	2264,551	1,294236	7,79726	0,064809	6,770186	1,0036	1,00327	0,382626	14	2
2353,281	2358,6562	0,08973	0,0017	1,00906	0,032883	2439,459	1,291329	7,865095	0,065767	7,291237	1,0042	1,00387	0,447435	15	3
2525,637	2531,685	0,09036	0,0031	1,01611	0,032557	2607,234	1,288917	7,922392	0,065115	7,776559	1,0048	1,00447	0,513202	16	4
2688,83	2695,4707	0,09116	0,0048	1,02516	0,031447	2764,052	1,286948	7,969913	0,062895	8,211524	1,0054	1,00508	0,578316	17	5
2839,274	2846,4205	0,09215	0,0069	1,03622	0,029627	2906,672	1,285365	8,008571	0,059254	8,583951	1,006	1,00568	0,641211	18	6
2974,07	2981,6341	0,09331	0,0094	1,04927	0,027214	3032,615	1,284117	8,039356	0,054429	8,884878	1,0065	1,00625	0,700465	19	7
3091,159	3099,0568	0,09464	0,0123	1,06432	0,024362	3140,283	1,283155	8,063274	0,048724	9,109035	1,007	1,00678	0,754894	20	8
3189,406	3197,5583	0,09616	0,0155	1,08135	0,021242	3229,001	1,282434	8,081308	0,042485	9,254969	1,0075	1,00726	0,803619	21	9
3268,595	3276,93	0,09785	0,0191	1,10035	0,01803	3298,971	1,281913	8,094394	0,036059	9,324818	1,0079	1,00768	0,846103	22	10
3329,348	3337,8043	0,09971	0,0231	1,12132	0,014886	3351,167	1,281556	8,10339	0,029772	9,323789	1,0082	1,00805	0,882163	23	11
3372,986	3381,5089	0,10175	0,0275	1,14425	0,011948	3387,159	1,281331	8,109072	0,023895	9,259414	1,0085	1,00836	0,911935	24	12
3401,333	3409,8784	0,10396	0,0322	1,16912	0,009314	3408,926	1,28121	8,112116	0,018628	9,140708	1,0087	1,00861	0,93583	25	13
3416,519	3425,0486	0,10635	0,0373	1,19593	0,007047	3418,648	1,281171	8,113101	0,014095	8,977328	1,0089	1,0088	0,954458	26	14
3420,776	3429,259	0,1089	0,0428	1,22466	0,005171	3418,523	1,281195	8,112507	0,010342	8,778834	1,009	1,00896	0,968553	27	15
3416,27	3424,6836	0,11163	0,0486	1,2553	0,003676	3410,625	1,281265	8,110725	0,007353	8,554119	1,0091	1,00907	0,978895	28	16
3404,98	3413,3051	0,11452	0,0548	1,28783	0,002531	3396,796	1,281371	8,108063	0,005061	8,311027	1,0092	1,00915	0,986248	29	17
3388,612	3396,8352	0,11758	0,0614	1,32223	0,001685	3378,592	1,281502	8,104756	0,00337	8,056166	1,0092	1,00921	0,991309	30	18
3368,572	3376,6822	0,1208	0,0683	1,3585	0,001084	3357,267	1,281651	8,100981	0,002168	7,794877	1,0093	1,00925	0,994679	31	19
3345,962	3353,9537	0,12419	0,0755	1,39661	0,000673	3333,79	1,281815	8,096865	0,001347	7,531327	1,0093	1,00928	0,996847	32	20
3321,619	3329,4862	0,12774	0,0832	1,43655	0,000404	3308,884	1,281988	8,092499	0,000807	7,268659	1,0093	1,00929	0,998193	33	21
3296,149	3303,8894	0,13146	0,0911	1,47829	0,000233	3283,066	1,282169	8,087947	0,000466	7,00918	1,0093	1,0093	0,999	34	22

Таблица А3 - Результаты теплового расчета двигателя с пьезофорсункой при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

Температура предполагаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
791,7779	791,77789	0,1082	0,0373	1,1959	0,0000	795,6981			0,0001	2,0149	1,0000	1,0000	0,0000	0	-14
799,6183	799,61842	0,1058	0,0322	1,1691	0,0002	804,8057	1,3554	6,6277	0,0005	2,0815	1,0000	1,0000	0,0001	1	-13
809,9932	809,9938	0,1035	0,0275	1,1442	0,0007	817,2869	1,3543	6,6454	0,0015	2,1544	1,0000	1,0000	0,0006	2	-12
824,5807	824,58325	0,1014	0,0231	1,1213	0,0015	834,8404	1,3528	6,6693	0,0031	2,2381	1,0001	1,0000	0,0020	3	-11
845,1002	845,10774	0,0995	0,0191	1,1003	0,0027	859,1601	1,3508	6,7020	0,0053	2,3377	1,0001	1,0001	0,0051	4	-10
873,2199	873,23929	0,0978	0,0155	1,0813	0,0041	891,8411	1,3481	6,7457	0,0082	2,4582	1,0003	1,0002	0,0104	5	-9
910,4623	910,5067	0,0963	0,0123	1,0643	0,0058	934,2860	1,3447	6,8015	0,0117	2,6047	1,0005	1,0004	0,0186	6	-8
958,1097	958,20307	0,0949	0,0094	1,0493	0,0079	987,6161	1,3407	6,8696	0,0158	2,7812	1,0009	1,0007	0,0303	7	-7
1017,123	1017,3033	0,0937	0,0069	1,0362	0,0102	1052,5987	1,3362	6,9488	0,0204	2,9911	1,0013	1,0011	0,0461	8	-6
1088,075	1088,3981	0,0927	0,0048	1,0252	0,0127	1129,5925	1,3313	7,0369	0,0254	3,2363	1,0019	1,0016	0,0665	9	-5
1171,11	1171,6469	0,0919	0,0031	1,0161	0,0153	1218,5131	1,3262	7,1310	0,0307	3,5171	1,0026	1,0022	0,0919	10	-4
1265,916	1266,749	0,0913	0,0017	1,0091	0,0180	1318,8160	1,3211	7,2279	0,0361	3,8322	1,0035	1,0030	0,1226	11	-3
1371,716	1372,9304	0,0908	0,0008	1,0040	0,0207	1429,4947	1,3162	7,3245	0,0414	4,1782	1,0045	1,0040	0,1587	12	-2
1487,274	1488,949	0,0906	0,0002	1,0010	0,0232	1549,0952	1,3116	7,4181	0,0464	4,5499	1,0057	1,0051	0,2000	13	-1
1610,917	1613,1168	0,0905	0,0000	1,0000	0,0254	1675,7481	1,3074	7,5067	0,0509	4,9404	1,0070	1,0063	0,2464	14	0
1740,579	1743,3461	0,0906	0,0002	1,0010	0,0273	1807,2238	1,3036	7,5887	0,0546	5,3411	1,0084	1,0077	0,2973	15	1
1873,868	1877,2198	0,0908	0,0008	1,0040	0,0287	1941,0125	1,3002	7,6631	0,0575	5,7425	1,0099	1,0092	0,3519	16	2
2008,157	2012,0872	0,0913	0,0017	1,0091	0,0296	2074,4284	1,2972	7,7296	0,0592	6,1339	1,0116	1,0108	0,4094	17	3
2140,7	2145,183	0,0919	0,0031	1,0161	0,0299	2204,7342	1,2946	7,7879	0,0598	6,5049	1,0132	1,0124	0,4686	18	4
2268,768	2273,7613	0,0927	0,0048	1,0252	0,0296	2329,2782	1,2925	7,8383	0,0592	6,8453	1,0149	1,0141	0,5284	19	5
2389,788	2395,2366	0,0937	0,0069	1,0362	0,0287	2445,6317	1,2907	7,8811	0,0573	7,1459	1,0166	1,0158	0,5876	20	6
2501,475	2507,319	0,0949	0,0094	1,0493	0,0272	2551,7164	1,2892	7,9168	0,0544	7,3992	1,0182	1,0174	0,6449	21	7
2601,957	2608,1321	0,0963	0,0123	1,0643	0,0252	2645,9080	1,2879	7,9460	0,0505	7,5997	1,0198	1,0190	0,6993	22	8
2689,859	2696,3016	0,0978	0,0155	1,0813	0,0229	2727,1075	1,2870	7,9694	0,0458	7,7441	1,0212	1,0205	0,7498	23	9
2764,356	2771,0074	0,0995	0,0191	1,1003	0,0203	2794,7725	1,2862	7,9876	0,0406	7,8316	1,0225	1,0218	0,7956	24	10
2825,189	2831,9922	0,1014	0,0231	1,1213	0,0176	2848,9063	1,2857	8,0013	0,0352	7,8637	1,0236	1,0231	0,8362	25	11

Продолжение таблицы А3

2872,624	2879,5304	0,1035	0,0275	1,1442	0,0149	2890,0083	1,2853	8,0111	0,0298	7,8437	1,0246	1,0241	0,8714	26	12
2907,393	2914,3579	0,1058	0,0322	1,1691	0,0123	2918,9906	1,2850	8,0177	0,0246	7,7766	1,0255	1,0251	0,9012	27	13
2930,589	2937,5751	0,1082	0,0373	1,1959	0,0099	2937,0731	1,2848	8,0216	0,0197	7,6686	1,0262	1,0258	0,9257	28	14
2943,557	2950,5333	0,1108	0,0428	1,2247	0,0077	2945,6676	1,2848	8,0232	0,0155	7,5263	1,0267	1,0264	0,9455	29	15
2947,778	2954,7165	0,1136	0,0486	1,2553	0,0059	2946,2648	1,2848	8,0231	0,0118	7,3566	1,0272	1,0269	0,9609	30	16
2944,752	2951,6328	0,1165	0,0548	1,2878	0,0044	2940,3341	1,2848	8,0215	0,0087	7,1660	1,0275	1,0273	0,9727	31	17
2935,916	2942,722	0,1196	0,0614	1,3222	0,0031	2929,2436	1,2849	8,0189	0,0063	6,9604	1,0277	1,0276	0,9814	32	18
2922,571	2929,2889	0,1229	0,0683	1,3585	0,0022	2914,2059	1,2851	8,0154	0,0044	6,7451	1,0279	1,0278	0,9877	33	19
2905,841	2912,4609	0,1264	0,0755	1,3966	0,0015	2896,2484	1,2853	8,0113	0,0030	6,5243	1,0280	1,0280	0,9921	34	20
2886,656	2893,1714	0,1300	0,0832	1,4365	0,0010	2876,2066	1,2854	8,0067	0,0019	6,3015	1,0281	1,0281	0,9951	35	21
2865,757	2872,1628	0,1337	0,0911	1,4783	0,0006	2854,7343	1,2856	8,0018	0,0012	6,0795	1,0282	1,0282	0,9970	36	22
2843,712	2850,0041	0,1377	0,0994	1,5218	0,0004	2832,3256	1,2859	7,9967	0,0008	5,8603	1,0282	1,0282	0,9982	37	23
2820,94	2827,1171	0,1418	0,1080	1,5671	0,0002	2809,3422	1,2861	7,9913	0,0005	5,6454	1,0282	1,0282	0,9990	38	24

Таблица А4 - Результаты теплового расчета двигателя с пьезофорсункой при $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
758,1919	758,1919	0,1153	0,0499	1,2619	0,0000	761,9585			0,0000	1,8070	1,0000	1,0000	0,0000	0	-16
765,7252	765,7253	0,1124	0,0439	1,2305	0,0001	770,0880	1,3597	6,5608	0,0002	1,8716	1,0000	1,0000	0,0000	1	-15
774,4509	774,4513	0,1097	0,0383	1,2010	0,0003	779,9183	1,3586	6,5775	0,0007	1,9394	1,0000	1,0000	0,0002	2	-14
785,3857	785,3871	0,1072	0,0331	1,1735	0,0007	792,5291	1,3573	6,5973	0,0015	2,0129	1,0000	1,0000	0,0009	3	-13
799,6724	799,6758	0,1049	0,0282	1,1480	0,0013	809,0997	1,3557	6,6224	0,0026	2,0951	1,0001	1,0001	0,0023	4	-12
818,527	818,5349	0,1027	0,0237	1,1245	0,0021	830,8561	1,3537	6,6544	0,0042	2,1896	1,0002	1,0001	0,0050	5	-11
843,1852	843,202	0,1008	0,0196	1,1030	0,0031	859,0141	1,3512	6,6951	0,0063	2,2999	1,0004	1,0003	0,0092	6	-10
874,8429	874,8768	0,0990	0,0159	1,0835	0,0044	894,7193	1,3481	6,7455	0,0088	2,4297	1,0006	1,0005	0,0155	7	-9
914,5956	914,6604	0,0974	0,0126	1,0660	0,0059	938,9872	1,3445	6,8060	0,0117	2,5826	1,0010	1,0008	0,0243	8	-8
963,3787	963,496	0,0960	0,0096	1,0506	0,0076	992,6465	1,3404	6,8762	0,0151	2,7616	1,0014	1,0012	0,0360	9	-7
1021,914	1022,115	0,0948	0,0071	1,0372	0,0094	1056,2905	1,3359	6,9549	0,0189	2,9690	1,0020	1,0017	0,0512	10	-6

Продолжение таблицы А4

1090,667	1090,993	0,0937	0,0049	1,0258	0,0115	1130,2379	1,3311	7,0402	0,0230	3,2062	1,0027	1,0024	0,0700	11	-5
1169,809	1170,309	0,0929	0,0031	1,0165	0,0136	1214,5019	1,3263	7,1299	0,0273	3,4736	1,0036	1,0032	0,0930	12	-4
1259,195	1259,924	0,0922	0,0018	1,0093	0,0159	1308,7693	1,3215	7,2215	0,0317	3,7700	1,0047	1,0042	0,1203	13	-3
1358,344	1359,357	0,0917	0,0008	1,0041	0,0181	1412,3872	1,3168	7,3127	0,0362	4,0932	1,0060	1,0053	0,1520	14	-2
1466,431	1467,776	0,0915	0,0002	1,0010	0,0202	1524,3594	1,3124	7,4014	0,0405	4,4392	1,0074	1,0067	0,1882	15	-1
1582,288	1584,005	0,0914	0,0000	1,0000	0,0223	1643,3547	1,3084	7,4860	0,0445	4,8029	1,0090	1,0082	0,2286	16	0
1704,421	1706,535	0,0915	0,0002	1,0010	0,0240	1767,7310	1,3046	7,5653	0,0481	5,1776	1,0107	1,0098	0,2731	17	1
1831,041	1833,563	0,0917	0,0008	1,0041	0,0255	1895,5769	1,3013	7,6382	0,0511	5,5557	1,0126	1,0116	0,3212	18	2
1960,113	1963,041	0,0922	0,0018	1,0093	0,0266	2024,7716	1,2983	7,7044	0,0533	5,9290	1,0146	1,0136	0,3723	19	3
2089,43	2092,748	0,0929	0,0031	1,0165	0,0273	2153,0635	1,2957	7,7636	0,0547	6,2884	1,0167	1,0156	0,4256	20	4
2216,697	2220,379	0,0937	0,0049	1,0258	0,0276	2278,1621	1,2934	7,8159	0,0551	6,6253	1,0188	1,0177	0,4803	21	5
2339,628	2343,641	0,0948	0,0071	1,0372	0,0273	2397,8403	1,2915	7,8614	0,0546	6,9312	1,0210	1,0199	0,5354	22	6
2456,053	2460,36	0,0960	0,0096	1,0506	0,0266	2510,0366	1,2898	7,9004	0,0531	7,1987	1,0231	1,0220	0,5900	23	7
2564,02	2568,579	0,0974	0,0126	1,0660	0,0254	2612,9531	1,2885	7,9333	0,0508	7,4218	1,0252	1,0241	0,6432	24	8
2661,886	2666,656	0,0990	0,0159	1,0835	0,0238	2705,1376	1,2873	7,9607	0,0476	7,5960	1,0272	1,0262	0,6939	25	9
2748,389	2753,33	0,1008	0,0196	1,1030	0,0219	2785,5456	1,2864	7,9830	0,0437	7,7187	1,0290	1,0281	0,7415	26	10
2822,702	2827,775	0,1027	0,0237	1,1245	0,0197	2853,5741	1,2857	8,0007	0,0394	7,7893	1,0307	1,0299	0,7852	27	11
2884,446	2889,616	0,1049	0,0282	1,1480	0,0174	2909,0675	1,2851	8,0144	0,0347	7,8088	1,0323	1,0315	0,8245	28	12
2933,689	2938,924	0,1072	0,0331	1,1735	0,0150	2952,2929	1,2847	8,0245	0,0300	7,7803	1,0336	1,0330	0,8593	29	13
2970,897	2976,17	0,1097	0,0383	1,2010	0,0127	2983,8892	1,2844	8,0315	0,0253	7,7080	1,0348	1,0342	0,8892	30	14
2996,881	3002,166	0,1124	0,0439	1,2305	0,0104	3004,7952	1,2843	8,0360	0,0209	7,5970	1,0358	1,0353	0,9146	31	15
3012,709	3017,986	0,1153	0,0499	1,2619	0,0084	3016,1653	1,2842	8,0382	0,0168	7,4534	1,0366	1,0362	0,9355	32	16
3019,621	3024,871	0,1183	0,0562	1,2953	0,0066	3019,2792	1,2841	8,0387	0,0132	7,2832	1,0373	1,0370	0,9523	33	17
3018,937	3024,146	0,1216	0,0630	1,3305	0,0051	3015,4559	1,2842	8,0377	0,0102	7,0924	1,0378	1,0375	0,9655	34	18
3011,975	3017,131	0,1250	0,0700	1,3677	0,0038	3005,9790	1,2843	8,0355	0,0076	6,8866	1,0382	1,0380	0,9757	35	19
2999,983	3005,077	0,1285	0,0775	1,4068	0,0028	2992,0367	1,2844	8,0324	0,0055	6,6708	1,0385	1,0384	0,9833	36	20
2984,09	2989,115	0,1323	0,0853	1,4478	0,0019	2974,6818	1,2846	8,0286	0,0039	6,4493	1,0387	1,0386	0,9888	37	21
2965,273	2970,223	0,1362	0,0934	1,4905	0,0013	2954,8095	1,2847	8,0243	0,0027	6,2257	1,0389	1,0388	0,9927	38	22
2944,346	2949,217	0,1403	0,1019	1,5352	0,0009	2933,1526	1,2849	8,0195	0,0018	6,0027	1,0390	1,0389	0,9953	39	23
2921,96	2926,75	0,1445	0,1108	1,5816	0,0006	2910,2901	1,2851	8,0145	0,0012	5,7826	1,0390	1,0390	0,9971	40	24
2898,62	2903,328	0,1489	0,1200	1,6298	0,0004	2886,6637	1,2853	8,0092	0,0007	5,5670	1,0391	1,0391	0,9983	41	25
2874,707	2879,331	0,1535	0,1295	1,6797	0,0002	2862,6010	1,2856	8,0038	0,0004	5,3570	1,0391	1,0391	0,9990	42	26

Таблица А5 - Результаты теплового расчета двигателя с пьезофорсункой при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Температура предполагаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	$\Delta X1-2$	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
729,7056	729,7056	0,1228	0,0683	1,3585	0,0000	733,4085			0,0000	1,6330	1,0000	1,0000	0,0000	0	-19
737,1113	737,1113	0,1195	0,0614	1,3222	0,0000	740,9918	1,3636	6,5009	0,0001	1,6948	1,0000	1,0000	0,0000	1	-18
744,8723	744,8725	0,1164	0,0548	1,2878	0,0001	749,1339	1,3625	6,5172	0,0002	1,7584	1,0000	1,0000	0,0001	2	-17
753,3955	753,396	0,1135	0,0486	1,2553	0,0003	758,2874	1,3614	6,5344	0,0005	1,8247	1,0000	1,0000	0,0003	3	-16
763,1793	763,1803	0,1107	0,0428	1,2247	0,0005	768,9882	1,3601	6,5536	0,0010	1,8946	1,0000	1,0000	0,0008	4	-15
774,7972	774,7992	0,1081	0,0373	1,1959	0,0008	781,8396	1,3587	6,5756	0,0016	1,9697	1,0001	1,0000	0,0017	5	-14
788,8821	788,8858	0,1057	0,0322	1,1691	0,0012	797,4953	1,3570	6,6015	0,0025	2,0516	1,0001	1,0001	0,0033	6	-13
806,1086	806,1152	0,1034	0,0275	1,1442	0,0018	816,6407	1,3551	6,6322	0,0036	2,1422	1,0002	1,0002	0,0058	7	-12
827,1729	827,1843	0,1014	0,0231	1,1213	0,0025	839,9716	1,3528	6,6687	0,0049	2,2434	1,0004	1,0003	0,0094	8	-11
852,7703	852,7897	0,0995	0,0191	1,1003	0,0033	868,1707	1,3502	6,7115	0,0065	2,3573	1,0006	1,0005	0,0143	9	-10
883,5712	883,6029	0,0977	0,0155	1,0813	0,0042	901,8832	1,3472	6,7609	0,0084	2,4860	1,0008	1,0007	0,0208	10	-9
920,1952	920,2456	0,0962	0,0123	1,0643	0,0053	941,6913	1,3438	6,8171	0,0105	2,6312	1,0011	1,0010	0,0292	11	-8
963,1873	963,2644	0,0948	0,0094	1,0493	0,0065	988,0904	1,3402	6,8794	0,0129	2,7948	1,0016	1,0013	0,0397	12	-7
1012,994	1013,108	0,0937	0,0069	1,0362	0,0078	1041,4672	1,3363	6,9473	0,0155	2,9778	1,0021	1,0018	0,0527	13	-6
1069,941	1070,104	0,0927	0,0048	1,0252	0,0092	1102,0790	1,3322	7,0196	0,0184	3,1810	1,0027	1,0024	0,0682	14	-5
1134,217	1134,441	0,0918	0,0031	1,0161	0,0107	1170,0369	1,3281	7,0951	0,0214	3,4045	1,0034	1,0030	0,0866	15	-4
1205,857	1206,154	0,0912	0,0017	1,0091	0,0123	1245,2905	1,3240	7,1724	0,0245	3,6478	1,0042	1,0038	0,1080	16	-3
1284,724	1285,106	0,0907	0,0008	1,0040	0,0139	1327,6157	1,3200	7,2501	0,0277	3,9096	1,0052	1,0047	0,1325	17	-2
1370,507	1370,983	0,0905	0,0002	1,0010	0,0155	1416,6065	1,3161	7,3270	0,0309	4,1877	1,0063	1,0057	0,1602	18	-1
1462,706	1463,282	0,0904	0,0000	1,0000	0,0170	1511,6699	1,3124	7,4019	0,0341	4,4792	1,0075	1,0069	0,1911	19	0
1560,634	1561,313	0,0905	0,0002	1,0010	0,0185	1612,0269	1,3089	7,4738	0,0370	4,7805	1,0088	1,0081	0,2252	20	1
1663,42	1664,203	0,0907	0,0008	1,0040	0,0199	1716,7195	1,3057	7,5419	0,0398	5,0872	1,0103	1,0095	0,2622	21	2
1770,019	1770,902	0,0912	0,0017	1,0091	0,0211	1824,6251	1,3028	7,6058	0,0422	5,3944	1,0118	1,0110	0,3020	22	3
1879,231	1880,21	0,0918	0,0031	1,0161	0,0221	1934,4791	1,3001	7,6649	0,0443	5,6967	1,0135	1,0126	0,3442	23	4
1989,727	1990,795	0,0927	0,0048	1,0252	0,0229	2044,9056	1,2977	7,7191	0,0458	5,9885	1,0152	1,0143	0,3885	24	5
2100,084	2101,232	0,0937	0,0069	1,0362	0,0234	2154,4554	1,2955	7,7683	0,0468	6,2641	1,0170	1,0161	0,4343	25	6

Продолжение таблицы А5

2208,827	2210,046	0,0948	0,0094	1,0493	0,0236	2261,6508	1,2936	7,8125	0,0473	6,5181	1,0188	1,0179	0,4811	26	7
2314,475	2315,757	0,0962	0,0123	1,0643	0,0235	2365,0344	1,2919	7,8517	0,0471	6,7455	1,0207	1,0197	0,5284	27	8
2415,594	2416,929	0,0977	0,0155	1,0813	0,0231	2463,2205	1,2904	7,8863	0,0463	6,9419	1,0225	1,0216	0,5754	28	9
2510,847	2512,227	0,0995	0,0191	1,1003	0,0224	2554,9448	1,2892	7,9164	0,0448	7,1036	1,0243	1,0234	0,6217	29	10
2599,042	2600,458	0,1014	0,0231	1,1213	0,0214	2639,1105	1,2881	7,9422	0,0429	7,2282	1,0261	1,0252	0,6665	30	11
2679,179	2680,623	0,1034	0,0275	1,1442	0,0202	2714,8283	1,2872	7,9640	0,0404	7,3139	1,0277	1,0269	0,7094	31	12
2750,478	2751,945	0,1057	0,0322	1,1691	0,0187	2781,4451	1,2864	7,9822	0,0375	7,3604	1,0293	1,0285	0,7498	32	13
2812,412	2813,895	0,1081	0,0373	1,1959	0,0171	2838,5627	1,2858	7,9970	0,0343	7,3683	1,0308	1,0301	0,7873	33	14
2864,713	2866,206	0,1107	0,0428	1,2247	0,0154	2886,0425	1,2854	8,0088	0,0308	7,3392	1,0321	1,0315	0,8215	34	15
2907,372	2908,87	0,1135	0,0486	1,2553	0,0136	2923,9975	1,2850	8,0179	0,0273	7,2756	1,0333	1,0327	0,8524	35	16
2940,623	2942,123	0,1164	0,0548	1,2878	0,0119	2952,7717	1,2847	8,0245	0,0237	7,1808	1,0344	1,0339	0,8796	36	17
2964,92	2966,417	0,1195	0,0614	1,3222	0,0101	2972,9087	1,2845	8,0289	0,0203	7,0585	1,0353	1,0349	0,9033	37	18
2980,897	2982,388	0,1228	0,0683	1,3585	0,0085	2985,1117	1,2844	8,0316	0,0170	6,9128	1,0361	1,0357	0,9236	38	19
2989,326	2990,808	0,1262	0,0755	1,3966	0,0070	2990,1988	1,2844	8,0326	0,0140	6,7479	1,0368	1,0365	0,9406	39	20
2991,071	2992,541	0,1298	0,0832	1,4365	0,0057	2989,0562	1,2844	8,0322	0,0113	6,5679	1,0373	1,0371	0,9547	40	21
2987,041	2988,498	0,1336	0,0911	1,4783	0,0045	2982,5933	1,2845	8,0307	0,0090	6,3769	1,0378	1,0376	0,9660	41	22
2978,146	2979,587	0,1375	0,0994	1,5218	0,0035	2971,7025	1,2846	8,0283	0,0070	6,1784	1,0381	1,0380	0,9750	42	23
2965,259	2966,684	0,1416	0,1080	1,5671	0,0026	2957,2255	1,2847	8,0250	0,0053	5,9756	1,0384	1,0383	0,9819	43	24
2949,192	2950,599	0,1459	0,1170	1,6142	0,0020	2939,9285	1,2849	8,0212	0,0039	5,7714	1,0386	1,0385	0,9872	44	25
2930,665	2932,054	0,1503	0,1263	1,6629	0,0014	2920,4858	1,2850	8,0169	0,0029	5,5679	1,0388	1,0387	0,9912	45	26
2910,306	2911,677	0,1549	0,1359	1,7134	0,0010	2899,4728	1,2852	8,0122	0,0020	5,3670	1,0389	1,0388	0,9940	46	27
2888,639	2889,991	0,1596	0,1458	1,7655	0,0007	2877,3654	1,2854	8,0071	0,0014	5,1702	1,0390	1,0389	0,9960	47	28
2866,092	2867,424	0,1644	0,1561	1,8193	0,0005	2854,5460	1,2856	8,0019	0,0009	4,9785	1,0390	1,0390	0,9974	48	29
2843,001	2844,313	0,1694	0,1666	1,8747	0,0003	2831,3133	1,2859	7,9965	0,0006	4,7926	1,0390	1,0390	0,9984	49	30
2819,626	2820,92	0,1746	0,1775	1,9317	0,0002	2807,8943	1,2861	7,9910	0,0004	4,6130	1,0391	1,0391	0,9990	50	31

Таблица А6 - Результаты теплового расчета двигателя с пьезофорсункой при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Температура предполагаемая, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
696,551	696,5511	0,1500	0,1080	1,5671	0,0000	700,3764			0,0000	1,2760	1,0000	1,0000	0,0000	0	-24
704,202	704,2017	0,1457	0,0994	1,5218	0,0000	708,1321	1,3685	6,4272	0,0000	1,3284	1,0000	1,0000	0,0000	1	-23
712,063	712,0627	0,1415	0,0911	1,4783	0,0000	716,2092	1,3673	6,4450	0,0001	1,3828	1,0000	1,0000	0,0000	2	-22
720,356	720,3562	0,1375	0,0832	1,4365	0,0001	724,8651	1,3661	6,4632	0,0002	1,4396	1,0000	1,0000	0,0001	3	-21
729,374	729,375	0,1337	0,0755	1,3966	0,0002	734,4251	1,3648	6,4824	0,0005	1,4993	1,0000	1,0000	0,0003	4	-20
739,476	739,4771	0,1300	0,0683	1,3585	0,0004	745,2760	1,3634	6,5033	0,0008	1,5627	1,0000	1,0000	0,0008	5	-19
751,076	751,0785	0,1266	0,0614	1,3222	0,0006	757,8591	1,3619	6,5266	0,0013	1,6308	1,0001	1,0000	0,0016	6	-18
764,642	764,6459	0,1233	0,0548	1,2878	0,0010	772,6618	1,3602	6,5530	0,0019	1,7047	1,0001	1,0001	0,0029	7	-17
780,682	780,688	0,1202	0,0486	1,2553	0,0014	790,2075	1,3582	6,5833	0,0027	1,7857	1,0002	1,0002	0,0049	8	-16
799,733	799,7438	0,1172	0,0428	1,2247	0,0019	811,0434	1,3560	6,6183	0,0037	1,8752	1,0003	1,0002	0,0076	9	-15
822,353	822,3701	0,1145	0,0373	1,1959	0,0024	835,7265	1,3535	6,6583	0,0049	1,9748	1,0004	1,0004	0,0113	10	-14
849,1	849,1263	0,1119	0,0322	1,1691	0,0031	864,8080	1,3506	6,7038	0,0063	2,0862	1,0006	1,0005	0,0162	11	-13
880,516	880,5581	0,1095	0,0275	1,1442	0,0039	898,8161	1,3475	6,7551	0,0079	2,2109	1,0009	1,0008	0,0225	12	-12
917,116	917,18	0,1073	0,0231	1,1213	0,0048	938,2392	1,3441	6,8118	0,0097	2,3506	1,0012	1,0010	0,0304	13	-11
959,363	959,4583	0,1053	0,0191	1,1003	0,0058	983,5084	1,3405	6,8738	0,0117	2,5067	1,0016	1,0014	0,0401	14	-10
1007,65	1007,794	0,1035	0,0155	1,0813	0,0070	1034,9805	1,3367	6,9403	0,0139	2,6803	1,0020	1,0018	0,0518	15	-9
1062,31	1062,504	0,1019	0,0123	1,0643	0,0081	1092,9225	1,3328	7,0104	0,0163	2,8725	1,0026	1,0023	0,0657	16	-8
1123,54	1123,81	0,1004	0,0094	1,0493	0,0094	1157,4969	1,3288	7,0833	0,0188	3,0836	1,0032	1,0029	0,0819	17	-7
1191,46	1191,82	0,0992	0,0069	1,0362	0,0108	1228,7478	1,3248	7,1577	0,0215	3,3137	1,0039	1,0036	0,1008	18	-6
1266,04	1266,516	0,0981	0,0048	1,0252	0,0122	1306,5888	1,3209	7,2325	0,0243	3,5621	1,0048	1,0044	0,1223	19	-5
1347,14	1347,743	0,0973	0,0031	1,0161	0,0136	1390,7925	1,3171	7,3068	0,0271	3,8278	1,0057	1,0053	0,1466	20	-4
1434,45	1435,199	0,0966	0,0017	1,0091	0,0150	1480,9825	1,3135	7,3796	0,0299	4,1087	1,0068	1,0063	0,1737	21	-3
1527,52	1528,431	0,0961	0,0008	1,0040	0,0163	1576,6277	1,3101	7,4499	0,0327	4,4024	1,0080	1,0074	0,2037	22	-2
1625,74	1626,824	0,0958	0,0002	1,0010	0,0177	1677,0419	1,3069	7,5171	0,0353	4,7057	1,0092	1,0086	0,2364	23	-1
1728,35	1729,613	0,0957	0,0000	1,0000	0,0189	1781,3874	1,3039	7,5807	0,0377	5,0146	1,0106	1,0099	0,2717	24	0
1834,43	1835,881	0,0958	0,0002	1,0010	0,0199	1888,6850	1,3012	7,6402	0,0399	5,3249	1,0121	1,0113	0,3094	25	1

Продолжение таблицы А6

1942,94	1944,579	0,0961	0,0008	1,0040	0,0209	1997,8299	1,2987	7,6955	0,0417	5,6316	1,0136	1,0129	0,3493	26	2
2052,72	2054,539	0,0966	0,0017	1,0091	0,0216	2107,6149	1,2965	7,7463	0,0432	5,9297	1,0153	1,0145	0,3910	27	3
2162,51	2164,507	0,0973	0,0031	1,0161	0,0221	2216,7592	1,2944	7,7926	0,0441	6,2139	1,0170	1,0161	0,4342	28	4
2271,01	2273,17	0,0981	0,0048	1,0252	0,0223	2323,9433	1,2926	7,8344	0,0446	6,4791	1,0187	1,0178	0,4783	29	5
2376,88	2379,196	0,0992	0,0069	1,0362	0,0223	2427,8481	1,2910	7,8719	0,0446	6,7203	1,0204	1,0195	0,5230	30	6
2478,82	2481,275	0,1004	0,0094	1,0493	0,0220	2527,1968	1,2896	7,9051	0,0441	6,9333	1,0222	1,0213	0,5676	31	7
2575,58	2578,161	0,1019	0,0123	1,0643	0,0215	2620,7974	1,2884	7,9343	0,0430	7,1143	1,0239	1,0230	0,6117	32	8
2666,02	2668,713	0,1035	0,0155	1,0813	0,0207	2707,5831	1,2874	7,9596	0,0414	7,2602	1,0256	1,0247	0,6546	33	9
2749,15	2751,938	0,1053	0,0191	1,1003	0,0197	2786,6494	1,2865	7,9813	0,0394	7,3691	1,0272	1,0264	0,6961	34	10
2824,15	2827,021	0,1073	0,0231	1,1213	0,0185	2857,2837	1,2857	7,9997	0,0369	7,4400	1,0287	1,0279	0,7354	35	11
2890,42	2893,351	0,1095	0,0275	1,1442	0,0171	2918,9875	1,2851	8,0149	0,0341	7,4728	1,0302	1,0294	0,7723	36	12
2947,56	2950,542	0,1119	0,0322	1,1691	0,0155	2971,4884	1,2846	8,0273	0,0311	7,4684	1,0315	1,0308	0,8064	37	13
2995,42	2998,438	0,1145	0,0373	1,1959	0,0140	3014,7414	1,2842	8,0371	0,0279	7,4287	1,0327	1,0321	0,8375	38	14
3034,06	3037,107	0,1172	0,0428	1,2247	0,0123	3048,9192	1,2839	8,0445	0,0247	7,3562	1,0338	1,0332	0,8655	39	15
3063,77	3066,828	0,1202	0,0486	1,2553	0,0107	3074,3928	1,2837	8,0499	0,0215	7,2541	1,0348	1,0343	0,8901	40	16
3085,01	3088,067	0,1233	0,0548	1,2878	0,0092	3091,7031	1,2836	8,0534	0,0183	7,1260	1,0356	1,0352	0,9116	41	17
3098,39	3101,441	0,1266	0,0614	1,3222	0,0077	3101,5260	1,2835	8,0553	0,0154	6,9759	1,0363	1,0359	0,9299	42	18
3104,66	3107,688	0,1300	0,0683	1,3585	0,0064	3104,6340	1,2835	8,0558	0,0127	6,8077	1,0369	1,0366	0,9454	43	19
3104,61	3107,617	0,1337	0,0755	1,3966	0,0052	3101,8554	1,2835	8,0551	0,0103	6,6253	1,0374	1,0372	0,9581	44	20
3099,1	3102,077	0,1375	0,0832	1,4365	0,0041	3094,0360	1,2835	8,0534	0,0082	6,4324	1,0378	1,0376	0,9684	45	21
3088,97	3091,914	0,1415	0,0911	1,4783	0,0032	3082,0044	1,2837	8,0509	0,0064	6,2325	1,0381	1,0380	0,9766	46	22
3075,04	3077,942	0,1457	0,0994	1,5218	0,0024	3066,5432	1,2838	8,0477	0,0049	6,0285	1,0384	1,0383	0,9830	47	23
3058,05	3060,912	0,1500	0,1080	1,5671	0,0018	3048,3667	1,2839	8,0439	0,0037	5,8231	1,0386	1,0385	0,9879	48	24
3038,68	3041,504	0,1545	0,1170	1,6142	0,0013	3028,1072	1,2841	8,0397	0,0027	5,6184	1,0387	1,0386	0,9916	49	25
3017,53	3020,305	0,1592	0,1263	1,6629	0,0010	3006,3073	1,2843	8,0351	0,0019	5,4163	1,0388	1,0388	0,9942	50	26
2995,08	2997,813	0,1640	0,1359	1,7134	0,0007	2983,4199	1,2845	8,0303	0,0013	5,2181	1,0389	1,0389	0,9961	51	27
2971,76	2974,437	0,1690	0,1458	1,7655	0,0005	2959,8125	1,2847	8,0252	0,0009	5,0248	1,0389	1,0389	0,9975	52	28
2947,87	2950,504	0,1741	0,1561	1,8193	0,0003	2935,7754	1,2849	8,0200	0,0006	4,8372	1,0390	1,0390	0,9984	53	29
2923,68	2926,268	0,1794	0,1666	1,8747	0,0002	2911,5321	1,2851	8,0147	0,0004	4,6558	1,0390	1,0390	0,9990	54	30

Таблица А7 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВАЗ с распределенным впрыском при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
767,5393	767,5393	0,11538	0,0439	1,2085	9,3E-07	770,6636			1,9E-06	1,824	1	1	0	0	-15
773,7878	773,7878	0,11283	0,0383	1,1819	1,5E-05	776,935	1,3585	6,5784	3E-05	1,88033	1	1	1,87E-06	1	-14
780,0822	780,0822	0,11046	0,0331	1,157	6,8E-05	783,4272	1,3577	6,591	0,00014	1,93639	1	1	3,2E-05	2	-13
786,7722	786,7721	0,10825	0,0282	1,1339	0,00019	790,5722	1,3569	6,6039	0,00038	1,99277	1	1	0,000169	3	-12
794,3722	794,3719	0,10622	0,0237	1,1126	0,00041	798,9664	1,356	6,618	0,00082	2,05053	1	1	0,000549	4	-11
803,5607	803,5602	0,10436	0,0196	1,0932	0,00076	809,3673	1,355	6,6343	0,00152	2,11125	1,0001	1	0,001369	5	-10
815,1739	815,1729	0,10268	0,0159	1,0755	0,00127	822,6824	1,3537	6,6543	0,00254	2,17701	1,0001	1,0001	0,002889	6	-9
830,1908	830,1892	0,10117	0,0126	1,0597	0,00197	839,9493	1,3522	6,6794	0,00394	2,25042	1,0003	1,0002	0,005428	7	-8
849,7079	849,7052	0,09984	0,0096	1,0457	0,00288	862,304	1,3502	6,7111	0,00577	2,33446	1,0005	1,0004	0,009366	8	-7
874,9001	874,8957	0,09868	0,0071	1,0336	0,00404	890,9353	1,3478	6,7507	0,00808	2,43245	1,0008	1,0006	0,015135	9	-6
906,9706	906,9637	0,0977	0,0049	1,0234	0,00545	927,0292	1,3449	6,7994	0,01091	2,54778	1,0012	1,001	0,023217	10	-5
947,0879	947,0775	0,0969	0,0031	1,015	0,00714	971,7012	1,3414	6,8575	0,01427	2,68378	1,0017	1,0014	0,034127	11	-4
996,3145	996,2995	0,09627	0,0018	1,0084	0,00908	1025,923	1,3376	6,9249	0,01816	2,84337	1,0024	1,0021	0,048397	12	-3
1055,532	1055,511	0,09583	0,0008	1,0037	0,01128	1090,449	1,3333	7,0007	0,02255	3,02885	1,0033	1,0029	0,066558	13	-2
1125,366	1125,337	0,09556	0,0002	1,0009	0,01369	1165,739	1,3288	7,0833	0,02737	3,24157	1,0045	1,0039	0,089109	14	-1
1206,112	1206,075	0,09547	0	1	0,01627	1251,894	1,3241	7,1705	0,03253	3,48173	1,0059	1,0052	0,116484	15	0
1297,675	1297,627	0,09556	0,0002	1,0009	0,01894	1348,593	1,3195	7,2602	0,03788	3,74813	1,0075	1,0067	0,149015	16	1
1399,512	1399,451	0,09583	0,0008	1,0037	0,02162	1455,053	1,315	7,3497	0,04323	4,03803	1,0094	1,0084	0,186894	17	2
1510,595	1510,518	0,09627	0,0018	1,0084	0,02419	1569,996	1,3107	7,4369	0,04838	4,34708	1,0116	1,0105	0,230128	18	3
1629,397	1629,301	0,0969	0,0031	1,015	0,02654	1691,652	1,3067	7,52	0,05307	4,66932	1,014	1,0128	0,278508	19	4
1753,907	1753,789	0,0977	0,0049	1,0234	0,02852	1817,795	1,3032	7,5973	0,05705	4,99735	1,0167	1,0153	0,331579	20	5
1881,682	1881,541	0,09868	0,0071	1,0336	0,03003	1945,813	1,2999	7,6679	0,06006	5,3226	1,0195	1,0181	0,388626	21	6
2009,944	2009,775	0,09984	0,0096	1,0457	0,03094	2072,828	1,2971	7,7311	0,06187	5,63572	1,0226	1,021	0,448681	22	7
2135,711	2135,514	0,10117	0,0126	1,0597	0,03116	2195,841	1,2947	7,7865	0,06233	5,92712	1,0257	1,0241	0,510554	23	8
2255,97	2255,745	0,10268	0,0159	1,0755	0,03066	2311,92	1,2927	7,8341	0,06132	6,1876	1,0288	1,0272	0,572881	24	9
2367,869	2367,616	0,10436	0,0196	1,0932	0,02943	2418,389	1,2909	7,8741	0,05886	6,409	1,0319	1,0303	0,634205	25	10

Продолжение таблицы А7

2468,909	2468,63	0,10622	0,0237	1,1126	0,02752	2513,013	1,2896	7,9069	0,05505	6,58477	1,0348	1,0334	0,693068	26	11
2557,117	2556,815	0,10825	0,0282	1,1339	0,02504	2594,151	1,2885	7,933	0,05009	6,71053	1,0376	1,0362	0,748117	27	12
2631,185	2630,863	0,11046	0,0331	1,157	0,02213	2660,861	1,2876	7,9531	0,04427	6,78435	1,0401	1,0389	0,798203	28	13
2690,538	2690,202	0,11283	0,0383	1,1819	0,01897	2712,94	1,287	7,9678	0,03795	6,80684	1,0423	1,0412	0,842472	29	14
2735,342	2734,994	0,11538	0,0439	1,2085	0,01574	2750,884	1,2866	7,978	0,03149	6,78094	1,0443	1,0433	0,880418	30	15
2766,427	2766,072	0,11809	0,0499	1,237	0,01262	2775,795	1,2864	7,9844	0,02525	6,71158	1,0458	1,045	0,911906	31	16
2785,163	2784,805	0,12097	0,0562	1,2671	0,00976	2789,222	1,2862	7,9875	0,01953	6,60509	1,0471	1,0465	0,937155	32	17
2793,281	2792,923	0,12402	0,063	1,2991	0,00727	2792,981	1,2862	7,9882	0,01453	6,46851	1,0481	1,0476	0,956681	33	18
2792,68	2792,324	0,12723	0,07	1,3327	0,00519	2788,966	1,2862	7,987	0,01039	6,309	1,0488	1,0485	0,971215	34	19
2785,253	2784,901	0,13061	0,0775	1,3681	0,00356	2778,993	1,2864	7,9844	0,00712	6,13329	1,0493	1,0491	0,981604	35	20
2772,733	2772,387	0,13414	0,0853	1,4051	0,00233	2764,668	1,2865	7,9807	0,00466	5,94726	1,0497	1,0495	0,988721	36	21
2756,603	2756,265	0,13784	0,0934	1,4438	0,00146	2747,327	1,2867	7,9764	0,00291	5,75575	1,0499	1,0498	0,993382	37	22
2738,05	2737,719	0,14169	0,1019	1,4842	0,00087	2728,006	1,2869	7,9715	0,00173	5,56254	1,0501	1,05	0,996294	38	23
2717,962	2717,639	0,1457	0,1108	1,5262	0,00049	2707,466	1,2871	7,9663	0,00098	5,37038	1,0502	1,0501	0,998024	39	24
2696,97	2696,655	0,14987	0,12	1,5698	0,00026	2686,233	1,2873	7,9609	0,00052	5,1812	1,0502	1,0502	0,999	40	25

Таблица А8 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВАЗ с распределенным впрыском при $n = 2600 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	$\alpha X1-2$	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
722,1388	722,1388	0,13471	0,07749	1,36807	0,00000	725,6195			0,00000	1,46976	1	1	0	0	-20
729,1003	729,1002	0,13123	0,07005	1,33271	0,00001	732,5823	1,36470	6,48392	0,00001	1,52330	1	1	6E-07	1	-19
736,0643	736,0641	0,12792	0,06296	1,29907	0,00002	739,6163	1,36370	6,49908	0,00005	1,57768	1	1	1E-05	2	-18
743,1683	743,1679	0,12478	0,05624	1,26715	0,00007	746,8975	1,36270	6,51421	0,00014	1,63304	1	1	6E-05	3	-17
750,6268	750,626	0,12180	0,04989	1,23696	0,00016	754,6808	1,36168	6,52967	0,00031	1,68968	1	1	0,0002	4	-16
758,7348	758,7335	0,11901	0,04390	1,20853	0,00030	763,3022	1,36062	6,54600	0,00059	1,74813	1	1	0,0005	5	-15
767,8696	767,8676	0,11638	0,03829	1,18187	0,00051	773,1798	1,35946	6,56385	0,00101	1,80912	1,0001	1	0,0011	6	-14
778,49	778,4869	0,11393	0,03305	1,15699	0,00080	784,8112	1,35817	6,58397	0,00159	1,87366	1,0001	1,0001	0,0021	7	-13
791,1325	791,1279	0,11166	0,02819	1,13391	0,00119	798,7684	1,35668	6,60724	0,00237	1,94298	1,0002	1,0001	0,0037	8	-12

Продолжение таблицы А8

806,4043	806,3974	0,10956	0,02371	1,11263	0,00169	815,6878	1,35495	6,63454	0,00337	2,01856	1,0003	1,0002	0,0061	9	-11
824,9714	824,9614	0,10764	0,01961	1,09316	0,00231	836,2573	1,35294	6,66676	0,00463	2,10211	1,0005	1,0004	0,0095	10	-10
847,5431	847,5286	0,10591	0,01590	1,07552	0,00308	861,1967	1,35059	6,70465	0,00615	2,19548	1,0007	1,0006	0,0141	11	-9
874,8503	874,8295	0,10435	0,01257	1,05971	0,00399	891,2354	1,34790	6,74882	0,00797	2,30063	1,001	1,0009	0,0202	12	-8
907,6205	907,5916	0,10298	0,00963	1,04574	0,00505	927,0849	1,34485	6,79960	0,01010	2,41953	1,0014	1,0012	0,0282	13	-7
946,5492	946,5097	0,10178	0,00708	1,03363	0,00627	969,4086	1,34147	6,85698	0,01255	2,55403	1,0019	1,0017	0,0383	14	-6
992,268	992,2156	0,10077	0,00492	1,02336	0,00765	1018,79	1,33780	6,92060	0,01530	2,70576	1,0026	1,0023	0,0509	15	-5
1045,312	1045,245	0,09994	0,00315	1,01496	0,00918	1075,7	1,33391	6,98972	0,01836	2,87600	1,0033	1,003	0,0662	16	-4
1106,088	1106,004	0,09930	0,00177	1,00842	0,01084	1140,464	1,32985	7,06330	0,02168	3,06552	1,0043	1,0038	0,0845	17	-3
1174,84	1174,741	0,09884	0,00079	1,00374	0,01261	1213,231	1,32573	7,14005	0,02522	3,27450	1,0054	1,0048	0,1062	18	-2
1251,623	1251,509	0,09856	0,00020	1,00094	0,01446	1293,947	1,32162	7,21853	0,02893	3,50240	1,0066	1,006	0,1314	19	-1
1336,272	1336,147	0,09847	0,00000	1,00000	0,01636	1382,327	1,31760	7,29730	0,03272	3,74785	1,0081	1,0074	0,1603	20	0
1428,382	1428,251	0,09856	0,00020	1,00094	0,01825	1477,836	1,31373	7,37496	0,03650	4,00866	1,0098	1,0089	0,1931	21	1
1527,29	1527,158	0,09884	0,00079	1,00374	0,02008	1579,678	1,31007	7,45026	0,04016	4,28169	1,0116	1,0107	0,2296	22	2
1632,066	1631,94	0,09930	0,00177	1,00842	0,02179	1686,791	1,30665	7,52215	0,04357	4,56300	1,0136	1,0126	0,2697	23	3
1741,516	1741,403	0,09994	0,00315	1,01496	0,02331	1797,861	1,30350	7,58978	0,04661	4,84780	1,0159	1,0147	0,3133	24	4
1854,205	1854,11	0,10077	0,00492	1,02336	0,02457	1911,342	1,30064	7,65252	0,04915	5,13068	1,0182	1,017	0,3599	25	5
1968,479	1968,409	0,10178	0,00708	1,03363	0,02553	2025,503	1,29806	7,70995	0,05105	5,40572	1,0207	1,0195	0,4091	26	6
2082,526	2082,484	0,10298	0,00963	1,04574	0,02611	2138,479	1,29578	7,76182	0,05222	5,66679	1,0233	1,022	0,4601	27	7
2194,433	2194,422	0,10435	0,01257	1,05971	0,02628	2248,35	1,29377	7,80804	0,05256	5,90775	1,0259	1,0246	0,5123	28	8
2302,267	2302,289	0,10591	0,01590	1,07552	0,02601	2353,217	1,29203	7,84865	0,05202	6,12285	1,0286	1,0273	0,5649	29	9
2404,166	2404,22	0,10764	0,01961	1,09316	0,02530	2451,295	1,29054	7,88379	0,05060	6,30695	1,0312	1,0299	0,6169	30	10
2498,423	2498,509	0,10956	0,02371	1,11263	0,02416	2541,001	1,28928	7,91370	0,04833	6,45585	1,0338	1,0325	0,6675	31	11
2583,579	2583,693	0,11166	0,02819	1,13391	0,02264	2621,034	1,28824	7,93868	0,04528	6,56654	1,0362	1,035	0,7159	32	12
2658,49	2658,629	0,11393	0,03305	1,15699	0,02079	2690,441	1,28739	7,95907	0,04158	6,63732	1,0385	1,0374	0,7611	33	13
2722,391	2722,551	0,11638	0,03829	1,18187	0,01870	2748,656	1,28673	7,97527	0,03739	6,66792	1,0406	1,0396	0,8027	34	14
2774,92	2775,098	0,11901	0,04390	1,20853	0,01644	2795,523	1,28622	7,98769	0,03289	6,65945	1,0425	1,0416	0,8401	35	15
2816,125	2816,317	0,12180	0,04989	1,23696	0,01413	2831,281	1,28585	7,99677	0,02826	6,61431	1,0442	1,0433	0,873	36	16
2846,436	2846,637	0,12478	0,05624	1,26715	0,01185	2856,525	1,28560	8,00292	0,02370	6,53595	1,0456	1,0449	0,9013	37	17
2866,613	2866,82	0,12792	0,06296	1,29907	0,00968	2872,142	1,28545	8,00658	0,01937	6,42861	1,0468	1,0462	0,9249	38	18
2877,671	2877,88	0,13123	0,07005	1,33271	0,00771	2879,233	1,28538	8,00813	0,01541	6,29704	1,0478	1,0473	0,9443	39	19
2880,794	2881,004	0,13471	0,07749	1,36807	0,00596	2879,021	1,28539	8,00796	0,01192	6,14613	1,0486	1,0482	0,9597	40	20
2877,248	2877,455	0,13836	0,08529	1,40511	0,00448	2872,768	1,285454	8,00638	0,00895	5,98068	1,0492	1,0489	0,9716	41	21

Продолжение таблицы А8

2868,288	2868,491	0,14217	0,09344	1,44382	0,00326	2861,692	1,285563	8,00371	0,00652	5,80510	1,0496	1,0494	0,9806	42	22
2855,097	2855,294	0,14615	0,10194	1,48419	0,00230	2846,911	1,285706	8,00020	0,00459	5,62333	1,0499	1,0498	0,9871	43	23
2838,725	2838,917	0,15029	0,11078	1,52619	0,00156	2829,395	1,285876	7,99604	0,00313	5,43866	1,0502	1,0501	0,9917	44	24
2820,066	2820,25	0,15458	0,11996	1,56981	0,00103	2809,953	1,286065	7,99141	0,00206	5,25377	1,0503	1,0503	0,9948	45	25
2799,84	2800,017	0,15903	0,12948	1,61501	0,00065	2789,224	1,286269	7,98645	0,00130	5,07072	1,0504	1,0504	0,9969	46	26
2778,607	2778,776	0,16364	0,13932	1,66178	0,00040	2767,695	1,286482	7,98124	0,00079	4,89101	1,0505	1,0505	0,9982	47	27
2756,782	2756,943	0,16840	0,14950	1,71010	0,00023	2745,721	1,286703	7,97586	0,00046	4,71570	1,0505	1,0505	0,999	48	28

Таблица А9 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВАЗ с распределенным впрыском при $n = 3700 \text{ мин}^{-1}$

Температура предполагаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
697,7438	697,7438	0,1509	0,1019	1,4842	1,1E-07	701,3135			2,27E-07	1,26777	1	1	0	0	-23
704,8833	704,8834	0,1468	0,0934	1,4438	2,1E-06	708,4559	1,36837	6,42938	4,24E-06	1,31655	1	1	2,27E-07	1	-22
712,0284	712,0289	0,1429	0,0853	1,4051	1,1E-05	715,6357	1,36726	6,44569	2,11E-05	1,36654	1	1	4,47E-06	2	-21
719,2429	719,2441	0,1391	0,0775	1,3681	3,1E-05	722,9387	1,36618	6,46185	6,25E-05	1,41776	1	1	2,56E-05	3	-20
726,6344	726,6367	0,1355	0,07	1,3327	7,1E-05	730,4958	1,36509	6,47807	0,000142	1,47033	1	1	8,8E-05	4	-19
734,3573	734,361	0,1321	0,063	1,2991	0,00014	738,4864	1,36399	6,49463	0,000273	1,52446	1,00001	1,00001	0,00023	5	-18
742,6156	742,6214	0,1288	0,0562	1,2671	0,00024	747,1402	1,36285	6,5119	0,000473	1,58046	1,00003	1,00002	0,000503	6	-17
751,6647	751,6732	0,1258	0,0499	1,237	0,00038	756,7382	1,36164	6,53032	0,000757	1,63879	1,00005	1,00004	0,000976	7	-16
761,8117	761,8237	0,1229	0,0439	1,2085	0,00057	767,6131	1,36033	6,55043	0,001141	1,70004	1,00009	1,00007	0,001733	8	-15
773,4144	773,4312	0,1202	0,0383	1,1819	0,00082	780,1466	1,35889	6,5728	0,001643	1,76496	1,00015	1,00012	0,002873	9	-14
786,8787	786,9019	0,1176	0,0331	1,157	0,00114	794,7665	1,35727	6,59804	0,00228	1,83445	1,00023	1,00019	0,004517	10	-13
802,6543	802,686	0,1153	0,0282	1,1339	0,00153	811,9408	1,35544	6,62678	0,003069	1,90953	1,00034	1,00029	0,006797	11	-12
821,2272	821,2707	0,1131	0,0237	1,1126	0,00201	832,1692	1,35338	6,6596	0,004025	1,99138	1,0005	1,00042	0,009866	12	-11
843,1112	843,1706	0,1111	0,0196	1,0932	0,00258	855,9735	1,35106	6,697	0,005163	2,08127	1,0007	1,0006	0,01389	13	-10
868,8358	868,9165	0,1094	0,0159	1,0755	0,00325	883,8841	1,34847	6,73935	0,006496	2,18051	1,00097	1,00084	0,019053	14	-9
898,9323	899,042	0,1077	0,0126	1,0597	0,00402	916,4257	1,34561	6,78687	0,008033	2,29044	1,0013	1,00113	0,025549	15	-8
933,9191	934,0671	0,1063	0,0096	1,0457	0,00489	954,1014	1,34249	6,83954	0,009782	2,41234	1,0017	1,0015	0,033582	16	-7

Продолжение таблицы А9

974,2837	974,4823	0,1051	0,0071	1,0336	0,00587	997,3748	1,33915	6,89715	0,011744	2,54737	1,0022	1,00195	0,043364	17	-6
1020,466	1020,73	0,104	0,0049	1,0234	0,00696	1046,652	1,33561	6,95923	0,013915	2,69649	1,00279	1,0025	0,055108	18	-5
1072,839	1073,186	0,1032	0,0031	1,015	0,00814	1102,265	1,33194	7,02511	0,016287	2,8604	1,0035	1,00315	0,069023	19	-4
1131,691	1132,143	0,1025	0,0018	1,0084	0,00942	1164,451	1,32819	7,09397	0,018842	3,03943	1,00433	1,00391	0,08531	20	-3
1197,21	1197,788	0,1021	0,0008	1,0037	0,01078	1233,336	1,32442	7,16483	0,021556	3,23351	1,00528	1,0048	0,104153	21	-2
1269,462	1270,19	0,1018	0,0002	1,0009	0,0122	1308,919	1,32068	7,23669	0,024393	3,44208	1,00638	1,00583	0,125709	22	-1
1348,376	1349,279	0,1017	0	1	0,01366	1391,054	1,31703	7,30854	0,02731	3,66407	1,00761	1,00699	0,150101	23	0
1433,732	1434,832	0,1018	0,0002	1,0009	0,01513	1479,439	1,31351	7,3794	0,030256	3,89782	1,009	1,00831	0,177412	24	1
1525,146	1526,464	0,1021	0,0008	1,0037	0,01658	1573,602	1,31015	7,44841	0,033167	4,14114	1,01053	1,00977	0,207668	25	2
1622,059	1623,612	0,1025	0,0018	1,0084	0,01799	1672,897	1,30699	7,51481	0,035975	4,39126	1,01221	1,01137	0,240835	26	3
1723,736	1725,538	0,1032	0,0031	1,015	0,0193	1776,502	1,30404	7,57798	0,038604	4,64489	1,01404	1,01313	0,27681	27	4
1829,269	1831,326	0,104	0,0049	1,0234	0,02049	1883,425	1,30132	7,63744	0,040974	4,89829	1,016	1,01502	0,315414	28	5
1937,581	1939,895	0,1051	0,0071	1,0336	0,0215	1992,515	1,29883	7,69283	0,043006	5,14738	1,01808	1,01704	0,356389	29	6
2047,45	2050,019	0,1063	0,0096	1,0457	0,02231	2102,491	1,29656	7,74391	0,04462	5,3878	1,02026	1,01917	0,399394	30	7
2157,532	2160,347	0,1077	0,0126	1,0597	0,02287	2211,966	1,29453	7,79056	0,045748	5,61515	1,02252	1,02139	0,444015	31	8
2266,4	2269,449	0,1094	0,0159	1,0755	0,02317	2319,492	1,29271	7,83274	0,046331	5,82507	1,02484	1,02368	0,489763	32	9
2372,584	2375,849	0,1111	0,0196	1,0932	0,02316	2423,603	1,2911	7,87047	0,046325	6,01344	1,02719	1,02601	0,536094	33	10
2474,623	2478,085	0,1131	0,0237	1,1126	0,02285	2522,871	1,28969	7,90386	0,045708	6,17659	1,02954	1,02836	0,582419	34	11
2571,119	2574,758	0,1153	0,0282	1,1339	0,02224	2615,956	1,28847	7,93306	0,044479	6,31139	1,03186	1,0307	0,628127	35	12
2660,793	2664,584	0,1176	0,0331	1,157	0,02133	2701,662	1,28743	7,95824	0,042662	6,41545	1,03411	1,03299	0,672606	36	13
2742,532	2746,452	0,1202	0,0383	1,1819	0,02015	2778,986	1,28655	7,97963	0,040307	6,48721	1,03628	1,0352	0,715267	37	14
2815,44	2819,466	0,1229	0,0439	1,2085	0,01874	2847,157	1,28582	7,99749	0,037486	6,52599	1,03832	1,0373	0,755574	38	15
2878,873	2882,981	0,1258	0,0499	1,237	0,01715	2905,666	1,28522	8,01207	0,034294	6,53204	1,04022	1,03927	0,79306	39	16
2932,458	2936,627	0,1288	0,0562	1,2671	0,01542	2954,283	1,28475	8,02365	0,030837	6,50648	1,04196	1,04109	0,827354	40	17
2976,107	2980,317	0,1321	0,063	1,2991	0,01362	2993,056	1,28439	8,03252	0,027234	6,45123	1,04353	1,04274	0,858191	41	18
3010,005	3014,238	0,1355	0,07	1,3327	0,0118	3022,297	1,28413	8,03897	0,023604	6,36892	1,04491	1,04422	0,885426	42	19
3034,589	3038,829	0,1391	0,0775	1,3681	0,01003	3042,551	1,28396	8,04327	0,020058	6,26267	1,0461	1,04551	0,909029	43	20
3050,512	3054,744	0,1429	0,0853	1,4051	0,00835	3054,553	1,28386	8,04572	0,016697	6,136	1,04712	1,04661	0,929087	44	21
3058,595	3062,806	0,1468	0,0934	1,4438	0,0068	3059,182	1,28383	8,04658	0,013604	5,99256	1,04797	1,04755	0,945784	45	22
3059,769	3063,95	0,1509	0,1019	1,4842	0,00542	3057,399	1,28385	8,04609	0,010837	5,83603	1,04866	1,04831	0,959388	46	23
3055,028	3059,169	0,1552	0,1108	1,5262	0,00422	3050,198	1,28391	8,04448	0,008433	5,66991	1,04921	1,04893	0,970225	47	24
3045,368	3049,462	0,1596	0,12	1,5698	0,0032	3038,555	1,28401	8,04195	0,006403	5,49746	1,04964	1,04942	0,978658	48	25
3031,743	3035,784	0,1642	0,1295	1,615	0,00237	3023,386	1,28414	8,0387	0,004738	5,32152	1,04996	1,0498	0,98506	49	26

Продолжение таблицы А9

3015,028	3019,014	0,169	0,1393	1,6618	0,00171	3005,513	1,2843	8,03488	0,003415	5,14455	1,0502	1,05008	0,989799	50	27
2995,997	2999,922	0,1739	0,1495	1,7101	0,0012	2985,65	1,28447	8,03062	0,002393	4,96855	1,05037	1,05029	0,993213	51	28
2975,303	2979,166	0,1789	0,16	1,7599	0,00081	2964,392	1,28466	8,02604	0,001629	4,79511	1,0505	1,05043	0,995606	52	29
2953,481	2957,281	0,1842	0,1708	1,8113	0,00054	2942,217	1,28485	8,02121	0,001076	4,62541	1,05058	1,05054	0,997235	53	30
2930,953	2934,689	0,1895	0,1819	1,8641	0,00034	2919,496	1,28505	8,0162	0,000689	4,46031	1,05063	1,05061	0,998311	54	31
2908,04	2911,712	0,195	0,1933	1,9184	0,00021	2896,508	1,28526	8,01108	0,000427	4,30039	1,05067	1,05065	0,999	55	32

Таблица А10 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВАЗ с распределенным впрыском при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	$\Delta X1-2$	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
665,307	665,307	0,166	0,1295	1,615	6E-08	668,86			1,2E-07	1,09876	1	1	0	0	-26
672,413	672,413	0,1614	0,12	1,5698	1,2E-06	675,982	1,37367	6,352278	2,42E-06	1,14247	1	1	1,2E-07	1	-25
679,551	679,553	0,1569	0,1108	1,5262	6,3E-06	683,157	1,37246	6,369642	1,26E-05	1,1876	1	1	2,54E-06	2	-24
686,763	686,767	0,1526	0,1019	1,4842	1,9E-05	690,442	1,37127	6,386886	3,85E-05	1,23417	1	1	1,51E-05	3	-23
694,12	694,127	0,1484	0,0934	1,4438	4,5E-05	697,923	1,37009	6,404142	8,95E-05	1,28227	1	1,000002	5,36E-05	4	-22
701,726	701,738	0,1444	0,0853	1,4051	8,8E-05	705,726	1,36889	6,421613	0,000176	1,33205	1,00001	1,000005	0,000143	5	-21
709,726	709,744	0,1406	0,0775	1,3681	0,00015	714,014	1,36768	6,439572	0,00031	1,38374	1,00002	1,000012	0,000319	6	-20
718,302	718,327	0,137	0,07	1,3327	0,00025	722,99	1,36641	6,458358	0,000503	1,43764	1,00003	1,000024	0,000629	7	-19
727,677	727,713	0,1335	0,063	1,2991	0,00038	732,898	1,36507	6,478379	0,000768	1,49418	1,00006	1,000045	0,001131	8	-18
738,118	738,167	0,1303	0,0562	1,2671	0,00056	744,024	1,36363	6,500095	0,001118	1,55388	1,0001	1,000077	0,001899	9	-17
749,931	749,996	0,1272	0,0499	1,237	0,00078	756,696	1,36206	6,524012	0,001568	1,61738	1,00015	1,000125	0,003017	10	-16
763,461	763,549	0,1242	0,0439	1,2085	0,00107	771,276	1,36032	6,550655	0,002132	1,68545	1,00023	1,000194	0,004586	11	-15
779,091	779,207	0,1215	0,0383	1,1819	0,00141	788,162	1,35839	6,580553	0,002822	1,75899	1,00034	1,000288	0,006717	12	-14
797,234	797,388	0,1189	0,0331	1,157	0,00183	807,78	1,35624	6,614198	0,003653	1,83896	1,00049	1,000414	0,00954	13	-13
818,327	818,529	0,1166	0,0282	1,1339	0,00232	830,574	1,35386	6,652018	0,004638	1,92647	1,00067	1,000579	0,013193	14	-12
842,822	843,088	0,1144	0,0237	1,1126	0,00289	857,002	1,35123	6,694334	0,005786	2,02265	1,00091	1,00079	0,017831	15	-11
871,181	871,527	0,1124	0,0196	1,0932	0,00355	887,517	1,34835	6,74133	0,007108	2,12868	1,0012	1,001055	0,023617	16	-10
903,854	904,303	0,1106	0,0159	1,0755	0,00431	922,566	1,34524	6,793022	0,008611	2,2457	1,00156	1,001383	0,030725	17	-9

Продолжение таблицы А10

941,278	941,856	0,1089	0,0126	1,0597	0,00515	962,566	1,34192	6,84924	0,010298	2,37479	1,002	1,001783	0,039335	18	-8
983,854	984,592	0,1075	0,0096	1,0457	0,00609	1007,9	1,33843	6,909623	0,012171	2,51691	1,00253	1,002265	0,049634	19	-7
1031,94	1032,87	0,1063	0,0071	1,0336	0,00711	1058,89	1,3348	6,973634	0,014224	2,67282	1,00315	1,002837	0,061805	20	-6
1085,83	1087	0,1052	0,0049	1,0234	0,00822	1115,79	1,33109	7,040583	0,016447	2,843	1,00387	1,003508	0,076029	21	-5
1145,75	1147,2	0,1043	0,0031	1,015	0,00941	1178,79	1,32735	7,109667	0,018826	3,02765	1,00471	1,004289	0,092476	22	-4
1211,83	1213,6	0,1037	0,0018	1,0084	0,01067	1247,97	1,32362	7,180014	0,021336	3,22656	1,00567	1,005187	0,111301	23	-3
1284,11	1286,24	0,1032	0,0008	1,0037	0,01197	1323,3	1,31996	7,25073	0,023948	3,4391	1,00675	1,006209	0,132637	24	-2
1362,48	1365,03	0,1029	0,0002	1,0009	0,01331	1404,61	1,31641	7,320947	0,026624	3,66418	1,00797	1,007362	0,156585	25	-1
1446,75	1449,74	0,1028	0	1	0,01466	1491,64	1,313	7,389852	0,02932	3,90018	1,00933	1,008649	0,18321	26	0
1536,54	1540,01	0,1029	0,0002	1,0009	0,01599	1583,95	1,30975	7,456723	0,031982	4,14502	1,01082	1,010073	0,21253	27	1
1631,36	1635,34	0,1032	0,0008	1,0037	0,01728	1680,95	1,3067	7,520939	0,034552	4,39607	1,01245	1,011634	0,244512	28	2
1730,55	1735,05	0,1037	0,0018	1,0084	0,01848	1781,92	1,30386	7,581995	0,036966	4,65027	1,01421	1,013327	0,279064	29	3
1833,3	1838,34	0,1043	0,0031	1,015	0,01958	1885,99	1,30123	7,639496	0,039156	4,90414	1,01609	1,015148	0,31603	30	4
1938,67	1944,24	0,1052	0,0049	1,0234	0,02053	1992,12	1,29881	7,693154	0,041054	5,15388	1,01808	1,017085	0,355186	31	5
2045,58	2051,67	0,1063	0,0071	1,0336	0,0213	2099,2	1,29661	7,74278	0,042593	5,39546	1,02017	1,019127	0,39624	32	6
2152,83	2159,43	0,1075	0,0096	1,0457	0,02186	2206	1,29463	7,788268	0,043713	5,62475	1,02234	1,021256	0,438833	33	7
2259,16	2266,24	0,1089	0,0126	1,0597	0,02218	2311,21	1,29284	7,82959	0,044359	5,8377	1,02457	1,023453	0,482546	34	8
2363,26	2370,78	0,1106	0,0159	1,0755	0,02225	2413,53	1,29126	7,866776	0,044493	6,0304	1,02682	1,025695	0,526905	35	9
2463,79	2471,72	0,1124	0,0196	1,0932	0,02204	2511,64	1,28986	7,89991	0,044088	6,19935	1,02909	1,027957	0,571399	36	10
2559,49	2567,79	0,1144	0,0237	1,1126	0,02157	2604,33	1,28864	7,929118	0,043138	6,34149	1,03133	1,030211	0,615487	37	11
2649,16	2657,77	0,1166	0,0282	1,1339	0,02083	2690,44	1,28758	7,954562	0,041655	6,4544	1,03353	1,032432	0,658625	38	12
2731,72	2740,61	0,1189	0,0331	1,157	0,01984	2769,01	1,28668	7,976429	0,039673	6,53641	1,03565	1,03459	0,70028	39	13
2806,29	2815,4	0,1215	0,0383	1,1819	0,01862	2839,23	1,28592	7,994931	0,037246	6,58659	1,03767	1,03666	0,739953	40	14
2872,17	2881,46	0,1242	0,0439	1,2085	0,01722	2900,53	1,28529	8,010296	0,034445	6,60487	1,03957	1,038618	0,777199	41	15
2928,9	2938,32	0,1272	0,0499	1,237	0,01568	2952,58	1,28479	8,022765	0,031359	6,59199	1,04132	1,040443	0,811644	42	16
2976,26	2985,79	0,1303	0,0562	1,2671	0,01404	2995,28	1,28439	8,032587	0,028084	6,54944	1,04292	1,042118	0,843003	43	17
3014,3	3023,88	0,1335	0,063	1,2991	0,01236	3028,78	1,28409	8,040016	0,024723	6,47939	1,04435	1,043631	0,871087	44	18
3043,26	3052,86	0,137	0,07	1,3327	0,01069	3053,44	1,28388	8,045306	0,021377	6,38457	1,0456	1,044975	0,89581	45	19
3063,62	3073,22	0,1406	0,0775	1,3681	0,00907	3069,84	1,28374	8,048706	0,01814	6,26809	1,04669	1,046149	0,917187	46	20
3076,05	3085,61	0,1444	0,0853	1,4051	0,00755	3078,68	1,28367	8,050458	0,015095	6,13334	1,04762	1,047154	0,935327	47	21
3081,31	3090,82	0,1484	0,0934	1,4438	0,00615	3080,8	1,28366	8,050792	0,012306	5,98378	1,04838	1,048	0,950422	48	22
3080,28	3089,71	0,1526	0,1019	1,4842	0,00491	3077,08	1,28369	8,049927	0,00982	5,82282	1,04901	1,048698	0,962728	49	23
3073,88	3083,22	0,1569	0,1108	1,5262	0,00383	3068,44	1,28377	8,04806	0,007663	5,65371	1,04951	1,049261	0,972548	50	24

Продолжение таблицы А10

3063,01	3072,23	0,1614	0,12	1,5698	0,00292	3055,76	1,28387	8,045372	0,005842	5,47938	1,0499	1,049706	0,980211	51	25
3048,52	3057,64	0,166	0,1295	1,615	0,00217	3039,87	1,28401	8,042024	0,004347	5,30244	1,0502	1,05005	0,986053	52	26
3031,23	3040,21	0,1708	0,1393	1,6618	0,00158	3021,52	1,28417	8,038155	0,003154	5,12509	1,05042	1,050309	0,9904	53	27
3011,81	3020,66	0,1758	0,1495	1,7101	0,00111	3001,34	1,28434	8,033881	0,002228	4,94915	1,05058	1,0505	0,993554	54	28
2990,86	2999,58	0,1809	0,16	1,7599	0,00077	2979,87	1,28452	8,029302	0,001532	4,77605	1,05069	1,050637	0,995782	55	29
2968,88	2977,46	0,1862	0,1708	1,8113	0,00051	2957,56	1,28472	8,024495	0,001023	4,60686	1,05077	1,050733	0,997314	56	30
2946,24	2954,68	0,1916	0,1819	1,8641	0,00033	2934,74	1,28492	8,019522	0,000663	4,44236	1,05082	1,050798	0,998337	57	31
2923,24	2931,55	0,1972	0,1933	1,9184	0,00021	2911,68	1,28513	8,014431	0,000417	4,28307	1,05086	1,050841	0,999	58	32

Таблица А11 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВА3 с распределенным впрыском при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участке темпре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кoeffи- циент мо- ле- кулярного изменения смеси	μ_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
652,08	652,08	0,1829	0,1495	1,7103	0,0000	655,6181			0,0000	0,9774	1,0000	1,0000	0,0000	0	-28
659,15	659,15	0,1777	0,1394	1,6620	0,0000	662,7089	1,3760	6,3193	0,0000	1,0168	1,0000	1,0000	0,0000	1	-27
666,26	666,27	0,1727	0,1295	1,6152	0,0000	669,8452	1,3747	6,3371	0,0000	1,0575	1,0000	1,0000	0,0000	2	-26
673,43	673,43	0,1679	0,1200	1,5700	0,0000	677,0474	1,3735	6,3547	0,0000	1,0997	1,0000	1,0000	0,0000	3	-25
680,67	680,68	0,1632	0,1108	1,5263	0,0000	684,3523	1,3723	6,3722	0,0001	1,1433	1,0000	1,0000	0,0000	4	-24
688,04	688,06	0,1587	0,1020	1,4843	0,0001	691,8151	1,3711	6,3898	0,0001	1,1884	1,0000	1,0000	0,0001	5	-23
695,59	695,62	0,1544	0,0935	1,4440	0,0001	699,5112	1,3699	6,4074	0,0002	1,2351	1,0000	1,0000	0,0002	6	-22
703,43	703,47	0,1503	0,0853	1,4052	0,0002	707,5375	1,3686	6,4253	0,0003	1,2834	1,0000	1,0000	0,0004	7	-21
711,65	711,70	0,1463	0,0775	1,3682	0,0002	716,0140	1,3674	6,4437	0,0005	1,3336	1,0000	1,0000	0,0007	8	-20
720,38	720,45	0,1425	0,0701	1,3328	0,0004	725,0841	1,3661	6,4629	0,0007	1,3859	1,0001	1,0000	0,0012	9	-19
729,79	729,88	0,1389	0,0630	1,2992	0,0005	734,9154	1,3648	6,4831	0,0010	1,4404	1,0001	1,0001	0,0019	10	-18
740,04	740,16	0,1355	0,0563	1,2672	0,0007	745,6995	1,3633	6,5045	0,0014	1,4976	1,0001	1,0001	0,0029	11	-17
751,36	751,51	0,1323	0,0499	1,2370	0,0009	757,6511	1,3618	6,5276	0,0018	1,5577	1,0002	1,0002	0,0043	12	-16
763,95	764,14	0,1293	0,0439	1,2086	0,0012	771,0064	1,3602	6,5527	0,0024	1,6213	1,0003	1,0003	0,0061	13	-15
778,07	778,31	0,1264	0,0383	1,1819	0,0015	786,0212	1,3584	6,5801	0,0031	1,6888	1,0004	1,0004	0,0085	14	-14
793,98	794,28	0,1237	0,0331	1,1570	0,0019	802,9669	1,3565	6,6101	0,0039	1,7608	1,0006	1,0005	0,0116	15	-13

Продолжение таблицы А11

811,96	812,33	0,1213	0,0282	1,1339	0,0024	822,1272	1,3544	6,6430	0,0048	1,8378	1,0008	1,0007	0,0154	16	-12
832,30	832,75	0,1190	0,0237	1,1127	0,0029	843,7918	1,3522	6,6790	0,0059	1,9205	1,0010	1,0009	0,0202	17	-11
855,29	855,85	0,1169	0,0196	1,0932	0,0035	868,2514	1,3498	6,7183	0,0071	2,0095	1,0013	1,0012	0,0261	18	-10
881,22	881,90	0,1150	0,0159	1,0755	0,0042	895,7899	1,3472	6,7610	0,0084	2,1053	1,0017	1,0015	0,0332	19	-9
910,36	911,19	0,1133	0,0126	1,0597	0,0050	926,6767	1,3444	6,8069	0,0099	2,2085	1,0021	1,0019	0,0416	20	-8
942,99	943,99	0,1118	0,0096	1,0458	0,0058	961,1589	1,3415	6,8560	0,0116	2,3197	1,0026	1,0024	0,0515	21	-7
979,33	980,53	0,1105	0,0071	1,0336	0,0067	999,4517	1,3385	6,9080	0,0134	2,4391	1,0032	1,0029	0,0632	22	-6
1019,58	1021,00	0,1094	0,0049	1,0234	0,0077	1041,7300	1,3354	6,9626	0,0154	2,5669	1,0039	1,0036	0,0766	23	-5
1063,88	1065,57	0,1085	0,0031	1,0150	0,0087	1088,1187	1,3323	7,0193	0,0175	2,7031	1,0047	1,0043	0,0920	24	-4
1112,35	1114,32	0,1078	0,0018	1,0084	0,0099	1138,6838	1,3291	7,0775	0,0197	2,8475	1,0056	1,0051	0,1095	25	-3
1165,01	1167,30	0,1073	0,0008	1,0037	0,0110	1193,4236	1,3259	7,1368	0,0220	2,9995	1,0066	1,0061	0,1292	26	-2
1221,83	1224,45	0,1070	0,0002	1,0009	0,0122	1252,2604	1,3228	7,1965	0,0244	3,1586	1,0077	1,0071	0,1512	27	-1
1282,69	1285,67	0,1069	0,0000	1,0000	0,0134	1315,0335	1,3197	7,2560	0,0268	3,3235	1,0089	1,0083	0,1756	28	0
1347,38	1350,74	0,1070	0,0002	1,0009	0,0146	1381,4930	1,3167	7,3147	0,0292	3,4929	1,0103	1,0096	0,2024	29	1
1415,61	1419,37	0,1073	0,0008	1,0037	0,0158	1451,2959	1,3139	7,3722	0,0315	3,6653	1,0118	1,0110	0,2316	30	2
1486,98	1491,15	0,1078	0,0018	1,0084	0,0169	1524,0041	1,3111	7,4278	0,0338	3,8387	1,0134	1,0126	0,2631	31	3
1561,02	1565,60	0,1085	0,0031	1,0150	0,0179	1599,0856	1,3086	7,4812	0,0358	4,0109	1,0151	1,0143	0,2968	32	4
1637,15	1642,14	0,1094	0,0049	1,0234	0,0189	1675,9189	1,3062	7,5321	0,0377	4,1797	1,0169	1,0160	0,3327	33	5
1714,69	1720,08	0,1105	0,0071	1,0336	0,0197	1753,8008	1,3039	7,5801	0,0393	4,3426	1,0189	1,0179	0,3704	34	6
1792,91	1798,70	0,1118	0,0096	1,0458	0,0203	1831,9582	1,3019	7,6250	0,0406	4,4971	1,0209	1,0199	0,4097	35	7
1871,01	1877,16	0,1133	0,0126	1,0597	0,0208	1909,5646	1,3000	7,6666	0,0415	4,6406	1,0229	1,0219	0,4503	36	8
1948,12	1954,63	0,1150	0,0159	1,0755	0,0210	1985,7594	1,2983	7,7049	0,0420	4,7709	1,0250	1,0240	0,4918	37	9
2023,39	2030,23	0,1169	0,0196	1,0932	0,0210	2059,6707	1,2967	7,7397	0,0421	4,8855	1,0272	1,0261	0,5338	38	10
2095,95	2103,08	0,1190	0,0237	1,1127	0,0209	2130,4411	1,2954	7,7712	0,0417	4,9826	1,0293	1,0283	0,5759	39	11
2164,94	2172,34	0,1213	0,0282	1,1339	0,0204	2197,2544	1,2941	7,7993	0,0409	5,0606	1,0314	1,0304	0,6176	40	12
2229,57	2237,21	0,1237	0,0331	1,1570	0,0198	2259,3626	1,2931	7,8240	0,0395	5,1181	1,0335	1,0325	0,6585	41	13
2289,15	2296,99	0,1264	0,0383	1,1819	0,0189	2316,1119	1,2922	7,8456	0,0378	5,1544	1,0355	1,0345	0,6980	42	14
2343,07	2351,07	0,1293	0,0439	1,2086	0,0178	2366,9656	1,2914	7,8641	0,0357	5,1692	1,0375	1,0365	0,7358	43	15
2390,86	2398,99	0,1323	0,0499	1,2370	0,0166	2411,5224	1,2907	7,8797	0,0332	5,1626	1,0393	1,0384	0,7715	44	16
2432,19	2440,42	0,1355	0,0563	1,2672	0,0152	2449,5302	1,2902	7,8925	0,0305	5,1352	1,0410	1,0401	0,8047	45	17
2466,87	2475,17	0,1389	0,0630	1,2992	0,0138	2480,8921	1,2897	7,9028	0,0276	5,0883	1,0425	1,0417	0,8352	46	18
2494,91	2503,25	0,1425	0,0701	1,3328	0,0123	2505,6657	1,2894	7,9108	0,0246	5,0232	1,0439	1,0432	0,8628	47	19
2516,42	2524,77	0,1463	0,0775	1,3682	0,0108	2524,0553	1,2892	7,9166	0,0215	4,9417	1,0452	1,0446	0,8874	48	20

Продолжение таблицы А11

2531,69	2540,03	0,1503	0,0853	1,4052	0,0093	2536,3967	1,2890	7,9204	0,0186	4,8459	1,0463	1,0457	0,9089	49	21
2541,10	2549,41	0,1544	0,0935	1,4440	0,0079	2543,1362	1,2889	7,9225	0,0157	4,7380	1,0472	1,0468	0,9275	50	22
2545,17	2553,42	0,1587	0,1020	1,4843	0,0065	2544,8055	1,2889	7,9231	0,0131	4,6202	1,0480	1,0476	0,9432	51	23
2544,44	2552,63	0,1632	0,1108	1,5263	0,0053	2541,9933	1,2889	7,9224	0,0107	4,4948	1,0487	1,0484	0,9563	52	24
2539,54	2547,65	0,1679	0,1200	1,5700	0,0043	2535,3165	1,2890	7,9205	0,0085	4,3639	1,0492	1,0490	0,9670	53	25
2531,09	2539,10	0,1727	0,1295	1,6152	0,0033	2525,3932	1,2891	7,9177	0,0067	4,2294	1,0497	1,0495	0,9755	54	26
2519,70	2527,60	0,1777	0,1394	1,6620	0,0026	2512,8180	1,2893	7,9141	0,0051	4,0933	1,0500	1,0498	0,9822	55	27
2505,94	2513,74	0,1829	0,1495	1,7103	0,0019	2498,1428	1,2894	7,9098	0,0038	3,9569	1,0503	1,0501	0,9873	56	28
2490,35	2498,03	0,1882	0,1600	1,7602	0,0014	2481,8622	1,2896	7,9050	0,0028	3,8216	1,0505	1,0504	0,9912	57	29
2473,38	2480,94	0,1937	0,1708	1,8115	0,0010	2464,4051	1,2899	7,8998	0,0020	3,6885	1,0506	1,0505	0,9940	58	30
2455,43	2462,87	0,1994	0,1820	1,8644	0,0007	2446,1318	1,2901	7,8943	0,0014	3,5583	1,0507	1,0507	0,9960	59	31
2436,83	2444,15	0,2052	0,1934	1,9186	0,0005	2427,3354	1,2903	7,8886	0,0010	3,4316	1,0508	1,0508	0,9974	60	32
2417,839	2425,03	0,2112	0,2051	1,9743	0,0003	2408,2471	1,2906	7,8827	0,0006	3,3089	1,0508	1,0508	0,9984	61	33
2398,66	2405,73	0,2173	0,2171	2,0314	0,0002	2389,0438	1,2908	7,8766	0,0004	3,1904	1,0509	1,0509	0,9990	62	34

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Таблица Б1 - расчетные значения перемещения, скорости и ускорения поршня при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$.

$S_x, \text{ мм}$	$V_x, \text{ м/с}$	$W_{x1}, \text{ м/с}^2$	$W_{x2}, \text{ м/с}^2$	$W_x, \text{ м/с}^2$	$j_{\text{кв}}, \text{ рад}$	$j_{\text{кв}}, \text{ град}$
0	0	13240,18	3491,4184	16731,6	0	0
0,738	4,939	13039,04	3280,8601	16319,9	0,1745	10
2,9156	9,635	12441,7	2674,5816	15116,3	0,3491	20
6,4271	13,87	11466,34	1745,7092	13212	0,5236	30
11,105	17,44	10142,57	606,27844	10748,8	0,6981	40
16,732	20,23	8510,626	-606,2784	7904,35	0,8727	50
23,057	22,13	6620,092	-1745,709	4874,38	1,0472	60
29,815	23,13	4528,41	-2674,582	1853,83	1,2217	70
36,738	23,25	2299,134	-3280,86	-981,726	1,3963	80
43,576	22,58	8,11E-13	-3491,418	-3491,42	1,5708	90
50,109	21,22	-2299,13	-3280,86	-5579,99	1,7453	100
56,15	19,3	-4528,41	-2674,582	-7202,99	1,9199	110
61,557	16,97	-6620,09	-1745,709	-8365,8	2,0944	120
66,226	14,36	-8510,63	-606,2784	-9116,9	2,2689	130
70,09	11,58	-10142,6	606,27844	-9536,29	2,4435	140
73,111	8,711	-11466,3	1745,7092	-9720,63	2,618	150
75,272	5,809	-12441,7	2674,5816	-9767,12	2,7925	160
76,568	2,902	-13039	3280,8601	-9758,18	2,9671	170
77	2E-15	-13240,2	3491,4184	-9748,77	3,1416	180
76,568	-2,902	-13039	3280,8601	-9758,18	3,3161	190
75,272	-5,809	-12441,7	2674,5816	-9767,12	3,4907	200
73,111	-8,711	-11466,3	1745,7092	-9720,63	3,6652	210
70,09	-11,58	-10142,6	606,27844	-9536,29	3,8397	220
66,226	-14,36	-8510,63	-606,2784	-9116,9	4,0143	230
61,557	-16,97	-6620,09	-1745,709	-8365,8	4,1888	240
56,15	-19,3	-4528,41	-2674,582	-7202,99	4,3633	250
50,109	-21,22	-2299,13	-3280,86	-5579,99	4,5379	260
43,576	-22,58	-2,4E-12	-3491,418	-3491,42	4,7124	270
36,738	-23,25	2299,134	-3280,86	-981,726	4,8869	280
29,815	-23,13	4528,41	-2674,582	1853,83	5,0615	290
23,057	-22,13	6620,092	-1745,709	4874,38	5,236	300
16,732	-20,23	8510,626	-606,2784	7904,35	5,4105	310
11,105	-17,44	10142,57	606,27844	10748,8	5,5851	320
6,4271	-13,87	11466,34	1745,7092	13212	5,7596	330
2,9156	-9,635	12441,7	2674,5816	15116,3	5,9341	340
0,738	-4,939	13039,04	3280,8601	16319,9	6,1087	350
3E-31	-7E-15	13240,18	3491,4184	16731,6	6,2832	360
0,738	4,939	13039,04	3280,8601	16319,9	6,4577	370
2,9156	9,635	12441,7	2674,5816	15116,3	6,6323	380

Продолжение таблицы Б1

6,4271	13,87	11466,34	1745,7092	13212	6,8068	390
11,105	17,44	10142,57	606,27844	10748,8	6,9813	400
16,732	20,23	8510,626	-606,2784	7904,35	7,1558	410
23,057	22,13	6620,092	-1745,709	4874,38	7,3304	420
29,815	23,13	4528,41	-2674,582	1853,83	7,5049	430
36,738	23,25	2299,134	-3280,86	-981,726	7,6794	440
43,576	22,58	4,06E-12	-3491,418	-3491,42	7,854	450
50,109	21,22	-2299,13	-3280,86	-5579,99	8,0285	460
56,15	19,3	-4528,41	-2674,582	-7202,99	8,203	470
61,557	16,97	-6620,09	-1745,709	-8365,8	8,3776	480
66,226	14,36	-8510,63	-606,2784	-9116,9	8,5521	490
70,09	11,58	-10142,6	606,27844	-9536,29	8,7266	500
73,111	8,711	-11466,3	1745,7092	-9720,63	8,9012	510
75,272	5,809	-12441,7	2674,5816	-9767,12	9,0757	520
76,568	2,902	-13039	3280,8601	-9758,18	9,2502	530
77	6E-15	-13240,2	3491,4184	-9748,77	9,4248	540
76,568	-2,902	-13039	3280,8601	-9758,18	9,5993	550
75,272	-5,809	-12441,7	2674,5816	-9767,12	9,7738	560
73,111	-8,711	-11466,3	1745,7092	-9720,63	9,9484	570
70,09	-11,58	-10142,6	606,27844	-9536,29	10,123	580
66,226	-14,36	-8510,63	-606,2784	-9116,9	10,297	590
61,557	-16,97	-6620,09	-1745,709	-8365,8	10,472	600
56,15	-19,3	-4528,41	-2674,582	-7202,99	10,647	610
50,109	-21,22	-2299,13	-3280,86	-5579,99	10,821	620
43,576	-22,58	-5,7E-12	-3491,418	-3491,42	10,996	630
36,738	-23,25	2299,134	-3280,86	-981,726	11,17	640
29,815	-23,13	4528,41	-2674,582	1853,83	11,345	650
23,057	-22,13	6620,092	-1745,709	4874,38	11,519	660
16,732	-20,23	8510,626	-606,2784	7904,35	11,694	670
11,105	-17,44	10142,57	606,27844	10748,8	11,868	680
6,4271	-13,87	11466,34	1745,7092	13212	12,043	690
2,9156	-9,635	12441,7	2674,5816	15116,3	12,217	700
0,738	-4,939	13039,04	3280,8601	16319,9	12,392	710
1E-30	-1E-14	13240,18	3491,4184	16731,6	12,566	720

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Таблица В1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя с шагом в 10 градусов ПКВ

Δp_r , МПа	W , м/с ²	p_j , МПа	p , МПа	$\text{tg}\beta$	p_N , МПа	$1/\cos\beta$	p_s , МПа	$\cos(\beta+\phi)/\cos\beta$	p_k , МПа	$\sin(\beta+\phi)/\cos\beta$	p_T , МПа	T , кН	$M_{кр.ц}$ Нм
0,005	15790,308	-1,741	-1,736	0,000	0,000	1,000	-1,736	1,000	-1,736	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,005	15389,285	-1,697	-1,701	0,051	-0,087	1,001	-1,704	0,976	-1,661	0,224	-0,381	-2,012	-71,417
-0,015	14216,981	-1,567	-1,582	0,101	-0,160	1,005	-1,590	0,905	-1,432	0,437	-0,691	-3,650	-129,565
-0,017	12365,152	-1,363	-1,380	0,148	-0,205	1,011	-1,395	0,792	-1,093	0,628	-0,867	-4,580	-162,585
-0,020	9976,061	-1,100	-1,120	0,192	-0,215	1,018	-1,140	0,643	-0,719	0,790	-0,884	-4,670	-165,781
-0,023	7227,788	-0,797	-0,820	0,231	-0,189	1,026	-0,841	0,466	-0,382	0,914	-0,749	-3,956	-140,454
-0,026	4316,093	-0,476	-0,502	0,263	-0,132	1,033	-0,518	0,272	-0,137	0,997	-0,500	-2,641	-93,752
-0,029	1434,935	-0,158	-0,187	0,287	-0,054	1,040	-0,194	0,072	-0,014	1,037	-0,194	-1,024	-36,358
-0,031	-1242,148	0,137	0,106	0,302	0,032	1,044	0,111	-0,123	-0,013	1,036	0,110	0,581	20,617
-0,031	-3577,678	0,394	0,364	0,307	0,111	1,045	0,380	-0,307	-0,111	0,999	0,363	1,918	68,101
-0,019	-5481,188	0,604	0,585	0,302	0,176	1,044	0,610	-0,470	-0,275	0,932	0,545	2,877	102,140
-0,019	-6914,315	0,762	0,743	0,287	0,213	1,040	0,772	-0,611	-0,454	0,841	0,625	3,299	117,119
-0,019	-7889,623	0,870	0,850	0,263	0,223	1,033	0,879	-0,727	-0,618	0,734	0,624	3,298	117,064
-0,019	-8463,447	0,933	0,914	0,231	0,211	1,026	0,937	-0,819	-0,748	0,618	0,564	2,980	105,785
-0,018	-8723,809	0,962	0,943	0,192	0,181	1,018	0,960	-0,889	-0,839	0,496	0,468	2,469	87,652
-0,017	-8775,028	0,967	0,950	0,148	0,141	1,011	0,960	-0,940	-0,893	0,372	0,353	1,864	66,175
-0,016	-8721,008	0,961	0,945	0,101	0,095	1,005	0,950	-0,974	-0,921	0,247	0,234	1,234	43,806
-0,014	-8649,357	0,954	0,939	0,051	0,048	1,001	0,940	-0,994	-0,933	0,123	0,116	0,612	21,729
-0,012	-8618,360	0,950	0,938	0,000	0,000	1,000	0,938	-1,000	-0,938	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,010	-8648,436	0,953	0,943	-0,051	-0,048	1,001	0,944	-0,994	-0,937	-0,123	-0,116	-0,615	-21,819
-0,008	-8719,166	0,961	0,953	-0,101	-0,096	1,005	0,958	-0,974	-0,928	-0,247	-0,236	-1,244	-44,168
-0,006	-8772,267	0,967	0,961	-0,148	-0,142	1,011	0,971	-0,940	-0,903	-0,372	-0,357	-1,885	-66,920

Продолжение таблицы В1

-0,004	-8720,127	0,961	0,957	-0,192	-0,184	1,018	0,974	-0,889	-0,851	-0,496	-0,474	-2,505	-88,915
-0,004	-8458,843	0,933	0,929	-0,231	-0,214	1,026	0,953	-0,819	-0,761	-0,618	-0,574	-3,030	-107,557
0,005	-7884,100	0,869	0,874	-0,263	-0,230	1,033	0,903	-0,727	-0,636	-0,734	-0,642	-3,390	-120,354
0,017	-6907,871	0,762	0,779	-0,287	-0,223	1,040	0,809	-0,611	-0,476	-0,841	-0,655	-3,458	-122,762
0,034	-5473,823	0,603	0,637	-0,302	-0,192	1,044	0,665	-0,470	-0,300	-0,932	-0,594	-3,135	-111,278
0,057	-3569,394	0,394	0,451	-0,307	-0,138	1,045	0,471	-0,307	-0,138	-0,999	-0,450	-2,377	-84,391
0,091	-1232,943	0,136	0,226	-0,302	-0,068	1,044	0,236	-0,123	-0,028	-1,036	-0,235	-1,239	-43,996
0,140	1445,060	-0,159	-0,020	-0,287	0,006	1,040	-0,020	0,072	-0,001	-1,037	0,020	0,108	3,818
0,214	4327,139	-0,477	-0,263	-0,263	0,069	1,033	-0,272	0,272	-0,072	-0,997	0,262	1,385	49,182
0,329	7239,753	-0,798	-0,469	-0,231	0,108	1,026	-0,481	0,466	-0,218	-0,914	0,429	2,263	80,344
0,513	9988,946	-1,101	-0,589	-0,192	0,113	1,018	-0,599	0,643	-0,378	-0,790	0,465	2,455	87,138
2,109	12378,957	-1,365	0,744	-0,148	-0,110	1,011	0,752	0,792	0,589	-0,628	-0,467	-2,468	-87,622
3,565	14231,705	-1,569	1,996	-0,101	-0,201	1,005	2,006	0,905	1,807	-0,437	-0,872	-4,605	-163,467
4,961	15404,929	-1,698	3,262	-0,051	-0,166	1,001	3,266	0,976	3,184	-0,224	-0,730	-3,857	-136,923
4,638	15806,872	-1,743	2,895	0,000	0,000	1,000	2,895	1,000	2,895	0,000	0,000	0,000	0,000
3,332	15405,845	-1,698	1,633	0,051	0,083	1,001	1,635	0,976	1,594	0,224	0,366	1,931	68,547
2,298	14911,691	-1,644	0,654	0,076	0,050	1,003	0,655	0,946	0,618	0,332	0,217	1,147	40,728
3,573	14233,538	-1,569	2,004	0,101	0,202	1,005	2,014	0,905	1,814	0,437	0,875	4,622	164,089
2,530	12381,706	-1,365	1,165	0,148	0,173	1,011	1,178	0,792	0,923	0,628	0,732	3,867	137,286
1,836	9992,612	-1,102	0,735	0,192	0,141	1,018	0,748	0,643	0,472	0,790	0,580	3,065	108,794
1,379	7244,336	-0,799	0,580	0,231	0,134	1,026	0,595	0,466	0,270	0,914	0,530	2,801	99,434
1,073	4332,637	-0,478	0,595	0,263	0,156	1,033	0,615	0,272	0,162	0,997	0,593	3,131	111,162
0,862	1451,475	-0,160	0,702	0,287	0,201	1,040	0,730	0,072	0,051	1,037	0,728	3,846	136,544
0,715	-1225,612	0,135	0,850	0,302	0,256	1,044	0,887	-0,123	-0,105	1,036	0,881	4,652	165,145
0,609	-3561,146	0,393	1,002	0,307	0,307	1,045	1,047	-0,307	-0,307	0,999	1,001	5,287	187,676
0,533	-5464,659	0,602	1,135	0,302	0,342	1,044	1,185	-0,470	-0,534	0,932	1,058	5,585	198,264
0,477	-6897,791	0,760	1,237	0,287	0,355	1,040	1,286	-0,611	-0,756	0,841	1,040	5,494	195,032
0,435	-7873,104	0,868	1,303	0,263	0,342	1,033	1,347	-0,727	-0,948	0,734	0,957	5,054	179,406
0,405	-8446,932	0,931	1,336	0,231	0,308	1,026	1,371	-0,819	-1,095	0,618	0,825	4,359	154,736

Продолжение таблицы В1

0,305	-8707,299	0,960	1,265	0,192	0,243	1,018	1,288	-0,889	-1,125	0,496	0,627	3,311	117,550
0,205	-8758,524	0,966	1,171	0,148	0,174	1,011	1,184	-0,940	-1,101	0,372	0,435	2,297	81,554
0,195	-8704,508	0,960	1,155	0,101	0,116	1,005	1,161	-0,974	-1,125	0,247	0,286	1,508	53,530
0,095	-8632,862	0,952	1,047	0,051	0,053	1,001	1,048	-0,994	-1,040	0,123	0,129	0,682	24,223
0,075	-8601,871	0,948	1,024	0,000	0,000	1,000	1,024	-1,000	-1,024	0,000	0,000	0,000	0,000
0,065	-8631,953	0,952	1,017	-0,051	-0,052	1,001	1,018	-0,994	-1,010	-0,123	-0,125	-0,663	-23,526
0,065	-8702,689	0,959	1,025	-0,101	-0,103	1,005	1,030	-0,974	-0,998	-0,247	-0,253	-1,338	-47,495
0,065	-8755,795	0,965	1,031	-0,148	-0,153	1,011	1,042	-0,940	-0,969	-0,372	-0,383	-2,022	-71,781
0,065	-8703,661	0,960	1,025	-0,192	-0,197	1,018	1,043	-0,889	-0,911	-0,496	-0,508	-2,682	-95,213
0,065	-8442,384	0,931	0,996	-0,231	-0,230	1,026	1,022	-0,819	-0,816	-0,618	-0,615	-3,248	-115,312
0,065	-7867,647	0,867	0,933	-0,263	-0,245	1,033	0,964	-0,727	-0,678	-0,734	-0,685	-3,616	-128,377
0,065	-6891,424	0,760	0,825	-0,287	-0,236	1,040	0,858	-0,611	-0,504	-0,841	-0,694	-3,664	-130,060
0,065	-5457,383	0,602	0,667	-0,302	-0,201	1,044	0,696	-0,470	-0,314	-0,932	-0,621	-3,280	-116,457
0,065	-3552,961	0,392	0,457	-0,307	-0,140	1,045	0,477	-0,307	-0,140	-0,999	-0,456	-2,410	-85,570
0,065	-1216,517	0,134	0,199	-0,302	-0,060	1,044	0,208	-0,123	-0,025	-1,036	-0,207	-1,091	-38,718
0,065	1461,479	-0,161	-0,096	-0,287	0,027	1,040	-0,100	0,072	-0,007	-1,037	0,099	0,525	18,653
0,065	4343,550	-0,479	-0,414	-0,263	0,109	1,033	-0,427	0,272	-0,113	-0,997	0,412	2,178	77,311
0,065	7256,157	-0,800	-0,735	-0,231	0,169	1,026	-0,754	0,466	-0,342	-0,914	0,672	3,547	125,911
0,065	10005,343	-1,103	-1,038	-0,192	0,199	1,018	-1,057	0,643	-0,667	-0,790	0,820	4,329	153,674
0,065	12395,345	-1,367	-1,301	-0,148	0,193	1,011	-1,316	0,792	-1,030	-0,628	0,818	4,319	153,317
0,065	14248,086	-1,571	-1,506	-0,101	0,152	1,005	-1,513	0,905	-1,363	-0,437	0,658	3,473	123,294
0,065	15421,302	-1,700	-1,635	-0,051	0,083	1,001	-1,637	0,976	-1,596	-0,224	0,366	1,933	68,627
0,064	15823,237	-1,745	-1,680	0,000	0,000	1,000	-1,680	1,000	-1,680	0,000	0,000	0,000	0,000
0,005	15790,308	-1,741	-1,736	0,000	0,000	1,000	-1,736	1,000	-1,736	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,005	15389,285	-1,697	-1,701	0,051	-0,087	1,001	-1,704	0,976	-1,661	0,224	-0,381	-2,012	-71,417
-0,015	14216,981	-1,567	-1,582	0,101	-0,160	1,005	-1,590	0,905	-1,432	0,437	-0,691	-3,650	-129,565
-0,017	12365,152	-1,363	-1,380	0,148	-0,205	1,011	-1,395	0,792	-1,093	0,628	-0,867	-4,580	-162,585
-0,020	9976,061	-1,100	-1,120	0,192	-0,215	1,018	-1,140	0,643	-0,719	0,790	-0,884	-4,670	-165,781
-0,023	7227,788	-0,797	-0,820	0,231	-0,189	1,026	-0,841	0,466	-0,382	0,914	-0,749	-3,956	-140,454

Продолжение таблицы В1

-0,026	4316,093	-0,476	-0,502	0,263	-0,132	1,033	-0,518	0,272	-0,137	0,997	-0,500	-2,641	-93,752
-0,029	1434,935	-0,158	-0,187	0,287	-0,054	1,040	-0,194	0,072	-0,014	1,037	-0,194	-1,024	-36,358
-0,031	-1242,148	0,137	0,106	0,302	0,032	1,044	0,111	-0,123	-0,013	1,036	0,110	0,581	20,617
-0,031	-3577,678	0,394	0,364	0,307	0,111	1,045	0,380	-0,307	-0,111	0,999	0,363	1,918	68,101
-0,019	-5481,188	0,604	0,585	0,302	0,176	1,044	0,610	-0,470	-0,275	0,932	0,545	2,877	102,140
-0,019	-6914,315	0,762	0,743	0,287	0,213	1,040	0,772	-0,611	-0,454	0,841	0,625	3,299	117,119
-0,019	-7889,623	0,870	0,850	0,263	0,223	1,033	0,879	-0,727	-0,618	0,734	0,624	3,298	117,064
-0,019	-8463,447	0,933	0,914	0,231	0,211	1,026	0,937	-0,819	-0,748	0,618	0,564	2,980	105,785
-0,018	-8723,809	0,962	0,943	0,192	0,181	1,018	0,960	-0,889	-0,839	0,496	0,468	2,469	87,652
-0,017	-8775,028	0,967	0,950	0,148	0,141	1,011	0,960	-0,940	-0,893	0,372	0,353	1,864	66,175
-0,016	-8721,008	0,961	0,945	0,101	0,095	1,005	0,950	-0,974	-0,921	0,247	0,234	1,234	43,806
-0,014	-8649,357	0,954	0,939	0,051	0,048	1,001	0,940	-0,994	-0,933	0,123	0,116	0,612	21,729
-0,012	-8618,360	0,950	0,938	0,000	0,000	1,000	0,938	-1,000	-0,938	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,010	-8648,436	0,953	0,943	-0,051	-0,048	1,001	0,944	-0,994	-0,937	-0,123	-0,116	-0,615	-21,819
-0,008	-8719,166	0,961	0,953	-0,101	-0,096	1,005	0,958	-0,974	-0,928	-0,247	-0,236	-1,244	-44,168
-0,006	-8772,267	0,967	0,961	-0,148	-0,142	1,011	0,971	-0,940	-0,903	-0,372	-0,357	-1,885	-66,920
-0,004	-8720,127	0,961	0,957	-0,192	-0,184	1,018	0,974	-0,889	-0,851	-0,496	-0,474	-2,505	-88,915
-0,004	-8458,843	0,933	0,929	-0,231	-0,214	1,026	0,953	-0,819	-0,761	-0,618	-0,574	-3,030	-107,557
0,005	-7884,100	0,869	0,874	-0,263	-0,230	1,033	0,903	-0,727	-0,636	-0,734	-0,642	-3,390	-120,354
0,017	-6907,871	0,762	0,779	-0,287	-0,223	1,040	0,809	-0,611	-0,476	-0,841	-0,655	-3,458	-122,762
0,034	-5473,823	0,603	0,637	-0,302	-0,192	1,044	0,665	-0,470	-0,300	-0,932	-0,594	-3,135	-111,278
0,057	-3569,394	0,394	0,451	-0,307	-0,138	1,045	0,471	-0,307	-0,138	-0,999	-0,450	-2,377	-84,391
0,091	-1232,943	0,136	0,226	-0,302	-0,068	1,044	0,236	-0,123	-0,028	-1,036	-0,235	-1,239	-43,996
0,140	1445,060	-0,159	-0,020	-0,287	0,006	1,040	-0,020	0,072	-0,001	-1,037	0,020	0,108	3,818
0,214	4327,139	-0,477	-0,263	-0,263	0,069	1,033	-0,272	0,272	-0,072	-0,997	0,262	1,385	49,182
0,329	7239,753	-0,798	-0,469	-0,231	0,108	1,026	-0,481	0,466	-0,218	-0,914	0,429	2,263	80,344
0,513	9988,946	-1,101	-0,589	-0,192	0,113	1,018	-0,599	0,643	-0,378	-0,790	0,465	2,455	87,138
2,109	12378,957	-1,365	0,744	-0,148	-0,110	1,011	0,752	0,792	0,589	-0,628	-0,467	-2,468	-87,622
3,565	14231,705	-1,569	1,996	-0,101	-0,201	1,005	2,006	0,905	1,807	-0,437	-0,872	-4,605	-163,467

Продолжение таблицы В1

4,961	15404,929	-1,698	3,262	-0,051	-0,166	1,001	3,266	0,976	3,184	-0,224	-0,730	-3,857	-136,923
4,638	15806,872	-1,743	2,895	0,000	0,000	1,000	2,895	1,000	2,895	0,000	0,000	0,000	0,000
3,332	15405,845	-1,698	1,633	0,051	0,083	1,001	1,635	0,976	1,594	0,224	0,366	1,931	68,547
2,298	14911,691	-1,644	0,654	0,076	0,050	1,003	0,655	0,946	0,618	0,332	0,217	1,147	40,728
3,573	14233,538	-1,569	2,004	0,101	0,202	1,005	2,014	0,905	1,814	0,437	0,875	4,622	164,089
2,530	12381,706	-1,365	1,165	0,148	0,173	1,011	1,178	0,792	0,923	0,628	0,732	3,867	137,286
1,836	9992,612	-1,102	0,735	0,192	0,141	1,018	0,748	0,643	0,472	0,790	0,580	3,065	108,794
1,379	7244,336	-0,799	0,580	0,231	0,134	1,026	0,595	0,466	0,270	0,914	0,530	2,801	99,434
1,073	4332,637	-0,478	0,595	0,263	0,156	1,033	0,615	0,272	0,162	0,997	0,593	3,131	111,162
0,862	1451,475	-0,160	0,702	0,287	0,201	1,040	0,730	0,072	0,051	1,037	0,728	3,846	136,544
0,715	-1225,612	0,135	0,850	0,302	0,256	1,044	0,887	-0,123	-0,105	1,036	0,881	4,652	165,145
0,609	-3561,146	0,393	1,002	0,307	0,307	1,045	1,047	-0,307	-0,307	0,999	1,001	5,287	187,676
0,533	-5464,659	0,602	1,135	0,302	0,342	1,044	1,185	-0,470	-0,534	0,932	1,058	5,585	198,264
0,477	-6897,791	0,760	1,237	0,287	0,355	1,040	1,286	-0,611	-0,756	0,841	1,040	5,494	195,032
0,435	-7873,104	0,868	1,303	0,263	0,342	1,033	1,347	-0,727	-0,948	0,734	0,957	5,054	179,406
0,405	-8446,932	0,931	1,336	0,231	0,308	1,026	1,371	-0,819	-1,095	0,618	0,825	4,359	154,736
0,305	-8707,299	0,960	1,265	0,192	0,243	1,018	1,288	-0,889	-1,125	0,496	0,627	3,311	117,550
0,205	-8758,524	0,966	1,171	0,148	0,174	1,011	1,184	-0,940	-1,101	0,372	0,435	2,297	81,554
0,195	-8704,508	0,960	1,155	0,101	0,116	1,005	1,161	-0,974	-1,125	0,247	0,286	1,508	53,530
0,095	-8632,862	0,952	1,047	0,051	0,053	1,001	1,048	-0,994	-1,040	0,123	0,129	0,682	24,223
0,075	-8601,871	0,948	1,024	0,000	0,000	1,000	1,024	-1,000	-1,024	0,000	0,000	0,000	0,000
0,065	-8631,953	0,952	1,017	-0,051	-0,052	1,001	1,018	-0,994	-1,010	-0,123	-0,125	-0,663	-23,526
0,065	-8702,689	0,959	1,025	-0,101	-0,103	1,005	1,030	-0,974	-0,998	-0,247	-0,253	-1,338	-47,495
0,065	-8755,795	0,965	1,031	-0,148	-0,153	1,011	1,042	-0,940	-0,969	-0,372	-0,383	-2,022	-71,781
0,065	-8703,661	0,960	1,025	-0,192	-0,197	1,018	1,043	-0,889	-0,911	-0,496	-0,508	-2,682	-95,213
0,065	-8442,384	0,931	0,996	-0,231	-0,230	1,026	1,022	-0,819	-0,816	-0,618	-0,615	-3,248	-115,312
0,065	-7867,647	0,867	0,933	-0,263	-0,245	1,033	0,964	-0,727	-0,678	-0,734	-0,685	-3,616	-128,377

Таблица В2 - Таблица крутящего момента двигателя с шагом в 10 градусов ПКВ

Цилиндры								
1-й		2-й		3-й		4-й		
$\Phi^{\circ}_{\text{КРИВОШ}}$	$M_{\text{кр.ц}}, \text{Нм}$	$M_{\text{кр.}}, \text{Нм}$						
0,0	0,0	180,0	0,0	360,0	0,0	540,0	0,0	0,0
10,0	-71,4	190,0	-21,8	370,0	68,5	550,0	-23,5	-48,2
20,0	-129,6	200,0	-44,2	380,0	164,1	560,0	-47,5	-57,1
30,0	-162,6	210,0	-66,9	390,0	137,3	570,0	-71,8	-164,0
40,0	-165,8	220,0	-88,9	400,0	108,8	580,0	-95,2	-241,1
50,0	-140,5	230,0	-107,6	410,0	99,4	590,0	-115,3	-263,9
60,0	-93,8	240,0	-120,4	420,0	111,2	600,0	-128,4	-231,3
70,0	-36,4	250,0	-122,8	430,0	136,5	610,0	-130,1	-152,6
80,0	20,6	260,0	-111,3	440,0	165,1	620,0	-116,5	-42,0
90,0	68,1	270,0	-84,4	450,0	187,7	630,0	-85,6	85,8
100,0	102,1	280,0	-44,0	460,0	198,3	640,0	-38,7	217,7
110,0	117,1	290,0	3,8	470,0	195,0	650,0	18,7	334,6
120,0	117,1	300,0	49,2	480,0	179,4	660,0	77,3	423,0
130,0	105,8	310,0	80,3	490,0	154,7	670,0	125,9	466,8
140,0	87,7	320,0	87,1	500,0	117,5	680,0	153,7	446,0
150,0	66,2	330,0	-87,6	510,0	81,6	690,0	153,3	213,4
160,0	43,8	340,0	-163,5	520,0	53,5	700,0	123,3	57,2
170,0	21,7	350,0	-136,9	530,0	24,2	710,0	68,6	-22,3
180,0	0,0	360,0	0,0	540,0	0,0	720,0	0,0	0,0

Таблица В3 - Таблица сил, действующих на шатунную шейку КВ с шагом в 10 градусов ПКВ

T	K	P _k	R _{ш.ш.}	K _{ПК}	R _k
0	-9,16624	-14,9597	14,9597	-25,8566	25,85657
-2,011738	-8,76945	-14,5629	14,7012	-25,4598	25,53914
-3,649706	-7,56358	-13,3571	13,8467	-24,2539	24,52698
-4,57985	-5,771	-11,5645	12,4383	-22,4613	22,92349
-4,669897	-3,79914	-9,59263	10,6690	-20,4895	21,01491
-3,956459	-2,01695	-7,81044	8,7554	-18,7073	19,12109
-2,640896	-0,72152	-6,51501	7,0299	-17,4118	17,61099
-1,024182	-0,07156	-5,86504	5,9538	-16,7619	16,79315
0,580762	-0,06919	-5,86268	5,8914	-16,7595	16,76958
1,918329	-0,58872	-6,38221	6,6643	-17,2791	17,38522
2,877197	-1,453	-7,24649	7,7968	-18,1433	18,37005
3,299127	-2,39726	-8,19075	8,8302	-19,0876	19,3706
3,297578	-3,26541	-9,0589	9,6404	-19,9557	20,22636
2,979871	-3,95271	-9,7462	10,1916	-20,643	20,85701
2,469066	-4,43063	-10,2241	10,5180	-21,121	21,26479
1,864079	-4,71664	-10,5101	10,6742	-21,407	21,48798
1,233975	-4,862	-10,6555	10,7267	-21,5523	21,58763
0,612083	-4,92832	-10,7218	10,7393	-21,6186	21,62731
6,07E-16	-4,95225	-10,7457	10,7457	-21,6426	21,64258
-0,614624	-4,94878	-10,7423	10,7598	-21,6391	21,64783
-1,244156	-4,90211	-10,6956	10,7677	-21,5924	21,62826
-1,885065	-4,76974	-10,5632	10,7301	-21,4601	21,5427
-2,504645	-4,49448	-10,288	10,5885	-21,1848	21,33235
-3,029782	-4,01892	-9,81241	10,2695	-20,7093	20,92971
-3,390246	-3,35718	-9,15066	9,7585	-20,0475	20,33215
-3,458074	-2,51275	-8,30624	8,9973	-19,2031	19,51197
-3,134579	-1,58298	-7,37646	8,0148	-18,2733	18,54021
-2,377198	-0,72955	-6,52304	6,9427	-17,4199	17,58133
-1,239331	-0,14765	-5,94114	6,0690	-16,838	16,88353
0,107563	-0,00752	-5,801	5,8020	-16,6978	16,69819
1,385403	-0,3785	-6,17199	6,3256	-17,0688	17,12497

Продолжение таблицы В3

2,263198	-1,15375	-6,94724	7,3066	-17,8441	17,98703
2,454579	-1,9969	-7,79038	8,1679	-18,6872	18,84774
-2,468222	3,110171	-2,68332	3,6459	-13,5802	13,80264
-4,604691	9,542672	3,749183	5,9380	-7,14766	8,502483
-3,856983	16,81313	11,01964	11,6751	0,122799	3,858938
-3,75E-15	15,29	9,496508	9,4965	-1,40033	1,400335
1,9309	8,417065	2,623576	3,2575	-8,27327	8,495606
1,147271	3,266053	-2,52744	2,7756	-13,4243	13,47321
4,622232	9,579023	3,785535	5,9746	-7,11131	8,481494
3,867204	4,873009	-0,92048	3,9752	-11,8173	12,434
3,064611	2,493181	-3,30031	4,5038	-14,1972	14,52415
2,800953	1,42789	-4,3656	5,1869	-15,2624	15,51733
3,131329	0,855508	-4,93798	5,8471	-15,8348	16,14146
3,846312	0,268729	-5,52476	6,7318	-16,4216	16,86604
4,651972	-0,55422	-6,34771	7,8698	-17,2446	17,861
5,286653	-1,62244	-7,41593	9,1074	-18,3128	19,0606
5,58489	-2,82039	-8,61388	10,2660	-19,5107	20,29432
5,493864	-3,99203	-9,78552	11,2222	-20,6824	21,39959
5,053697	-5,0044	-10,7979	11,9220	-21,6947	22,27558
4,358755	-5,78176	-11,5753	12,3687	-22,4721	22,89091
3,311265	-5,94192	-11,7354	12,1936	-22,6323	22,8732
2,297292	-5,81279	-11,6063	11,8314	-22,5031	22,62008
1,507894	-5,94127	-11,7348	11,8312	-22,6316	22,68178
0,682331	-5,49393	-11,2874	11,3080	-22,1843	22,19476
1,99E-15	-5,4053	-11,1988	11,1988	-22,0956	22,09563
-0,662714	-5,33598	-11,1295	11,1492	-22,0263	22,03628
-1,33789	-5,27144	-11,0649	11,1455	-21,9618	22,00248
-2,022001	-5,11623	-10,9097	11,0955	-21,8066	21,9001
-2,68207	-4,81286	-10,6063	10,9402	-21,5032	21,66981
-3,248233	-4,30869	-10,1022	10,6115	-20,999	21,24876
-3,616254	-3,58098	-9,37447	10,0478	-20,2713	20,59134
-3,663652	-2,66213	-8,45562	9,2152	-19,3525	19,6962

Продолжение таблицы В3

-3,280488	-1,65666	-7,45015	8,1404	-18,347	18,63797
-2,410415	-0,73974	-6,53323	6,9637	-17,4301	17,59595
-1,090642	-0,12993	-5,92342	6,0230	-16,8203	16,85559
0,525438	-0,03671	-5,8302	5,8538	-16,727	16,73529
2,177787	-0,59499	-6,38848	6,7495	-17,2853	17,42197
3,546797	-1,80811	-7,6016	8,3883	-18,4984	18,8354
4,328849	-3,52169	-9,31518	10,2719	-20,212	20,67038
4,318776	-5,44203	-11,2355	12,0370	-22,1324	22,54979
3,473083	-7,19755	-12,991	13,4473	-23,8879	24,13904
1,933148	-8,42686	-14,2203	14,3511	-25,1172	25,19148
4,35E-15	-8,87383	-14,6673	14,6673	-25,5642	25,56416

Таблица В4 - Таблица сил, действующие на коренные шейки с шагом в 10 градусов ПКВ

1-я кор.ш.	1-й кривошип				2-я коренная шейка			2-й кривошип			3-я коренная шейка			3-й кривошип		
R _{к.ш1} , кН	φ ₁	R _{к.1} , кН	T ₁ , кН	K _{рк1} , кН	T _{к2} , кН	K _{к2} , кН	R _{к.ш2} , кН	φ ₂	T ₂ , кН	K _{рк2} , кН	T _{к3} , кН	K _{к3} , кН	R _{к.ш3} , кН	φ ₃	T ₃ , кН	K _{рк3} , кН
12,928	0,000	25,857	0,000	-25,857	0,000	2,107	2,107	180,000	0,000	-21,643	0,000	-21,869	21,869	540,000	0,000	-22,096
12,770	10,000	25,539	-2,012	-25,460	0,699	1,910	2,034	190,000	-0,615	-21,639	-0,639	-21,833	21,842	550,000	-0,663	-22,026
12,263	20,000	24,527	-3,650	-24,254	1,203	1,331	1,794	200,000	-1,244	-21,592	-1,291	-21,777	21,815	560,000	-1,338	-21,962
11,462	30,000	22,923	-4,580	-22,461	1,347	0,501	1,437	210,000	-1,885	-21,460	-1,954	-21,633	21,721	570,000	-2,022	-21,807
10,507	40,000	21,015	-4,670	-20,489	1,083	-0,348	1,137	220,000	-2,505	-21,185	-2,593	-21,344	21,501	580,000	-2,682	-21,503
9,561	50,000	19,121	-3,956	-18,707	0,463	-1,001	1,103	230,000	-3,030	-20,709	-3,139	-20,854	21,089	590,000	-3,248	-20,999
8,805	60,000	17,611	-2,641	-17,412	-0,375	-1,318	1,370	240,000	-3,390	-20,048	-3,503	-20,159	20,462	600,000	-3,616	-20,271
8,397	70,000	16,793	-1,024	-16,762	-1,217	-1,221	1,724	250,000	-3,458	-19,203	-3,561	-19,278	19,604	610,000	-3,664	-19,352
8,385	80,000	16,770	0,581	-16,760	-1,858	-0,757	2,006	260,000	-3,135	-18,273	-3,208	-18,310	18,589	620,000	-3,280	-18,347
8,693	90,000	17,385	1,918	-17,279	-2,148	-0,070	2,149	270,000	-2,377	-17,420	-2,394	-17,425	17,589	630,000	-2,410	-17,430
9,185	100,000	18,370	2,877	-18,143	-2,058	0,653	2,159	280,000	-1,239	-16,838	-1,165	-16,829	16,869	640,000	-1,091	-16,820
9,685	110,000	19,371	3,299	-19,088	-1,596	1,195	1,994	290,000	0,108	-16,698	0,317	-16,712	16,715	650,000	0,525	-16,727
10,113	120,000	20,226	3,298	-19,956	-0,956	1,443	1,731	300,000	1,385	-17,069	1,782	-17,177	17,269	660,000	2,178	-17,285

Продолжение таблицы В4

10,429	130,000	20,857	2,980	-20,643	-0,358	1,399	1,445	310,000	2,263	-17,844	2,905	-18,171	18,402	670,000	3,547	-18,498
10,632	140,000	21,265	2,469	-21,121	-0,007	1,217	1,217	320,000	2,455	-18,687	3,392	-19,450	19,743	680,000	4,329	-20,212
10,744	150,000	21,488	1,864	-21,407	-2,166	3,913	4,473	330,000	-2,468	-13,580	0,925	-17,856	17,880	690,000	4,319	-22,132
10,794	160,000	21,588	1,234	-21,552	-2,919	7,202	7,771	340,000	-4,605	-7,148	-0,566	-15,518	15,528	700,000	3,473	-23,888
10,814	170,000	21,627	0,612	-21,619	-2,235	10,871	11,098	350,000	-3,857	0,123	-0,962	-12,497	12,534	710,000	1,933	-25,117
10,821	180,000	21,643	0,000	-21,643	0,000	10,121	10,121	360,000	0,000	-1,400	0,000	-13,482	13,482	720,000	0,000	-25,564
10,824	190,000	21,648	-0,615	-21,639	0,881	4,107	4,201	370,000	1,147	-13,424	-0,432	-19,442	19,447	10,000	-2,012	-25,460
10,814	200,000	21,628	-1,244	-21,592	2,933	7,241	7,812	380,000	4,622	-7,111	0,486	-15,683	15,690	20,000	-3,650	-24,254
10,771	210,000	21,543	-1,885	-21,460	2,876	4,821	5,614	390,000	3,867	-11,817	-0,356	-17,139	17,143	30,000	-4,580	-22,461
10,666	220,000	21,332	-2,505	-21,185	2,785	3,494	4,468	400,000	3,065	-14,197	-0,803	-17,343	17,362	40,000	-4,670	-20,489
10,465	230,000	20,930	-3,030	-20,709	2,915	2,723	3,990	410,000	2,801	-15,262	-0,578	-16,985	16,995	50,000	-3,956	-18,707
10,166	240,000	20,332	-3,390	-20,048	3,261	2,106	3,882	420,000	3,131	-15,835	0,245	-16,623	16,625	60,000	-2,641	-17,412
9,756	250,000	19,512	-3,458	-19,203	3,652	1,391	3,908	430,000	3,846	-16,422	1,411	-16,592	16,652	70,000	-1,024	-16,762
9,270	260,000	18,540	-3,135	-18,273	3,893	0,514	3,927	440,000	4,652	-17,245	2,616	-17,002	17,202	80,000	0,581	-16,760
8,791	270,000	17,581	-2,377	-17,420	3,832	-0,446	3,858	450,000	5,287	-18,313	3,602	-17,796	18,157	90,000	1,918	-17,279
8,442	280,000	16,884	-1,239	-16,838	3,412	-1,336	3,664	460,000	5,585	-19,511	4,231	-18,827	19,297	100,000	2,877	-18,143
8,349	290,000	16,698	0,108	-16,698	2,693	-1,992	3,350	470,000	5,494	-20,682	4,396	-19,885	20,365	110,000	3,299	-19,088
8,562	300,000	17,125	1,385	-17,069	1,834	-2,313	2,952	480,000	5,054	-21,695	4,176	-20,825	21,240	120,000	3,298	-19,956
8,994	310,000	17,987	2,263	-17,844	1,048	-2,314	2,540	490,000	4,359	-22,472	3,669	-21,558	21,868	130,000	2,980	-20,643
9,424	320,000	18,848	2,455	-18,687	0,428	-1,973	2,018	500,000	3,311	-22,632	2,890	-21,877	22,067	140,000	2,469	-21,121
6,901	330,000	13,803	-2,468	-13,580	2,383	-4,461	5,058	510,000	2,297	-22,503	2,081	-21,955	22,053	150,000	1,864	-21,407
4,251	340,000	8,502	-4,605	-7,148	3,056	-7,742	8,323	520,000	1,508	-22,632	1,371	-22,092	22,134	160,000	1,234	-21,552
1,929	350,000	3,859	-3,857	0,123	2,270	-11,154	11,382	530,000	0,682	-22,184	0,647	-21,901	21,911	170,000	0,612	-21,619
0,700	360,000	1,400	0,000	-1,400	0,000	-10,348	10,348	540,000	0,000	-22,096	0,000	-21,869	21,869	180,000	0,000	-21,643
6,737	370,000	13,473	1,147	-13,424	-0,905	-4,301	4,395	550,000	-0,663	-22,026	-0,639	-21,833	21,842	190,000	-0,615	-21,639
4,241	380,000	8,481	4,622	-7,111	-2,980	-7,425	8,001	560,000	-1,338	-21,962	-1,291	-21,777	21,815	200,000	-1,244	-21,592
6,217	390,000	12,434	3,867	-11,817	-2,945	-4,995	5,798	570,000	-2,022	-21,807	-1,954	-21,633	21,721	210,000	-1,885	-21,460
7,262	400,000	14,524	3,065	-14,197	-2,873	-3,653	4,648	580,000	-2,682	-21,503	-2,593	-21,344	21,501	220,000	-2,505	-21,185
7,759	410,000	15,517	2,801	-15,262	-3,025	-2,868	4,168	590,000	-3,248	-20,999	-3,139	-20,854	21,089	230,000	-3,030	-20,709
8,071	420,000	16,141	3,131	-15,835	-3,374	-2,218	4,038	600,000	-3,616	-20,271	-3,503	-20,159	20,462	240,000	-3,390	-20,048
8,433	430,000	16,866	3,846	-16,422	-3,755	-1,465	4,031	610,000	-3,664	-19,352	-3,561	-19,278	19,604	250,000	-3,458	-19,203
8,931	440,000	17,861	4,652	-17,245	-3,966	-0,551	4,004	620,000	-3,280	-18,347	-3,208	-18,310	18,589	260,000	-3,135	-18,273

Продолжение таблицы В4

9,530	450,000	19,061	5,287	-18,313	-3,849	0,441	3,874	630,000	-2,410	-17,430	-2,394	-17,425	17,589	270,000	-2,377	-17,420
10,147	460,000	20,294	5,585	-19,511	-3,338	1,345	3,599	640,000	-1,091	-16,820	-1,165	-16,829	16,869	280,000	-1,239	-16,838
10,700	470,000	21,400	5,494	-20,682	-2,484	1,978	3,175	650,000	0,525	-16,727	0,317	-16,712	16,715	290,000	0,108	-16,698
11,138	480,000	22,276	5,054	-21,695	-1,438	2,205	2,632	660,000	2,178	-17,285	1,782	-17,177	17,269	300,000	1,385	-17,069
11,445	490,000	22,891	4,359	-22,472	-0,406	1,987	2,028	670,000	3,547	-18,498	2,905	-18,171	18,402	310,000	2,263	-17,844
11,437	500,000	22,873	3,311	-22,632	0,509	1,210	1,313	680,000	4,329	-20,212	3,392	-19,450	19,743	320,000	2,455	-18,687
11,310	510,000	22,620	2,297	-22,503	1,011	0,185	1,028	690,000	4,319	-22,132	0,925	-17,856	17,880	330,000	-2,468	-13,580
11,341	520,000	22,682	1,508	-22,632	0,983	-0,628	1,166	700,000	3,473	-23,888	-0,566	-15,518	15,528	340,000	-4,605	-7,148
11,097	530,000	22,195	0,682	-22,184	0,625	-1,466	1,594	710,000	1,933	-25,117	-0,962	-12,497	12,534	350,000	-3,857	0,123
11,048	540,000	22,096	0,000	-22,096	0,000	-1,734	1,734	720,000	0,000	-25,564	0,000	-13,482	13,482	360,000	0,000	-1,400
11,018	550,000	22,036	-0,663	-22,026	-0,675	-1,717	1,844	10,000	-2,012	-25,460	-0,432	-19,442	19,447	370,000	1,147	-13,424
11,001	560,000	22,002	-1,338	-21,962	-1,156	-1,146	1,628	20,000	-3,650	-24,254	0,486	-15,683	15,690	380,000	4,622	-7,111
10,950	570,000	21,900	-2,022	-21,807	-1,279	-0,327	1,320	30,000	-4,580	-22,461	-0,356	-17,139	17,143	390,000	3,867	-11,817
10,835	580,000	21,670	-2,682	-21,503	-0,994	0,507	1,116	40,000	-4,670	-20,489	-0,803	-17,343	17,362	400,000	3,065	-14,197
10,624	590,000	21,249	-3,248	-20,999	-0,354	1,146	1,199	50,000	-3,956	-18,707	-0,578	-16,985	16,995	410,000	2,801	-15,262
10,296	600,000	20,591	-3,616	-20,271	0,488	1,430	1,511	60,000	-2,641	-17,412	0,245	-16,623	16,625	420,000	3,131	-15,835
9,848	610,000	19,696	-3,664	-19,352	1,320	1,295	1,849	70,000	-1,024	-16,762	1,411	-16,592	16,652	430,000	3,846	-16,422
9,319	620,000	18,638	-3,280	-18,347	1,931	0,794	2,087	80,000	0,581	-16,760	2,616	-17,002	17,202	440,000	4,652	-17,245
8,798	630,000	17,596	-2,410	-17,430	2,164	0,076	2,166	90,000	1,918	-17,279	3,602	-17,796	18,157	450,000	5,287	-18,313
8,428	640,000	16,856	-1,091	-16,820	1,984	-0,662	2,091	100,000	2,877	-18,143	4,231	-18,827	19,297	460,000	5,585	-19,511
8,368	650,000	16,735	0,525	-16,727	1,387	-1,180	1,821	110,000	3,299	-19,088	4,396	-19,885	20,365	470,000	5,494	-20,682
8,711	660,000	17,422	2,178	-17,285	0,560	-1,335	1,448	120,000	3,298	-19,956	4,176	-20,825	21,240	480,000	5,054	-21,695
9,418	670,000	18,835	3,547	-18,498	-0,283	-1,072	1,109	130,000	2,980	-20,643	3,669	-21,558	21,868	490,000	4,359	-22,472
10,335	680,000	20,670	4,329	-20,212	-0,930	-0,454	1,035	140,000	2,469	-21,121	2,890	-21,877	22,067	500,000	3,311	-22,632
11,275	690,000	22,550	4,319	-22,132	-1,227	0,363	1,280	150,000	1,864	-21,407	2,081	-21,955	22,053	510,000	2,297	-22,503
12,070	700,000	24,139	3,473	-23,888	-1,120	1,168	1,618	160,000	1,234	-21,552	1,371	-22,092	22,134	520,000	1,508	-22,632
12,596	710,000	25,191	1,933	-25,117	-0,661	1,749	1,870	170,000	0,612	-21,619	0,647	-21,901	21,911	530,000	0,682	-22,184
12,782	720,000	25,564	0,000	-25,564	0,000	1,961	1,961	180,000	0,000	-21,643	0,000	-21,869	21,869	540,000	0,000	-22,096