

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

Институт машиностроения

(институт, факультет)

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 Оценка эффективности форкамерного газового двигателя

Студент

С.Ю. Петинов

(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)

С.А. Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Целью бакалаврской работы является оценка эффективности применения форкамерного газового двигателя для повышения эффективности процесса сгорания природного газа в двигатель внутреннего сгорания (ДВС) с искровым зажиганием.

В бакалаврской работе представлены результаты оценки перспективности применения форкамерного двигателя при работе на газовом топливе, а также приведены подходы для адекватного термодинамического анализа процесса сгорания для разделенной камеры сгорания форкамерного двигателя. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Подходы для анализа эффективности процесса сгорания в форкамерном газовом двигателе.
- Тепловой расчет и тепловой баланс форкамерного газового двигателя.
- Кинематический расчет форкамерного газового двигателя показывает изменение кинематических параметров поршневой группы.
- Динамический расчет форкамерного газового двигателя, где определяются силы и нагрузки действующие в кривошипно-шатунном механизме, а также условия для уравнивания двигателя.
- В разделе специальной части, проведен анализ возможностей применения форкамерного газового двигателя для повышения эффективности процесса сгорания природного газа в ДВС с искровым зажиганием.
- Проведена оценка безопасности и экологичности объекта проектирования.

Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1 иллюстрирующих материал представленный в пояснительной записке.

ABSTRACT

The aim of the bachelor's work is to evaluate the efficiency of using a prechamber gas engine to increase the efficiency of the combustion of natural gas into an internal combustion engine (ICE) with spark ignition.

This bachelor's work presents the results of estimating the prospects of using the prechamber engine for gas fuel operation, and also provides approaches for adequate thermodynamic analysis of the combustion process for the separated combustion chamber of the prechamber engine. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- Approaches for analyzing the efficiency of the combustion process in the prechamber gas engine.
- Thermal calculation and heat balance of the prechamber gas engine.
- Kinematic calculation of the prechamber gas engine shows a change in the kinematic parameters of the piston group.
- Dynamic calculation of the prechamber gas engine, where the forces and loads acting in the crank mechanism are determined, as well as the conditions for balancing the engine.
- In the section of the special section, an analysis of the possibilities of using a prechamber gas engine to increase the efficiency of the combustion of natural gas in an ICE with spark ignition is made.
- The safety and ecological compatibility of the design object was assessed.

The graphic part of the work contains 8 sheets of A1 format illustrating the material presented in the explanatory note.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Подходы для анализа эффективности процесса сгорания в форкамерном газовом двигателе	7
1.1 Особенности процесса сгорания форкамерного двигателя	7
2 Тепловой расчет форкамерного газового двигателя	13
3 Кинематический расчет	24
4 Динамический расчет	25
5 Специальная часть	31
6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы	35
Заключение	38
Список используемых источников.....	39
Приложение А	41
Приложение Б	50

ВВЕДЕНИЕ

Хотя нефтяной кризис в настоящее время несколько отступил, и разведанные запасы нефти на планете еще достаточно велики, но все же весь мир стремится перейти на альтернативные виды топлива и наиболее простым, доступным из них является природный газ. Это связано с тем, что современные технологии не позволяют сжигать нефтяные топлива в условиях поршневых двигателей с необходимым уровнем токсичности при сохранении высоких энергетических показателей. Так практически во всех странах наблюдаются скандалы с завышением характеристик по токсичности отработавших газов дизельными двигателями, в результате чего в ближайшие 5 - 10 лет в Европе собираются полностью отказаться от использования двигателей на дизельном топливе и заменить их в большей степени могут лишь двигатели работающие на природном газе. По этому в настоящее время основным бичем всех автопроизводителей является ужесточение норм токсичности отработавших газов при введении норм для холодного пуска, оценки токсичности после определенного интервала пробега автомобиля и другое. Природный газ как раз идеально подходит для топлива способного значительно снизить токсичность, так как природный газ заполняя цилиндр не образует топливной пленки на стенках цилиндров что снижает долю несгоревших углеводородов, он сгорает более плавно с меньшими максимальными температурами, тем самым снижая долю термических оксидов азота в отработавших газах, природный газ легко перемешивается с воздухом и его не надо испарять, что сказывается на мягкости и эффективности процесса сгорания по дизельному циклу [1].

Но у природного газа, как моторного топлива тоже есть свои проблемы, а именно это большая энергия активации начала сгорания приводящая к усложнению процесса воспламенения при забалластированных смесях в двигателях с искровым зажиганием или сложностью с самовоспламенением в дизельных двигателях, также вытеснение воздуха при подаче природного газа

во впускной трубопровод, тем самым снижая наполнение цилиндра на 10 - 15% по воздуху, что сказывается на снижении литровой мощности при переконвертации двигателя на работу на сжатом (компримированном) природном газе. Конструктивным выходом из данных затруднений является применение, как в дизельном цикле, так и в цикле Отто условий позволяющих гарантировать устойчивое и эффективное воспламенение, и таким подходом является применение форкамерного процесса сгорания [2]. Более подробно о преимуществах форкамерного процесса сгорания над классическим в неразделенных камерах сгорания рассмотрим в первой главе бакалаврской работы.

Целью проводимой бакалаврской работы состоит в определении основного подхода для проектирования газовых форкамерных двигателей.

1 Подходы для анализа эффективности процесса сгорания в форкамерном газовом двигателе

1.1 Особенности процесса сгорания форкамерного двигателя

Форкамерные двигатели, это двигатели в которых камера сгорания разделена на две зоны, основная это зона над поршнем в которой в основном находится воздух и продукты сгорания от прошлого цикла, и предварительная камера в которую подается топливо и, где это топливо воспламеняется, либо от свечи зажигания если это двигатель работающий по циклу Отто, или от свечи накаливания которая подогревает воздух для гарантированной своевременной инициации процесса сгорания если это двигатель работающий по циклу Дизеля или Тринклера. Воспламенившееся в форкамере топливно-воздушная смесь под давлением выбрасывается в основную камеру сгорания над поршнем для дальнейшего смешения с воздухом и сгорания в нем, так как в любом случае топливно-воздушная смесь, которая воспламеняется в предварительной камере форкамерного двигателя внутреннего сгорания (ДВС), является богатой, то есть в ней недостаточно кислорода для полного сгорания, кислород необходимый для полного и своевременного сгорания находится в основной камере сгорания над поршнем. Такое расслоение топливно-воздушной смеси позволит гарантировать своевременное воспламенение и полное сгорание с минимальной вероятностью образования пропуска зажигания, что является бичом современных бензиновых двигателей при работе на режимах глубокого дросселирования, где степень разбавленности свежей смеси остаточными от прошлого цикла газами превосходит единицу, это происходит из-за необходимости поддерживать стехиометрическое соотношение кислорода и топлива для полноценной работы трехкомпонентного каталитического нейтрализатора отработавших газов [3].

Рассмотрим основные известные аналоги и прототипы использующие форкамерное смесеобразование в двигателях с искровым зажиганием. Так на

рисунке 1.3 представлена компоновка двигателя Хонда CVCC с форкамерным механизмом [4].

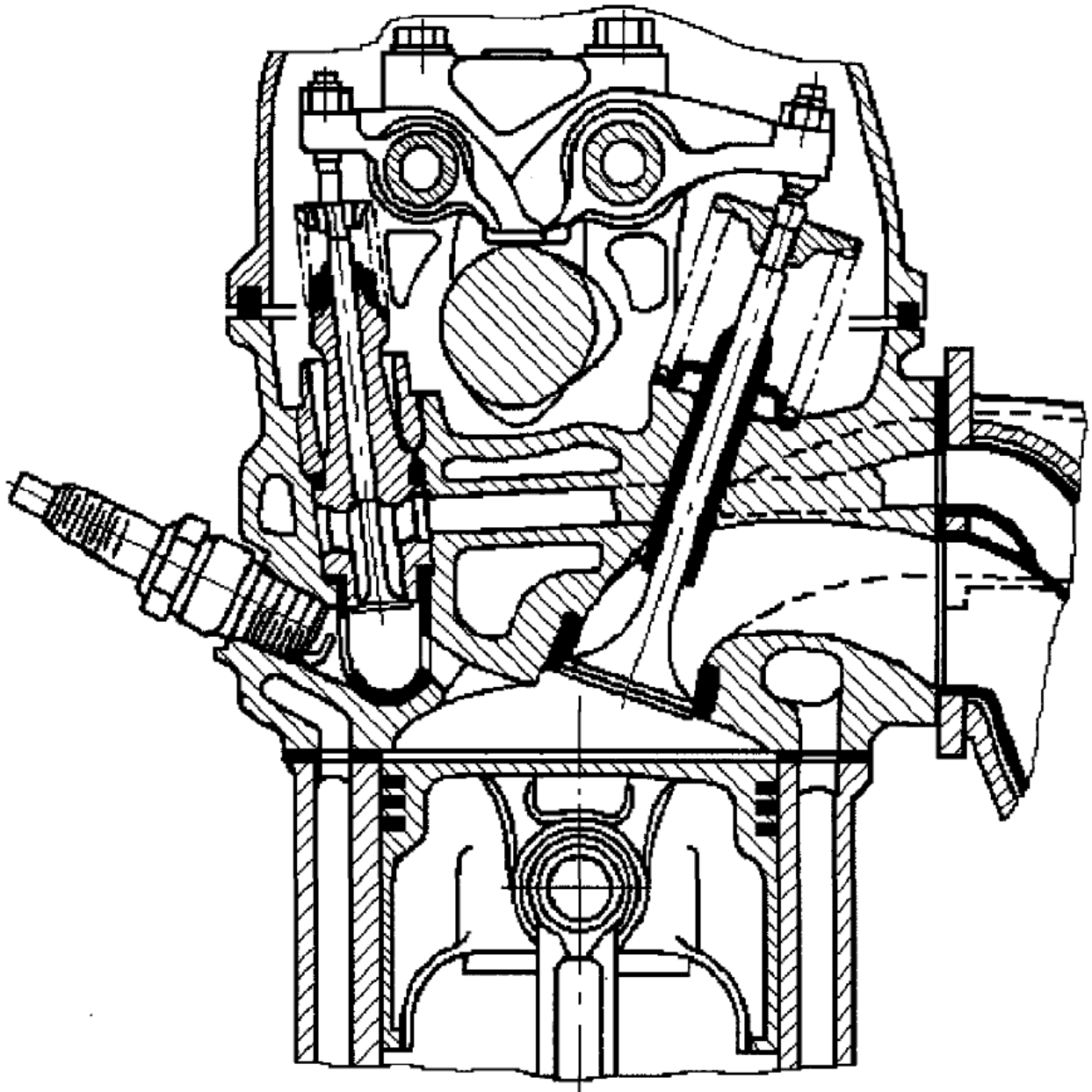


Рисунок 1.1 - Хонда CVCC с форкамерным механизмом

Представленный механизм позволял осуществлять процесс сгорания бедных и сверх бедных смесей с высокой эффективностью и малой токсичностью продуктов сгорания. Эффективность обеспечивалась способностью осуществить процесс сгорания на бедной и сверхбедной смеси, то есть обеспечить возможность осуществлять регулировку нагрузки меняя

качество приготовляемой смеси в цилиндре двигателя, т.е. нагрузка определяется количеством поданного топлива, а не положением дроссельной заслонки), такой подход выгодно отличает от принятого количественного способа регулирования когда мощность определяется положением дроссельной заслонки, что обеспечивает с одной стороны значительную забалластированность остаточными газами, а во вторых это значительные насосные потери на преодоление сопротивления создаваемого дросселем на впуске [5].

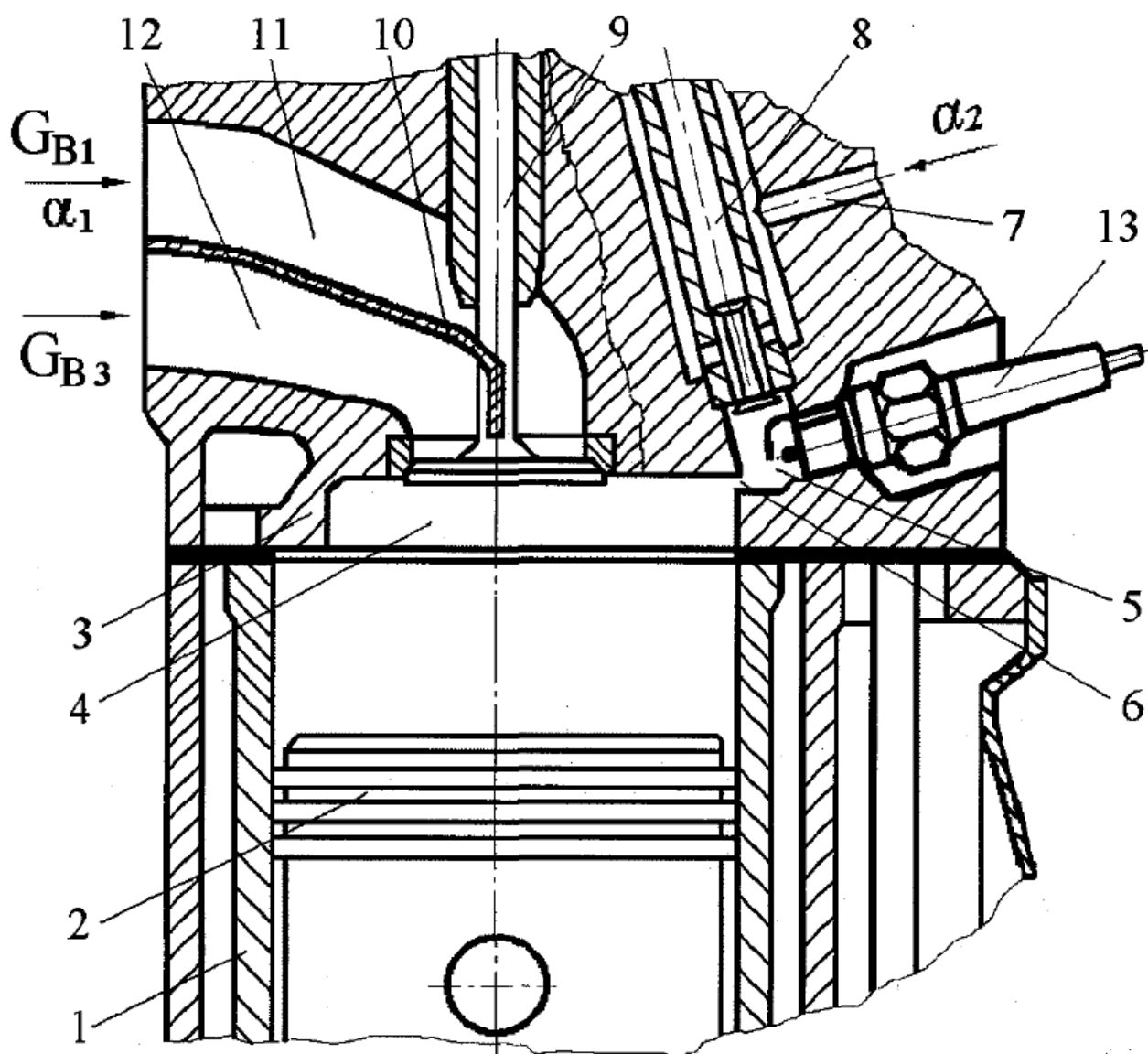


Рисунок 1.2 - Вариант прототипа форкамерного двигателя ЗМЗ 4022.10 с икровым зажиганием

Другой вариант форкамерного типа двигателей с искровым зажиганием, который был разработан в СССР и поступил в серийное производство (300 единиц в год) представлен на рисунке 1.2. Так на рисунке 1.2 показан вариант прототипа форкамерного двигателя ЗМЗ 4022.10 с искровым зажиганием, который выпускался вплоть до развала Советского Союза и был снят с производства лишь в кризисные 90-е годы, когда многие небольшие заводы не выдерживали конкуренции и закрывались [6].

Если возвращаться к истории выпуска двигателя, представленного на рисунке 1.1, то можно отметить, что данный тип двигателей мог выполнить первые нормы ограничения токсичности отработавших газов без установки дополнительных каталитических устройств или дожигателей отработавших газов. Основной причиной вызвавший снятие данного двигателя с производства, является принятия следующего поколения норм токсичности в основных странах Европы, Америки и Японии, которые уже требовали установки специальных дополнительных каталитических устройств или дожигателей отработавших газов, но эффективные каталитические трехкомпонентные нейтрализаторы отработавших газов работают в узком диапазоне составов смеси близких к стехиометрическим, а данные системы форкамерного смесеобразования были настроены на работу с составами бедных смесей, тем самым не обеспечивая условий для эффективной нейтрализации отработавших газов [7].

Если коротко рассматривать причины ухода с европейского, японского и северо американского рынка дизельных двигателей с форкамерой и любыми другими способами смесеобразования связанного с разделением камеры сгорания, то она заключается в наличии значительных гидравлических потерь при переходе раскаленных продуктов сгорания из вспомогательной камеры в основную, а также активному развитию систем систем и устройств наддува, которые обеспечили получение нужных характеристик воспламенения без необходимости разделения камеры сгорания на основную и вспомогательную камеры.

В настоящее время идут вполне серьезные изыскания, для возвращения форкамерных двигателей на рынок и серийное производство, в связи с тем, что дальнейшее ужесточение норм токсичности становится уже сложно решить только за счет совершенствования систем каталитической нейтрализации отработавших газов. Так на рисунке 1.3 представлен вариант прототипа форкамерного ДВС с непосредственным впрыском топлива предложенная МГТУ им. Баумана [8].

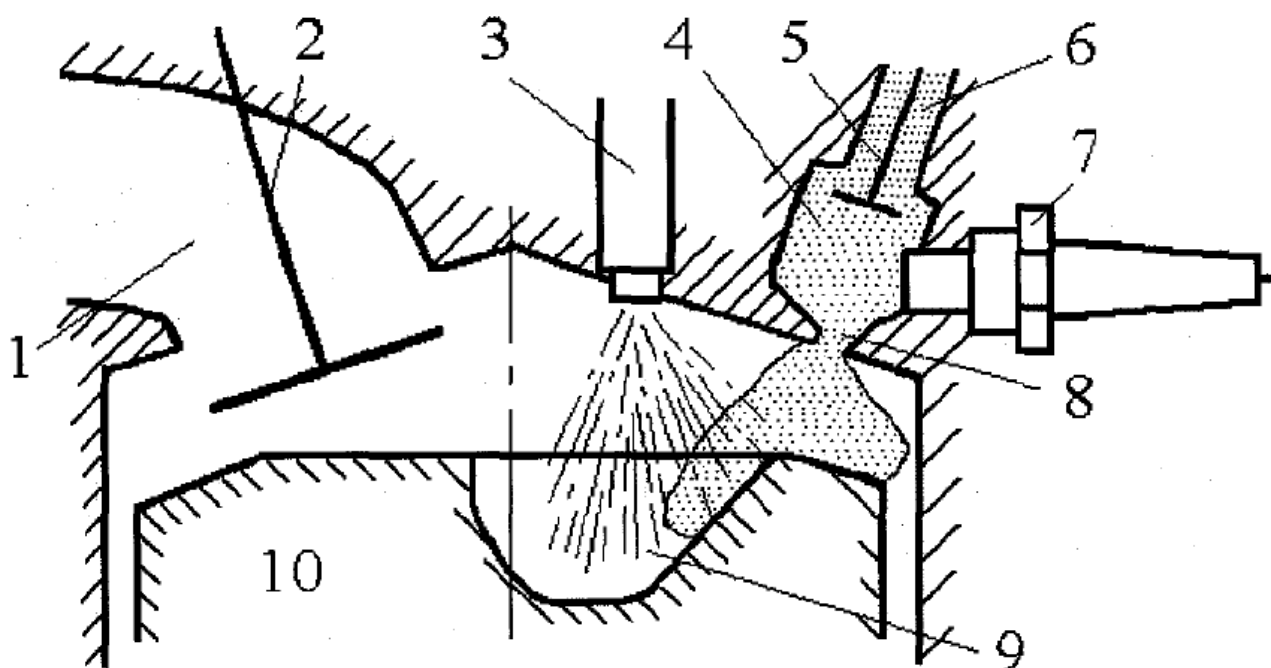


Рисунок 1.3 - Вариант прототипа форкамерного ДВС с непосредственным впрыском топлива предложенная МГТУ им. Баумана

Основной идеей для возвращения интереса к проектированию форкамерных двигателей является необходимость перехода на природный газ, а также развитием технологий непосредственного впрыска топлива, которые позволяют осуществлять процесс сгорания даже форкамерного двигателя при составах смеси близких к стехиометрическим, что позволяет использовать положительные стороны применения форкамерного способа смесеобразования и эффективного использования каталитического нейтрализатора отработавших

газов. То есть применение природного газа, обладающего прекрасными диффузионными способностями по сравнению с жидкими топливами, обеспечивает возможность быстрого перемешивания топлива с воздухом и максимальное использование воздуха, введенного в цилиндр двигателя на впуске [9].

Поэтому, как показал обзор известных источников, применение форкамерного способа смесеобразования для двигателя, работающего на природном газе, является актуальной и перспективной задачей.

2 Тепловой расчет форкамерного газового двигателя

Исходные данные: $V_L = 1.7$ л; $n_N = 5600$ мин⁻¹; $i = 4$ – число цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 11,5$ – степень сжатия, частота вращения $n_{\min} = 700$ мин⁻¹; $n = 1500$ мин⁻¹; $n_M = 3500$ мин⁻¹; $n_N = 5200$ мин⁻¹; $n_{\max} = 6000$ мин⁻¹.

Топливо - сжатый природный газ

Низшая теплота сгорания топлива

$$\begin{aligned} H_u' &= 12,8CO + 10,8H_2 + 35,7CH_4 + 63,3C_2H_6 + 90,9C_3H_8 + 119,7C_4H_{10} + \\ &+ 146,2C_5H_{12} = 12,8 \cdot 0,0014 + 10,8 \cdot 0,0014 + 35,7 \cdot 0,9 + 63,6 \cdot 0,0296 + 90,9 \cdot 0,0017 + \\ &+ 119,7 \cdot 0,0055 + 146,7 \cdot 0,0042 = 35,463 \text{ МДж/м}^3 = 35\,463 \text{ кДж/м}^3. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

а) в киломолях на 1 кг топлива

$$L'_0 = \frac{0}{0,21} \cdot \sum (n + \frac{m}{4} - \frac{r}{2}) \cdot C_n H_m O_r = 9,533 \text{ кмольвозд./кмоль природ газа} \quad (2.2)$$

Количество горючей см./кмоль газообразного топлива

$$M_1' = \alpha L_0' + 1 = 10,533 \text{ кмоль} \quad (2.3)$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при $\alpha \geq 1$:

$$\begin{aligned} M'_{CO_2} &= \sum n C_r H_\delta O_r = 1 \cdot 0,9 + 2 \cdot 0,0296 + 3 \cdot 0,0017 + 4 \cdot 0,0055 + 5 \cdot 0,0042 + 0,0014 + 0,0047 = \\ &= 1,0346 \text{ кмоль} \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} M'_{H_2O} &= \sum \frac{m}{2} (C_n H_m O_r) = \frac{4}{2} \cdot 0,9 + \frac{6}{2} \cdot 0,0296 + \frac{8}{2} \cdot 0,0017 + \frac{10}{2} \cdot 0,0055 + \frac{12}{2} \cdot 0,0042 + \frac{2}{2} \cdot 0,0014 = \\ &= 1,9497 \text{ кмоль} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$M'_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L'_O = 0,208 \cdot (1 - 1) \cdot 9,526 = 0 \text{ кмоль}; \quad (2.6)$$

$$M'_{N_2} = 0,792\alpha L'_O + N_2 = 0,792 \cdot 1 \cdot 9,5 + 0,0515 = 7,5501 \text{ кмоль}. \quad (2.7)$$

Общее число продуктов сгорания

$$M'_2 = 1,0346 + 1,9697 + 0,02 + 7,5501 = 10,534 \text{ кмоль} \quad (2.8)$$

Плотность заряда на впуске

$$\rho_0 = p_0 \cdot 10^6 / (R_B T_0) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ кг/м}^3, \quad (2.9)$$

где $R_B = 287 \text{ Дж/(кг град)}$ – удельная газовая постоянная для воздуха.

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \frac{2,8 \cdot A_n^2 \cdot n^2 \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6}}{2} = \frac{2,8 \cdot 0,01827^2 \cdot 1,189 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,015025 \text{ МПа}, \quad (2.10)$$

где потери давления на впуске, $A_n = 95/5200 = 0,018269 \text{ МПа}$

Давление в конце впуска

$$P_a = p_0 - \Delta p = 0,1 - 0,015025 = 0,08498 \text{ МПа} \quad (2.11)$$

Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_\Gamma = \frac{T_0 + \Delta T}{T_\Gamma} \cdot \frac{\phi_{i\pm} P_\Gamma}{\varepsilon \phi_{ai\epsilon} P_\Gamma - \phi_{i\pm} P_\Gamma} = \frac{293 + 6}{985} \cdot \frac{0,118}{22 \cdot 1,1 \cdot 0,0850 - 0,118} = 0,02045 \quad (2.12)$$

Температура в конце впуска при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 6 + 0,02045 \cdot 985}{1 + 0,02045} = 319,165 \text{ К} \quad (2.13)$$

Коэффициент наполнения при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} (\phi_{\text{вв}} \varepsilon p_a - \phi_i p_r) \quad (2.14)$$

$$\eta_v = \frac{293}{293 + 6} \cdot \frac{1}{22 - 1} \cdot \frac{1}{0,1} (1,1 \cdot 22 \cdot 0,085 - 0,118) = 0,904518$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8,314 \cdot 10^{-3} \frac{T_a}{\mu_B \cdot p_a} = 8,314 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{319,165}{28,9 \cdot 0,08498} = 1,0805 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.15)$$

Окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры процесса впуска и газообмена

900		2700		5200		5600		$n, \text{ мин}^{-1}$
С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	Тип
900	895	930	925	985	985	990	985	$T_r, \text{ К}$
0,108	0,108	0,109	0,108	0,118	0,1179	0,121	0,120	$P_r, \text{ МПа}$
14	13	9	9	7	6	6	6,5	$\Delta T, \text{ }^\circ\text{C}$
0,014925	0,014875	0,0154	0,0151	0,015025	0,01502	0,0162	0,0164	$\Delta p_a, \text{ МПа}$
0,084508	0,08513	0,0846	0,0849	0,08498	0,08497	0,08387	0,08436	$p_a, \text{ МПа}$
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	$\Phi_{\text{доз}}$
0,02092	0,04995	0,020106	0,04754	0,020451	0,04890	0,02091	0,04992	γ_r
325,8441	351,7499	320,7188	346,0195	319,165	347,2176	319,713	348,217	$T_a, \text{ К}$
0,885492	0,876689	0,899691	0,891204	0,904518	0,8893	0,90311	0,88708	η_v

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений из уравнения:

$$n_1 = 1 + \frac{8,314}{20,16 + 1,738 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon^{n_1-1} + 1 \cdot T_a} \quad (2.16)$$

Давление в конце сжатия при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 0,08498 \cdot 22^{1,3650} = 5,776 \text{ МПа.} \quad (2.17)$$

Температура в конце сжатия при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1} = 319,165 \cdot 22^{1,3650-1} = 986,278 \text{ К} \quad (2.18)$$

Для остальных режимов окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры процесса сжатия

900		2700		5200		5600		n, мин ⁻¹
С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	
1,362	1,37	1,364	1,374	1,365	1,375	1,370	1,3765	n_1
5,7235	1,991	5,7590	2,0104	5,776	2,0150	5,866	2,0220	$p_c, \text{МПа}$
997,624	824,58	988,021	818,654	986,278	823,382	1003,3	828,611	$T_c, \text{К}$

Удельный объем, давление и температура рабочего тела в момент воспламенения находятся по следующим формулам:

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos \left(\frac{\Theta \cdot \pi}{180} \right) + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \left(\sin \left(\frac{\Theta \cdot \pi}{180} \right) \right)^2} \right] \right] \right]; \text{ м}^3/\text{кг} \quad (2.19)$$

$$p_y = \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1} \cdot p_a; \text{ МПа} \quad (2.20)$$

$$T_y = \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1 - 1} \cdot T_a; \text{ К} \quad (2.21)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов рабочего тела в момент воспламенения

Параметры	Процесс воспламенения смеси							
	900		2700		5200		5600	
п, мин ⁻¹	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры
V _y , м ³ /кг	0,07360	0,18430	0,11242	0,18130	0,0721	0,1819	0,11207	0,18245
p _y , МПа	3,3935	1,09500	1,87350	1,10320	3,4212	1,1052	1,8991	1,1083
T _y , К	868,222	701,534	732,179	695,2754	857,360	698,985	739,882	702,963

Давление газов в процессе сгорания

$$p_2 = E_2 \cdot \Delta X_{1-2} + p_1 \cdot K_{1-2} \cdot \psi \phi_1' - \psi \phi_2' / \left[K_{1-2} \cdot \psi \phi_1' - \psi \phi_1' \right]; \text{ МПа} \quad (2.22)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке

$$\Delta X_{1-2} = \exp \left[-6,908 \left[\frac{\phi_1}{\phi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6,908 \left[\frac{\phi_2}{\phi_z} \right]^{m+1} \right] \quad (2.23)$$

Фактор теплоемкостей находится следующим образом:

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} \quad (2.24)$$

Отношение средних теплоемкостей рабочего тела на участке 1-2

$$k_{1-2} = 1,259 + \left[76,7 - \left(13,6 - \frac{14,2}{\alpha} \right) \cdot x_{1-2} \right] \cdot \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0,0665 - \frac{0,0245}{\alpha} \right) \cdot x_{1-2} \quad (2.25)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2

$$x_{1-2} = 0,5 \left[\exp \left[-6,908 \left[\frac{\phi_1}{\phi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6,908 \left[\frac{\phi_2}{\phi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (2.26)$$

Средняя температура на участке 1-2

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad ; \text{ К} \quad (2.27)$$

$$\psi \phi' = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \sigma \quad (2.28)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos \phi' + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \phi'} \right] \quad (2.29)$$

Температура в процессе сгорания

$$T_2 = \frac{T_y \cdot p_2 \cdot \psi \phi'_2}{p_y \cdot \psi \phi'_y \cdot \mu_{1-2}} \quad ; \text{ К} \quad (2.30)$$

Средний коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad (2.31)$$

$$\mu_1 = 1 + \frac{\mu_{0\max} - 1 \left[1 - \exp \left[-6,908 \left(\frac{\phi_1}{\phi_z} \right)^{m+1} \right] \right]}{1 + \gamma_r} \quad (2.32)$$

Результаты расчета процесса сгорания приведены в Приложении А.

Средний показатель политропы расширения находится методом последовательных приближений из уравнения :

$$n_2 = 1 + \frac{8,341}{23,7 + 0,0046 \cdot T_z \cdot \left(1 + \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right)} \quad (2.33)$$

Давление и температура в конце процесса расширения:

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{4,3465}{6,390^{1,25}} = 0,4278 \text{ МПа} \quad (2.34)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{2430,158}{6,390^{1,25-1}} = 1528,477 \text{ К} \quad (2.35)$$

Проверка ранее принятой температуры остаточных газов:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{p_b / p_r}} = \frac{1528,477}{\sqrt[3]{0,4278 / 0,118}} = 995,367 \text{ К} \quad (2.36)$$

Для остальных режимов окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры процесса расширения и выпуска

n, мин ⁻¹	900		2700		5200		5600	
	С форка мерой	Без форкаме ры	С форкамер ой	Без форкаме ры	С форкамер ой	Без форкаме ры	С форкамер ой	Без форкаме ры
n ₂	1,258	1,268	1,257	1,262	1,2512	1,260	1,2525	1,261
p _b , МПа	0,4118 7	0,41745	0,42318	0,43403	0,4278	0,43077	0,42630	0,43033
T _b , К	1498,5 04	1354,72	1509,866	1401,865	1528,477	1447,337	1538,395	1403,31
T _r , К	949,55 44	863,611	961,094	884,8579	995,36	940,378	1011,436	923,2437
ΔT _r %	5,116	4,214	3,235	5,102	1,041	4,745	2,119	5,125

Теоретическая индикаторная работа цикла

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{p_{1i} + p_{2i}}{2} V_{2i} - V_{1i} , \quad (2.37)$$

где $\frac{p_{1i} + p_{2i}}{2}$ – среднее индикаторное давление на i-том участке;

Расчетное среднее индикаторное давление находится по формуле:

$$p_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{\varepsilon - 1 V_a} \quad (2.38)$$

Индикаторный КПД и индикаторный удельный расход газа:

$$\eta_i = 371,2 \cdot 10^{-6} M'_1 T_k p_i / (H'_u p_k \eta_v) \quad (2.39)$$

$$v_i = 3600 / (H_u \eta_i) \quad (2.40)$$

Среднее давление механических потерь для бензиновых двигателей с числом цилиндров до шести и отношения S / D ≤ 1

$$\delta_i = 0,034 + 0,0113 v_{i.\dot{m}} . \quad (2.41)$$

Для двигателя с впрыском топлива, приняв ход поршня равным 75,6 мм, получим значение средней скорости поршня при $n_N = 5600 \text{ мин}^{-1}$

$$v_{n.sp} = \frac{Sn}{3 \cdot 10^4} \quad (2.42)$$

Среднее эффективное давление и механический КПД

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

Эффективный КПД и эффективный удельный расход топлива:

$$\eta_e = 371,2 \cdot 10^{-6} p_e T_K M'_1 / (p_k \eta_v H'_u), \quad (2.44)$$

$$v_e = 3,6 / (\eta_e H'_u) \quad (2.45)$$

Окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 6.

Таблица 6 – Индикаторные и эффективные параметры двигателя

900		2700		5200		5600		$n, \text{ мин}^{-1}$
С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	С форкамерой	Без форкамеры	
1,3121	0,9854	1,3356	1,1054	1,3347	1,0145	1,2520	0,9632	$p_i, \text{ Мпа}$
0,4332	0,3253	0,4340	0,359	0,4314	0,3279	0,4053	0,3118	η_i
0,2343	0,3119	0,2338	0,2826	0,2352	0,3095	0,2504	0,3255	$v_i, \text{ м}^3/(\text{кВт ч})$
2,268	2,268	6,804	6,804	13,104	13,104	14,112	14,112	$v_{i.нб.}, \text{ м/с}$
0,0596	0,05962	0,1108	0,1108	0,1820	0,1820	0,1934	0,1934	$p_M, \text{ Мпа}$
1,2524	0,9258	1,2247	0,9945	1,1526	0,8324	1,0585	0,7697	$p_e, \text{ Мпа}$
0,9545	0,9394	0,9169	0,8996	0,8635	0,8205	0,8454	0,7991	η_{i_i}
0,4135	0,3056	0,3980	0,3231	0,3725	0,2690	0,3426	0,2491	η_a
0,2454	0,3321	0,2550	0,3141	0,2724	0,3772	0,2962	0,4073	$v_e, \text{ м}^3/(\text{кВт ч})$

Литраж двигателя при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$V_{\Lambda} = 30\tau N_e / (p_e n), \text{ л.} \quad (2.46)$$

Рабочий объем одного цилиндра

$$V_h = V_{\Lambda} / i, \text{ л.} \quad (2.47)$$

Диаметр цилиндра:

$$D = 100 \cdot \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot S / D}}, \text{ мм} \quad (2.48)$$

Окончательно принимаем $S = 84,2 \text{ мм}$ и $D = 80 \text{ мм}$.

Основные параметры и показатели двигателя определяем по окончательно принятым значениям S и D :

- площадь поршня

$$F_n = \pi D^2 / (4 \cdot 100), \text{ см}^2 \quad (2.49)$$

- литраж двигателя

$$V_{\Lambda} = \pi D^2 S i / (4 \cdot 10^6), \text{ л.} \quad (2.50)$$

- мощность двигателя при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$N_e = p_e V_{\Lambda} n / 30\tau, \text{ кВт} \quad (2.51)$$

- крутящий момент при $n=5200 \text{ мин}^{-1}$

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \frac{N_e}{n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.52)$$

- часовой расход топлива при $n=5600$ об/мин

$$V_T = N_e v_e = N_e v_e, \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.53)$$

- литровая мощность двигателя

$$N_l = N_e / V_l, \text{ кВт/л} \quad (2.54)$$

Для остальных режимов окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 7.

Таблица 7 - Основные параметры и показатели двигателя

Параметры	Основные параметры и показатели двигателя			
$n, \text{мин}^{-1}$	900	2700	5200	5600
$N_e, \text{кВт}$	15,782	51,7576	79,7686	78,588
$M_e, \text{Н*м}$	167,452	183,055	146,487	134,3523
$Gt, \text{кг/ч}$	3,874	13,2008	21,73	23,274
$N_l, \text{кВт/л}$	9,88	32,411	49,946	49,21

3 Кинематический расчет

Премещение поршня [2]

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

Скорость поршня

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

Ускорении поршня

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

4 Динамический расчет

Определим массу подвижных элементов кривошипно-шатунного механизма:

- масса поршневой группы (для поршня из алюминиевого сплава $m_{\text{п}}=100 \text{ кг/м}^2$)

$$m_n = m_n \cdot F_n = 100 \cdot 0,005282 = 0,528 \text{ кг}; \quad (4.1)$$

- масса шатуна (для стального ковального шатуна $m_{\text{ш}}=150 \text{ кг/м}^2$)

$$m_{\text{ш}} = m_{\text{ш}} \cdot F_n = 150 \cdot 0,0052783 = 0,792 \text{ кг}; \quad (4.2)$$

- масса неуравновешенных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k \cdot F_n = 140 \cdot 0,0052783 = 0,739 \text{ кг}. \quad (4.3)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$m_{\text{ш.п.}} = 0,275 \cdot m_{\text{ш}} = 0,275 \cdot 0,792 = 0,218 \text{ кг}. \quad (4.4)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа

$$m_{\text{ш.к.}} = 0,725 \cdot m_{\text{ш}} = 0,725 \cdot 0,792 = 0,574 \text{ кг}. \quad (4.5)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение

$$m_j = m_n + m_{\text{ш.п.}} = 0,528 + 0,218 = 0,746 \text{ кг}. \quad (4.6)$$

Массы, совершающие вращательное движение

$$m_R = m_k + m_{ш.к} = 0,739 + 0,574 = 1,313 \text{ кг.} \quad (4.7)$$

Определяем значения силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс

$$P_j = -m_j j = 0,746 * j \quad (4.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна одного цилиндра

$$K_{Rш} = -m_{ш.к} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,574 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -6,9974 \text{ кН.} \quad (4.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rк} = -m_k \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,739 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -9,0088 \text{ кН.} \quad (4.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2 = -1,0313 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -16,0062 \text{ кН.} \quad (4.11)$$

Сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$P = \Delta P_\Gamma + P_j \text{ (кН)} \quad (4.12)$$

Нормальная сила

$$N = P \operatorname{tg} \beta \quad (\text{кН}) \quad (4.13)$$

Сила, действующая вдоль шатуна

$$S = P * \frac{1}{\cos \beta} \quad (\text{кН}) \quad (4.14)$$

Сила, действующая по радиусу кривошипа

$$K = P * \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \quad (\text{кН}) \quad (4.15)$$

Полная тангенциальная сила

$$T = \frac{p \sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \quad (\text{кН}) \quad (4.16)$$

Результаты динамического расчета графически представлены на плакате.

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = T \cdot R \quad (4.17)$$

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ц.} = M_i = \frac{M_e}{\eta_M} = \frac{145}{0,86} = 168 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (4.18)$$

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

$$M_{кр.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{кр.i} + M_{кр.i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{360^\circ} = 155 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.19)$$

Ошибка расчета:

$$\Delta = (168-161) \cdot 100 / 168 = 4,2\% \quad (4.20)$$

Максимальный и минимальный крутящие моменты:

$$M_{кр.макс} = 409,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.21)$$

$$M_{кр.мин} = - 57,0 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (4.22)$$

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{Rш} = (K - 5108) \text{ Н}. \quad (4.23)$$

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

$$R_{ш.ш.ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{ш.ш.i} + R_{ш.ш.i+1}) / 2) \cdot 10^\circ / 720^\circ = 9342 \text{ Н} \quad (4.24)$$

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа

$$K_{Pк} = P_k + K_{Rк} = (P_k - 15324), \text{ Н} \quad (4.28)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала

$$R_k = \sqrt{R_{u.u}^2 + K_{Rk}^2} \quad (4.29)$$

Сила, действующая на первую коренную шейку

$$R_{к.ш.1} = -0,5 * R_{k1} \quad (4.30)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку

$$R_{к.ш.2} = \sqrt{T_{k2}^2 + K_{k2}^2} \quad (4.31)$$

где:

$$T_{k2} = -0.5 * (T_1 + T_2 * \cos \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \sin \gamma_{k(1-2)}) = -0.5 * (T_1 + T_2 * \cos 180^\circ - K_{pk2} * \sin 180^\circ) = -0.5 * (T_1 - T_2); \quad (4.32)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk1} + T_2 * \sin \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \cos \gamma_{k(1-2)}) = -0.5 * (T_1 + T_2 * \sin 180^\circ - K_{pk2} * \cos 180^\circ) = -0.5 * (K_{pk1} - K_{pk2}). \quad (4.33)$$

Сила, действующая на третью коренную шейку

$$R_{к.ш.3} = \sqrt{T_{k3}^2 + K_{k3}^2} \quad (4.34)$$

где:

$$T_{k3} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \sin \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos 0^\circ - K_{pk3} * \sin 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (T_2 + T_3); \quad (4.35)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \cos \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin 0^\circ - K_{pk3} * \cos 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (K_{pk2} - K_{pk3}). \quad (4.36)$$

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

По этим диаграммам определяем:

- для 1 (5)-й коренной шейки:

$$R_{к.ш1ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{к.ш1i} + R_{к.ш1i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 9325 \text{ Н} , \quad (4.36)$$

- для 2 (4)-й коренной шейки:

$$R_{к.ш2ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{к.ш2i} + R_{к.ш2i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 3350 \text{ Н} , \quad (4.37)$$

- для 3-й коренной шейки:

$$R_{к.ш3ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{к.ш3i} + R_{к.ш3i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 18058 \text{ Н} , \quad (4.38)$$

Равномерность крутящего момента

$$\mu = \frac{M_{кр.мах} - M_{кр.мин}}{M_{кр.ср.}} = \frac{199,87 - (201,57 - 147,93)}{147,93} = 4,74 . \quad (4.49)$$

Избыточная работа крутящего момента

$$L_{изб} = A * 4 * \pi / (4 * 90) = 16961 * 4 * \pi / 360 = 592,05 \text{ Дж} , \quad (4.50)$$

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

$$I_0 = L_{изб} / (\delta * \omega^2) = 592,02 / (0,015 * 586^2) = 0,115 \text{ кг} * \text{м}^2 . \quad (4.51)$$

Расчетные силы приведены в Приложении Б и В.

5 Специальная часть

В результате проведенного проблемного анализа существующих путей развития современного автомобильного двигателестроения и проведенных расчетов была доказана целесообразность активного исследования и поиска конструктивных решения, позволяющих реализовать форкамерный процесс для современных автомобильных двигателей. Общий вид предложенной компоновки представлен на рисунке 5.1, где показан предложенный вариант реализации системы непосредственного впрыска топлива в цилиндр двигателя с форкамерой для повышения эффективности процесса сгорания.

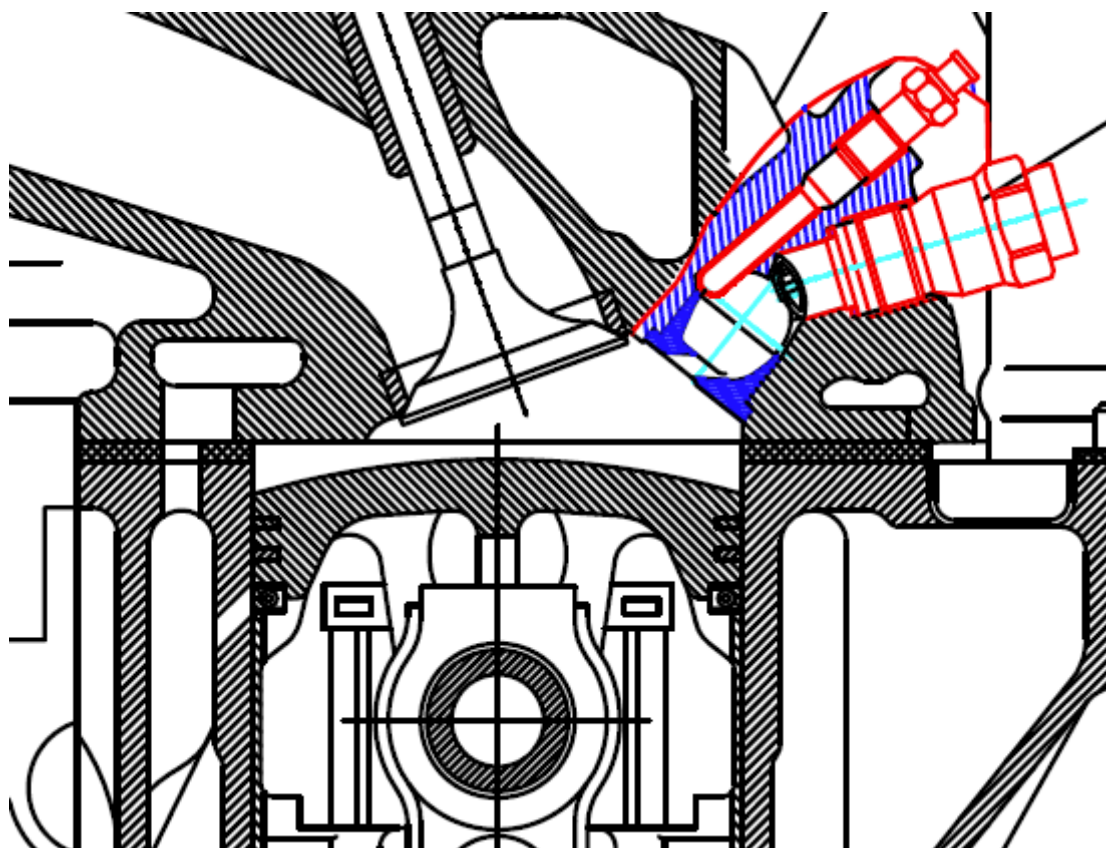


Рисунок 5.1 - Предложенный вариант реализации системы непосредственного впрыска топлива в цилиндр двигателя с форкамерой для повышения эффективности процесса сгорания.

Применение сжатого природного газа позволяет осуществлять процесс непосредственного впрыска топлива в цилиндр двигателя с большей

эффективностью, ведь при подаче природного газа во впускной коллектор мы теряем до 10 - 15% по наполнению. а при предложенной схеме впуска, у нас нет снижения литровой мощности двигателя. А расслоение заряда в форкамере и основной камере сгорания обеспечивает стабильное сгорание при любой нагрузке на двигатель. Осуществление смесеобразования с возможностью эффективного сжигания топлива на стехиометрическом составе смеси позволяет использовать самый простой и эффективный каталитический нейтрализатор отработавших газов [10-14].

Рассмотрим подробнее способ подачи топлива, предложенные в работе для выполнения поставленных задач работы.

Режим максимальной мощности, этот режим представлен в выполненных расчетах и на плакате ВСХ, здесь идет двойная работа топливной форсунки, то есть в начале процесса сжатия мы подаем сжатый природный газ в размере 40-70% от необходимого и он за счет высокой диффузионной активности распространяется по камере сгорания, а уже непосредственно перед воспламенением за 15 градусов до подачи искры, происходит впрыск запальной части в форкамеру и природный газ не успев перемешаться с остальными участниками процесса сгорания эффективно воспламеняется и сгорает.

Режим средних нагрузок, этот режим характерен тем что природный газ начинает подаваться в процессе впуска воздуха, вытесняя его и тем самым снижая мощность двигателя, а небольшая доля 5-10% до впрыскивается уже непосредственно перед воспламенением в форкамеру свече зажигания.

Режим низких нагрузок, этот режим характерен тем что прикрывается дроссельная заслонка, и наполнение свежим зарядом ухудшается, форсунка также до 90 - 95% природного газа подает на режиме впуска для снижения количества остаточных газов в рабочей смеси, оставшаяся смесь также до впрыскивается к свече зажигания в форкамере. На этом режиме все-таки обеспечивается применение дросселирования для обеспечения поддержания необходимой мощности и при этом сохранить минимальную токсичность отработавших газов.

Количество остаточных газов и коэффициент избытка воздуха при дросселировании для форкамеры, основной камеру сгорания и двигателя в целом можно рассчитать по предложенной схеме, которая приведена на рисунке 5.2 [14-16].

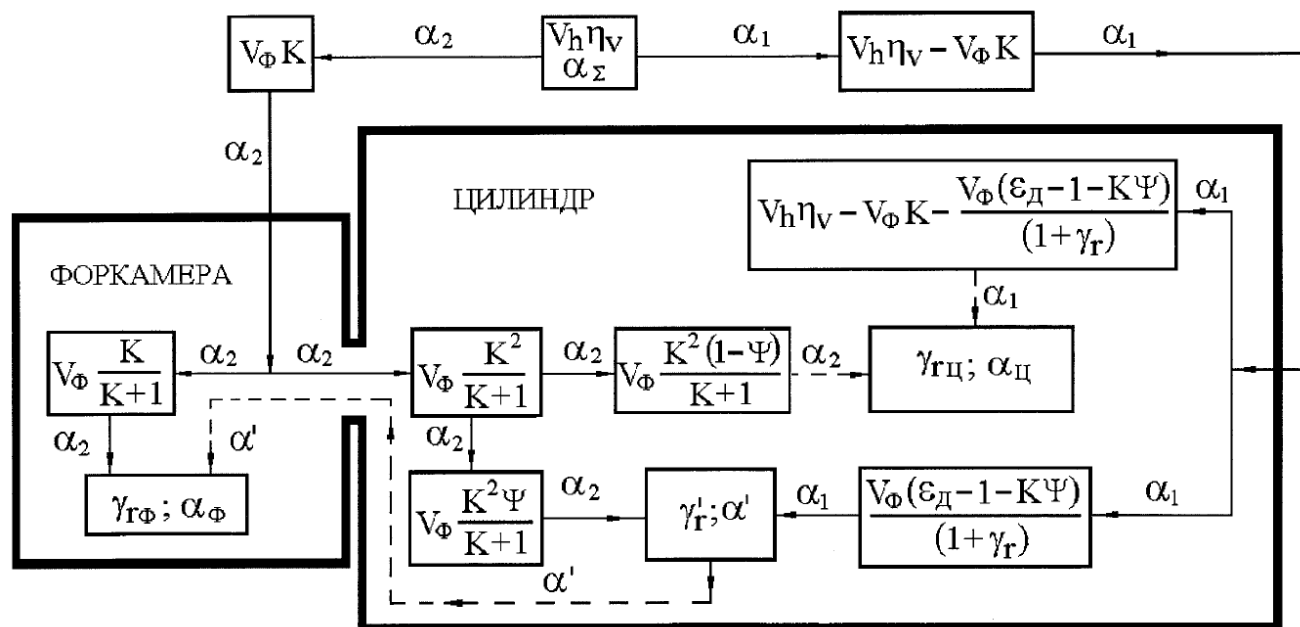


Рисунок 5.2 - Схема расчета коэффициента избытка воздуха и коэффициента остаточных газов для форкамеры, основной камеру сгорания и двигателя в целом

На основании заданных предпосылок и разработанной конструкции была проведена оценка нагрузочных параметров работы форкамерного двигателя в программном пакете Дизель-РК, результаты моделирования нагрузочной характеристики форкамерного двигателя на частичных режимах, при частоте вращения 1000 мин^{-1} , представлена на рисунке 5.3. Где из рисунка мы можем видеть как эффективно снижается токсичность при сохранении высокой эффективности процесса сгорания, а главное практически не изменилась литровая мощность двигателя при переходе с жидкого топлива на газообразное (сжатый природный газ) [17].

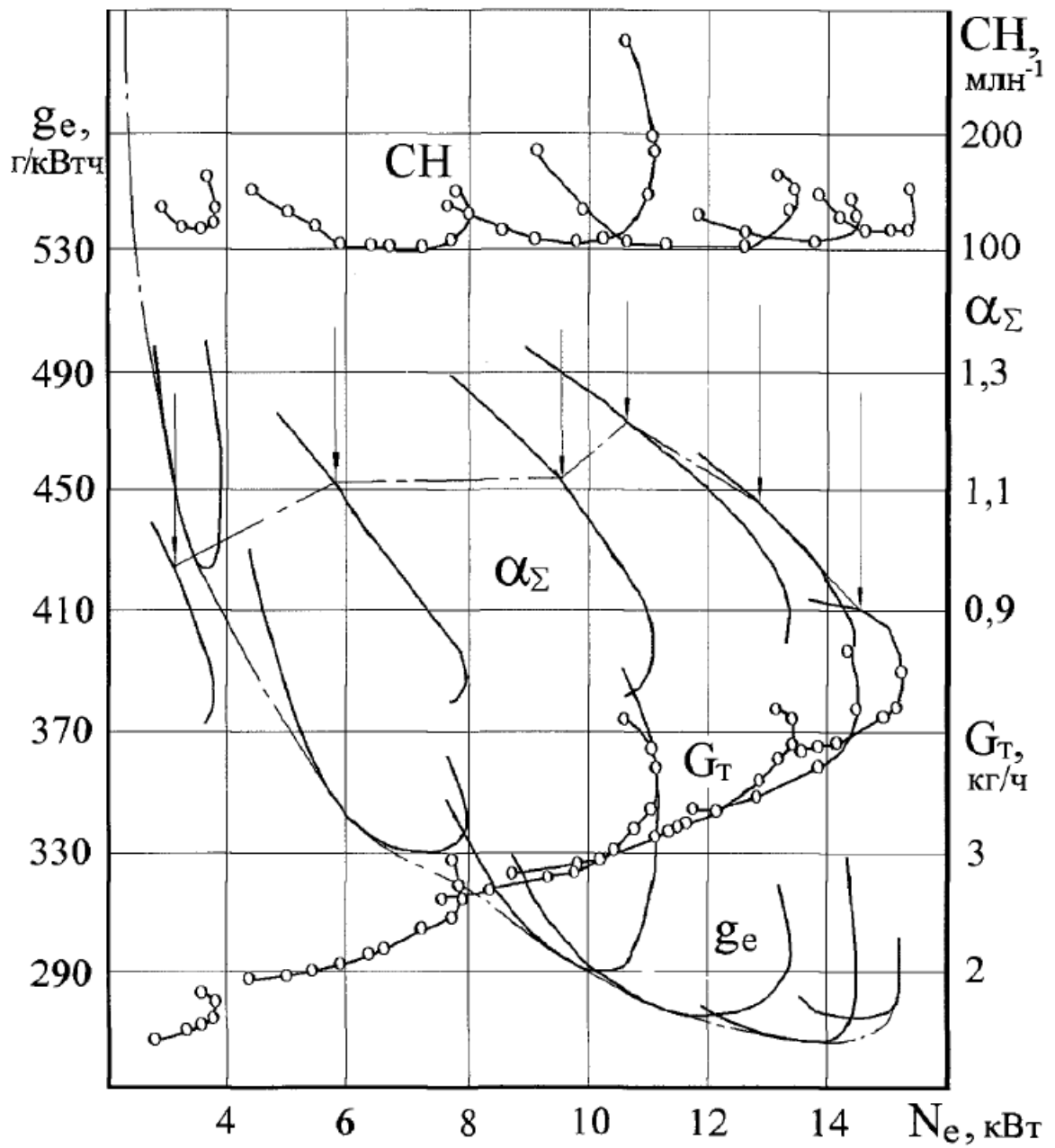


Рисунок 5.3 - Нагрузочная характеристика форкамерного двигателя на частичных режимах, при частоте вращения 1000 мин^{-1}

6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

В этом разделе рассмотрены вопросы соответствия конструкторской разработки требованиям действующего в РФ технического регламента «о безопасности АТС в эксплуатации» [СПЕЦИАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ «О БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»].

Как известно, согласно статье 1 «Цели технического регламента» он предусматривает использование организационно-технических мероприятий по обеспечению защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений при эксплуатации автотранспортных средств.

При создании и эксплуатации автотранспортного средства, двигатель которого работает на газовом топливе должны строго соблюдаться действующие нормы и стандарты установленные Комитетом по внутреннему транспорту ЕЭК ООН, техническими регламентами РФ.

В Таблице 6.1 приведены границы предельного допустимого содержания углеводородов в отработавших газах газобаллонных автомобилей согласно ГОСТ 17.2.02.06-99 Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах газобаллонных автомобилей. [18]

Таблица 6.1- Предельное допустимое содержание углеводородов

Частота вращения коленчатого вала двигателя	Оксид углерода, объёмная доля, % по видам моторного топлива		Углеводороды, объёмная доля, млн ⁻¹ по видам моторного топлива и рабочему объёму для двигателей рабочим объёмом:			
	СНГ	СПГ	до 3 дм ³ включительно		свыше 3 дм ³	
			СНГ	СПГ	СНГ	СПГ
n _{min}	3,0	2,0	1000	700	2200	1800
n _{пов}	2,0	1,5	600	400	900	750

При работе на газообразном топливе исключается возможность попадания жидкой пленки на зеркало цилиндров двигателя, вследствие чего не происходит смывания масляной пленки и, как следствие, снижается изнашивание цилиндропоршневой группы. При работе на газе срок службы моторного масла увеличивается в 1,5 – 2 раза, в результате чего расход масла в эксплуатации уменьшается на 15 – 20 % , возрастает моторесурс двигателя, срок службы свечей зажигания возрастает.

Так как в процессе сгорания газовое моторное топливо сгорает медленнее и мягче, двигатель не испытывает сильных ударных нагрузок на цилиндр и поршневую группу, как на бензиновом аналоге. Уровень вибрации будет ниже. Для форкамерного ДВС на газовом топливе необходимо изменить угол опережения зажигания во избежании детонации. Давление в цилиндре в процессе сгорания поднимается порядка до 8,5-9 МПа, за счет улучшения наполнения при непосредственном спуске топлива в цилиндр. (Данная информация приведена в приложении А)

Концентрацию нормируемых вредных газообразных компонентов отработавших газов измеряют газоанализаторами. Газоанализаторы должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51249.

Газообразные углеводородные топлива относятся к наиболее чистым в экологическом отношении моторным топливам.

В соответствии с Техническим регламентом № 609 «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ» экологический класс Евро-5 вводится с 1 января 2016 года. С этого времени, все автомобили, попадающие на территорию России должны соответствовать данному экологическому стандарту.

Исходя из выше изложенного текста, следует, что ДВС, работающий на сжатом природном газе менее токсичен по сравнению с бензиновыми и дизельными аналогами. Процесс сгорания в ДВС, использующего в качестве рабочего тела СПГ протекает более равномерно и является более мягким,

вследствие чего моторесурс ДВС возрастает. Помимо этого ДВС характеризуется меньшей виброакустической возбудимостью. Уровень вибрации корпуса ДВС работающего на СПГ ниже уровня его дизельного аналога, примерно на 2..3 дБА [19-20].

В заключении, следует указать, что ДВС разрабатываемый в рамках выпускной работы, соответствует экологическим нормам Евро 4, Евро 5, при его оснащении эффективной системой снижения токсичности отработавших газов, включающей трехкомпонентный каталитический нейтрализатор, оборудованный кислородными датчиками и т.д. Это значит, что потенциально возможно его производство и установка на автомобили.

Необходимо отметить, что улучшение экологической безопасности автомобильного транспорта только путем технологического совершенствования компонентного и химического состава топлив (кстати, это очень сложный и энергоемкий путь) не позволит кардинальным образом защитить окружающую среду от вредного воздействия ОГ автомобильных двигателей. Для решения этой задачи необходимы конструктивные мероприятия по соответствующей модернизации конструкции автомобильных двигателей и транспортных средств: оснащение их комплексными электронными системами управления и катализатором, каталитическими нейтрализаторами ОГ, сажевыми фильтрами и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе произведена расчетная оценка возможностей и эффективности использования двигателя с форкамерой для повышения эффективности сжигания сжатого природного газа. По результатам работ были сделаны следующие основные выводы:

- предложено использовать СПГ в качестве моторного топлива;
- проведены расчеты, показавшие работоспособность двигателя спроектированного двигателя с форкамерой;
- эффективный КПД двигателя при использовании предложенной схемы подачи топлива по результатам расчета увеличивается в среднем на 5-7%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ 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. Auer, M. FVV-Zylindermodul. Tutorial und Referenzhandbuch. Frankfurt am Main [Text] / M. Grill, M. Auer // Kapitel 11 bis 16 in Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen. 2009. – pp. 512-543
3. Beran, R. Entwicklung des H17/24G - Dem ersten koreanischen Gasmotor [Text] / R. Beran, T. Baufeld, H. Philipp, J. T. Kim, J. S. Kim // in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007. – pp. 55-68.
4. Bonnevie-Svendsen, A. Double-Vibe-Model for heat release in lean burn gas engines with prechamber ignition [Text] / Bonnevie-Svendsen, A., Boulouchos, K., Lämmle, Ch., Vlakos, I. // in: 6. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau-Roßlau. 2009. - pp. 173-208.
- 1 Chmela, F., Dimitrov, D. Simulation der Verbrennung bei Vorkammer-Großgasmotoren [Text] / F. Chmela, D. Dimitrov // in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007. - pp. 613-645.
- 2 Chmela, F. Konsistente Methodik zur Vorausrechnung der Verbrennung in Kolbenkraftmaschinen [Text] / F. Chmela, D. Dimitrov, G. Pirker, A. Wimmer // MTZ Motortechnische Zeitschrift 67. 2006. - pp. 6-25.
5. Dobski, T. Combustion of Low Calorific Natural gases in Gas Engines in Pipeline Gas Transportation Systems [Text] / T. Dobski, J. Wawrzyniak, B. Jancy // in: 5. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau. 2007. - pp. 266-305.
6. Haslacher, R. Einsatz optischer Messmethoden bei der Entwicklung von Brennverfahren für Wasserstoff-Erdgas-Gemische [Text] / R. Haslacher, Ch. Skalla, Th. Jauk, H. Eichlseder // in 6. Dessauer Gasmotorenkonferenz. Dessau-Roßlau. 2009. - pp. 702-722.
7. Heinz, C. Investigation of a Novel Pre-Chamber-Concept for Lean Premixed Combustion in Large Bore Gas Motors [Text] / C. Heinz, F. Mittermayer, T.

- Sattelmayer // Projektplakat. Technische Universität München. 2005. - pp. 135-147.
8. Defu, Z. Investigation on the Combustion Characteristics of the Compression Ignition Divided Chamber Combustion System of the Natural Gas Engine [Text] / Z. Defu, Z. Qingping // in: CIMAC Congress. Wien. 2007.
 9. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
 10. Кузнецов, Ю.М. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта [Текст]/ Ю.М. Кузнецов // Транспорт, М.: 1986 - 272 с.
 11. Луканин, В.Н. Промышленная транспортная экология [Текст]/ В.Н. Луканин // Высшая школа, М.: 2001 - 273 с.
 12. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности [Текст]/ П.А. Долин // Энергоатомиздат, М.: 1985 - 824 с.
 13. Duranti, A. Ethnography of Speaking: Toward a Linguistics of praxis [Text] / A. Duranti // Linguistics: The Cambridge Survey. – Cambridge, 1988. – PP. 210-228.
 14. Du, Y.L. Optimization of Zr-based hydrogen storage alloys for nickel-hydride batteries [Text] / Y. L. Du, G. Chen, G. L. Chen // Intermetallics. - 2005. - Т. 13. - №3-4. - С. 399-402.
 15. Au, M. Hydrogen storage properties of magnesium based nanostructured composite materials [Text] / M. Au // Materials Science and Engineering. - 2005. - Т. 117. - №1. - С. 37-44.
 16. Collier, K. Emission results from the new development of a dedicated hydrogen - enriched natural gas heavy duty engine [Text] / K. Collier, N. Mulligan, D. S. Shin, S. Brandon // SAE. - 2005. - №2005-01-0235.
 17. Flekiewicz, B. Hydrogen enriched CNG - a tool for dual fuel engine overall performance improvement [Text] / B. Flekiewicz, M. Flekiewicz // SAE. - 2009. - №2009-01-2681. - С. 38-49.

18. Allgeier, T. Advanced emission and fuel economy concept using combined injection of gasoline and hydrogen in SI engines [Text] / T. Allgeier [и др.] // SAE. - 2004. - №2004-01-1270.
19. David, E. An overview of advanced materials for hydrogen storage [Text] / E. David // Journal of Materials Processing Technology. - 2005. - №162. - С. 169-177.
20. Dehoche, Z. Ti-V-Mn based alloys for hydrogen compression system [Text] / Z. Dehoche, M. Savard, F. Laurencelle, J. Goyette // Journal of Alloys and Compounds. - 2005. - Т. 400. - №1-2. - С. 276-280.

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 _y	T _y	Угол опережения зажигания	Полнота сгорания топлива	E ₂ , МПа	Коэффициент остаточных газов	λ	Показатель характера сгорания	Частота вращения КВ
Двигатель с форкамерой													
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

Таблица А2 - Результаты теплового расчета двигателя с форкамерой при n = 900 мин⁻¹

Удельный объем	s	γ (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	Температура предпологаемая/, К	Температура действительная
0,10175	0,0275	1,14425	8,79E-05	815,617			0,000176	2,201299	1	1	0	0	-12	810,625	810,625
0,09971	0,0231	1,12132	0,000615	828,959	1,35301	6,665569	0,001229	2,273979	1	1	0,000176	1	-11	820,609	820,60913
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	837,3089	837,3102
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	864,0221	864,02876
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	903,7057	903,72939
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	958,7944	958,86239
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	1031,045	1031,2098
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	1121,434	1121,782
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	1230,119	1230,7662
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	1356,435	1357,5147
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	1498,911	1500,5573
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	1655,315	1657,6379
0,08892	0	1	0,0292	1910,124	1,30173	7,628437	0,0584	5,685638	1,0024	1,00219	0,261925	12	0	1822,706	1825,7813

Продолжение таблица А2

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	1997,542	2001,4018
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	2175,82	2180,4582
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	2353,281	2358,6562
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	2525,637	2531,685
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	2688,83	2695,4707
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	2839,274	2846,4205
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	2974,07	2981,6341
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	3091,159	3099,0568
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	3189,406	3197,5583
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	3268,595	3276,93
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	3329,348	3337,8043
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	3372,986	3381,5089
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	3401,333	3409,8784
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	3416,519	3425,0486
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	3420,776	3429,259
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	3416,27	3424,6836
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	3404,98	3413,3051
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	3388,612	3396,8352
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	3368,572	3376,6822
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	3345,962	3353,9537
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	3321,619	3329,4862
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	3296,149	3303,8894

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

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	Температура предпологаемая/, К	Температура действительная
0,1082	0,0373	1,1959	0,0000	795,6981			0,0001	2,0149	1,0000	1,0000	0,0000	0	-14	791,7779	791,77789

Продолжение таблица А3

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	799,6183	799,61842
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	809,9932	809,9938
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	824,5807	824,58325
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	845,1002	845,10774
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	873,2199	873,23929
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	910,4623	910,5067
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	958,1097	958,20307
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	1017,123	1017,3033
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	1088,075	1088,3981
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	1171,11	1171,6469
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	1265,916	1266,749
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	1371,716	1372,9304
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	1487,274	1488,949
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	1610,917	1613,1168
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	1740,579	1743,3461
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	1873,868	1877,2198
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	2008,157	2012,0872
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	2140,7	2145,183
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	2268,768	2273,7613
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	2389,788	2395,2366
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	2501,475	2507,319
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	2601,957	2608,1321
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	2689,859	2696,3016
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	2764,356	2771,0074
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	2825,189	2831,9922
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	2872,624	2879,5304
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	2907,393	2914,3579
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	2930,589	2937,5751
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	2943,557	2950,5333
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	2947,778	2954,7165
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	2944,752	2951,6328
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	2935,916	2942,722

Продолжение таблица А3

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	2922,571	2929,2889
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	2905,841	2912,4609
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	2886,656	2893,1714
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	2865,757	2872,1628
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	2843,712	2850,0041
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	2820,94	2827,1171

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

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 теплового деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предполагаемая, К	Температура действительная
0,1153	0,0499	1,2619	0,0000	761,9585			0,0000	1,8070	1,0000	1,0000	0,0000	0	-16	758,1919	758,1919
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	765,7252	765,7253
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	774,4509	774,4513
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	785,3857	785,3871
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	799,6724	799,6758
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	818,527	818,5349
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	843,1852	843,202
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	874,8429	874,8768
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	914,5956	914,6604
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	963,3787	963,496
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	1021,914	1022,115
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	1090,667	1090,993
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	1169,809	1170,309
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	1259,195	1259,924
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	1358,344	1359,357
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	1466,431	1467,776
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	1582,288	1584,005
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	1704,421	1706,535
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	1831,041	1833,563

Продолжение таблица А4

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	1960,113	1963,041
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	2089,43	2092,748
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	2216,697	2220,379
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	2339,628	2343,641
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	2456,053	2460,36
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	2564,02	2568,579
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	2661,886	2666,656
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	2748,389	2753,33
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	2822,702	2827,775
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	2884,446	2889,616
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	2933,689	2938,924
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	2970,897	2976,17
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	2996,881	3002,166
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	3012,709	3017,986
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	3019,621	3024,871
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	3018,937	3024,146
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	3011,975	3017,131
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	2999,983	3005,077
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	2984,09	2989,115
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	2965,273	2970,223
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	2944,346	2949,217
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	2921,96	2926,75
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	2898,62	2903,328
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	2874,707	2879,331

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

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	Температура предпологаемая/, К	Температура действительная
0,1228	0,0683	1,3585	0,0000	733,4085			0,0000	1,6330	1,0000	1,0000	0,0000	0	-19	729,7056	729,7056

Продолжение таблица А5

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	737,1113	737,1113
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	744,8723	744,8725
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	753,3955	753,396
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	763,1793	763,1803
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	774,7972	774,7992
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	788,8821	788,8858
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	806,1086	806,1152
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	827,1729	827,1843
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	852,7703	852,7897
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	883,5712	883,6029
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	920,1952	920,2456
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	963,1873	963,2644
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	1012,994	1013,108
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	1069,941	1070,104
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	1134,217	1134,441
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	1205,857	1206,154
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	1284,724	1285,106
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	1370,507	1370,983
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	1462,706	1463,282
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	1560,634	1561,313
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	1663,42	1664,203
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	1770,019	1770,902
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	1879,231	1880,21
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	1989,727	1990,795
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	2100,084	2101,232
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	2208,827	2210,046
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	2314,475	2315,757
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	2415,594	2416,929
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	2510,847	2512,227
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	2599,042	2600,458
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	2679,179	2680,623
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	2750,478	2751,945

Продолжение таблица А5

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	2812,412	2813,895
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	2864,713	2866,206
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	2907,372	2908,87
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	2940,623	2942,123
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	2964,92	2966,417
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	2980,897	2982,388
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	2989,326	2990,808
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	2991,071	2992,541
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	2987,041	2988,498
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	2978,146	2979,587
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	2965,259	2966,684
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	2949,192	2950,599
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	2930,665	2932,054
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	2910,306	2911,677
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	2888,639	2889,991
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	2866,092	2867,424
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	2843,001	2844,313
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	2819,626	2820,92

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

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	Температура предполагаемая, К	Температура действительная
0,1500	0,1080	1,5671	0,0000	700,3764			0,0000	1,2760	1,0000	1,0000	0,0000	0	-24	696,551	696,5511
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	704,202	704,2017
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	712,063	712,0627
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	720,356	720,3562
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	729,374	729,375
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	739,476	739,4771
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	751,076	751,0785

Продолжение таблица А6

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	764,642	764,6459
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	780,682	780,688
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	799,733	799,7438
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	822,353	822,3701
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	849,1	849,1263
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	880,516	880,5581
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	917,116	917,18
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	959,363	959,4583
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	1007,65	1007,794
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	1062,31	1062,504
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	1123,54	1123,81
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	1191,46	1191,82
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	1266,04	1266,516
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	1347,14	1347,743
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	1434,45	1435,199
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	1527,52	1528,431
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	1625,74	1626,824
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	1728,35	1729,613
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	1834,43	1835,881
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	1942,94	1944,579
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	2052,72	2054,539
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	2162,51	2164,507
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	2271,01	2273,17
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	2376,88	2379,196
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	2478,82	2481,275
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	2575,58	2578,161
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	2666,02	2668,713
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	2749,15	2751,938
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	2824,15	2827,021
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	2890,42	2893,351
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	2947,56	2950,542
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	2995,42	2998,438

Продолжение таблица А6

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	3034,06	3037,107
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	3063,77	3066,828
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	3085,01	3088,067
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	3098,39	3101,441
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	3104,66	3107,688
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	3104,61	3107,617
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	3099,1	3102,077
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	3088,97	3091,914
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	3075,04	3077,942
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	3058,05	3060,912
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	3038,68	3041,504
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	3017,53	3020,305
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	2995,08	2997,813
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	2971,76	2974,437
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	2947,87	2950,504
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	2923,68	2926,268

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Таблица Б1 - Силы, действующих на шатунную шейку коленчатого вала.

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

Продолжение таблица Б1

4,131907	-3,85665697	-12,4036	13,0737	-26,1572	26,48154	470
3,576417	-4,49629949	-13,0432	13,5246	-26,7968	27,03446	480
2,907196	-4,96132837	-13,5082	13,8175	-27,2619	27,41645	490
2,044784	-4,93106926	-13,478	13,6322	-27,2316	27,30828	500
1,253454	-4,71319899	-13,2601	13,3192	-27,0137	27,04281	510
0,6211	-4,77596191	-13,3229	13,3373	-27,0765	27,08363	520
1,6E-15	-4,34887096	-12,8958	12,8958	-26,6494	26,64942	530
-0,549903	-4,22848786	-12,7754	12,7872	-26,529	26,53474	540
-1,075564	-4,04430158	-12,5912	12,6371	-26,3449	26,3668	550
-1,600889	-3,86060113	-12,4075	12,5104	-26,1612	26,21009	560
-2,082313	-3,55360919	-12,1005	12,2784	-25,8542	25,93788	570
-2,464224	-3,09804181	-11,6449	11,9028	-25,3986	25,51785	580
-2,670791	-2,49287474	-11,0398	11,3583	-24,7934	24,93686	590
-2,619181	-1,77711249	-10,324	10,6511	-24,0777	24,2197	600
-2,242066	-1,03844115	-9,58535	9,8441	-23,339	23,44644	610
-1,515441	-0,4085092	-8,95542	9,0827	-22,7091	22,75957	620
-0,483542	-0,04104444	-8,58795	8,6016	-22,3416	22,34683	630
0,729635	-0,07466854	-8,62158	8,6524	-22,3752	22,38711	640
1,930892	-0,58935173	-9,13626	9,3381	-22,8899	22,9712	650
2,89261	-1,57050739	-10,1174	10,5228	-23,8711	24,04568	660
3,404911	-2,8946388	-11,4415	11,9374	-25,1952	25,42422	670
3,330985	-4,34455494	-12,8915	13,3149	-26,6451	26,85251	680
2,64879	-5,65271975	-14,1996	14,4446	-27,9533	28,07849	690
1,465637	-6,56203129	-15,1089	15,1799	-28,8626	28,89977	700
3,38E-15	-6,88754422	-15,4345	15,4345	-29,1881	29,18809	710
0	0	-8,54691	8,5469	-22,3005	22,30055	720

Таблица Б3 – Расчет сил, действующих на коренные шейки коленчатого вала.

јкв, град	Rк1, Н	T1, Н	Крк1, Н	Tк2, Н	Кк2, Н	Rк.ш2, Н	јкв, град	T2, Н	Крк2, Н	Tк3, Н	Кк3, Н	Rк.ш3, Н	јкв, град	T3, Н	Крк3, Н
1-й кр.			2-я кор. шейка				2-й кр.			3-я кор. шейка			3-й кр.		
0	20781,1	0	-20781,1	2E-13	1428,4	1428,4	180	5E-13	-17924,4	1E-12	-18083,4	18083,4	540	1,6E-12	-18242,4
10	20553,5	-1475,7	-20500,5	476,88	1296,9	1381,8	190	-521,9	-17906,7	-535,9	-18014,4	18022,3	550	-549,9	-18122
20	19813	-2687,9	-19629,8	821,13	902,18	1219,9	200	-1045,7	-17825,5	-1060,6	-17881,7	17913,1	560	-1075,6	-17937,8
30	18630,6	-3393	-18319	916,67	332,11	974,98	210	-1559,7	-17654,8	-1580,3	-17704,5	17774,9	570	-1600,9	-17754,1
40	17221,8	-3493,7	-16863,7	730,68	-249,1	771,97	220	-2032,4	-17361,9	-2057,3	-17404,5	17525,7	580	-2082,3	-17447,2
50	15815,4	-3008	-15526,7	298,91	-698,5	759,75	230	-2410,2	-16923,7	-2437,2	-16957,6	17131,9	590	-2464,2	-16991,6
60	14672,4	-2070,8	-14525,6	-285,11	-916,5	959,82	240	-2641	-16358,6	-2655,9	-16372,5	16586,5	600	-2670,8	-16386,4
70	14012,9	-889,96	-13984,6	-874,61	-849,8	1219,5	250	-2639,2	-15684,2	-2629,2	-15677,4	15896,4	610	-2619,2	-15670,7
80	13923,6	312,98	-13920,1	-1330,3	-530,4	1432,1	260	-2347,6	-14980,8	-2294,8	-14956,4	15131,4	620	-2242,1	-14932
90	14321,2	1349,99	-14257,4	-1552,7	-54,66	1553,7	270	-1755,5	-14366,8	-1635,5	-14334,4	14427,4	630	-1515,4	-14302,1
100	15005,3	2085,88	-14859,6	-1505,6	443,78	1569,7	280	-925,38	-13972,1	-704,46	-13953,3	13971,1	640	-483,54	-13934,6
110	15770,1	2477,2	-15574,3	-1242	840,73	1499,8	290	-6,7274	-13892,9	361,45	-13930,5	13935,2	650	729,635	-13968,2
120	16467,9	2545,96	-16269,9	-888,07	1070,7	1391,1	300	769,81	-14128,5	1350,3	-14305,7	14369,3	660	1930,89	-14482,9
130	17022,9	2358,54	-16858,7	-619,21	1178,5	1331,3	310	1120,1	-14501,7	2006,4	-14982,9	15116,6	670	2892,61	-15464
140	17420,7	1999,36	-17305,6	-622,79	1385,6	1519,1	320	753,78	-14534,4	2079,3	-15661,3	15798,7	680	3404,91	-16788,2
150	17674,9	1540,17	-17607,7	-14140	19295	23922	330	-26740	20983,1	-11705	1372,493	11784,7	690	3330,99	-18238,1
160	17819,9	1036,19	-17789,8	-17495	38179	41996	340	-33954	58567,5	-15653	19510,63	25013,5	700	2648,79	-19546,3
170	17896	519,526	-17888,4	-8475,2	38780	39695	350	-16431	59671,3	-7482,6	19607,87	20987,1	710	1465,64	-20455,6
180	17924,4	4,9E-13	-17924,4	-6E-12	23720	23720	360	-1E-11	29514,6	-4E-12	4366,774	4366,77	720	3,4E-12	-20781,1
190	17914,3	-521,9	-17906,7	2566,3	12328	12592	370	4610,7	6749,57	2305,3	-7015,76	7384,81	0	0	-20781,1
200	17856,1	-1045,7	-17825,5	2637,3	6478,5	6994,7	380	4229	-4868,5	1376,7	-12684,5	12759	10	-1475,7	-20500,5
210	17723,6	-1559,7	-17654,8	6259,3	9027,4	10985	390	10959	399,906	4135,4	-9614,96	10466,6	20	-2687,9	-19629,8
220	17480,4	-2032,4	-17361,9	4861,7	5003,4	6976,4	400	7691	-7355,11	2149	-12837,1	13015,7	30	-3393	-18319
230	17094,4	-2410,2	-16923,7	4023,7	3045,4	5046,3	410	5637,3	-10832,9	1071,8	-13848,3	13889,7	40	-3493,7	-16863,7

Продолжение таблица Б3

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

Продолжение таблица Б3

510	18935,3	2044,78	-18824,6	643,1	293,26	706,81	690	3331	-18238,1	2042,4	-16386,2	16513	320	753,776	-14534,4
520	18648,9	1253,45	-18606,7	697,67	-469,8	841,08	700	2648,8	-19546,3	-12046	718,4103	12067	330	-26740	20983,08
530	18679,8	621,1	-18669,5	422,27	-893	987,84	710	1465,6	-20455,6	-16244	19055,97	25040,1	340	-33954	58567,52
540	18242,4	1,6E-12	-18242,4	9E-13	-1269	1269,3	720	3E-12	-20781,1	-8215,4	19445,12	21109,4	350	-16431	59671,32
550	18130,4	-549,9	-18122	274,95	-1330	1357,7	0	0	-20781,1	-5E-12	4366,774	4366,77	360	-1E-11	29514,63
560	17970,1	-1075,6	-17937,8	-200,05	-1281	1296,8	10	-1475,7	-20500,5	1567,5	-6875,45	7051,87	370	4610,66	6749,573
570	17826,2	-1600,9	-17754,1	-543,53	-937,8	1084	20	-2687,9	-19629,8	770,53	-12249,2	12273,4	380	4229,02	-4868,5
580	17571	-2082,3	-17447,2	-655,36	-435,9	787,11	30	-3393	-18319	3782,9	-8959,56	9725,43	390	10958,8	399,9064
590	17169,3	-2464,2	-16991,6	-514,74	63,959	518,7	40	-3493,7	-16863,7	2098,7	-12109,4	12289,9	400	7691,03	-7355,11
600	16602,6	-2670,8	-16386,4	-168,61	429,85	461,74	50	-3008	-15526,7	1314,6	-13179,8	13245,2	410	5637,25	-10832,9
610	15888	-2619,2	-15670,7	274,21	572,53	634,81	60	-2070,8	-14525,6	1291,2	-13499,4	13561	420	4653,22	-12473,3
620	15099,4	-2242,1	-14932	676,06	473,68	825,49	70	-889,96	-13984,6	1746,1	-13714,8	13825,6	430	4382,22	-13445,1
630	14382,1	-1515,4	-14302,1	914,21	190,97	933,94	80	312,98	-13920,1	2391,2	-14096,5	14297,9	440	4469,39	-14272,9
640	13943	-483,54	-13934,6	916,76	-161,4	930,87	90	1350	-14257,4	2989,8	-14699,5	15000,4	450	4629,54	-15141,5
650	13987,3	729,635	-13968,2	678,12	-445,7	811,49	100	2085,9	-14859,6	3379,8	-15459	15824,1	460	4673,81	-16058,3
660	14611	1930,89	-14482,9	273,15	-545,7	610,26	110	2477,2	-15574,3	3494,3	-16264,4	16635,5	470	4511,4	-16954,5
670	15732,3	2892,61	-15464	-173,33	-402,9	438,62	120	2546	-16269,9	3338,9	-17010	17334,7	480	4131,91	-17750,2
680	17130	3404,91	-16788,2	-523,19	-35,27	524,37	130	2358,5	-16858,7	2967,5	-17624,3	17872,4	490	3576,42	-18389,8
690	18539,8	3330,99	-18238,1	-665,82	466,26	812,84	140	1999,4	-17305,6	2453,3	-18080,2	18245,9	500	2907,2	-18854,9
700	19724,9	2648,79	-19546,3	-554,31	969,28	1116,6	150	1540,2	-17607,7	1792,5	-18216,2	18304,1	510	2044,78	-18824,6
710	20508	1465,64	-20455,6	-214,72	1332,9	1350,1	160	1036,2	-17789,8	1144,8	-18198,3	18234,2	520	1253,45	-18606,7
720	20781,1	3,4E-12	-20781,1	259,76	1446,3	1469,5	170	519,53	-17888,4	570,31	-18279	18287,9	530	621,1	-18669,5

Таблица Б4 – Силы действующие на шатунную шейку

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

Продолжение таблица Б4

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