

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания
(направленность (профиль/специализация))

на тему Адаптация двигателя ВАЗ для работы на сжиженном нефтяном газе

Тольятти 2017

АННОТАЦИЯ

Разработка двухтопливного ДВС работающего на бензине и на сжиженном нефтяном газе является значимой и актуальной задачей. В бакалаврской работе представлен способ повышения эффективности рабочего процесса с помощью применения компактной камеры сгорания позволившей реализовать большую степень сжатия, при работе на обоих топливах. Как показывают многие исследователи, эффективность процесса сгорания повышается при увеличении степени сжатия.

Цель работы – произвести расчет 4-х тактного 4-х цилиндрового бензинового двигателя с эффективной мощностью $N_e = 57$ кВт при номинальной частоте вращения коленчатого вала $n_N = 5200$ об/мин, работающего на сжиженном нефтяном газе.

По этому в данном бакалаврской работе представлены результаты проектирования двухтопливного ДВС с искровым зажиганием, где топливом является бензин и сжиженный нефтяной газ. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обоснование эффективности применения сжиженного нефтяного газа в бензиновых двигателях.
- Тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, где проведен расчет основных параметров проектируемого двигателя.
- Кинематический расчет показывает изменение кинематических параметров поршневой группы.
- Динамический расчет, где определяются силы и нагрузки действующие в кривошипно-шатунном механизме, а также условия для уравнивания двигателя.
- Расчет основных деталей двигателя, состоящий из расчета наиболее нагруженных элементов ДВС, а именно из расчета поршневой группы, расчет шатунной группы и расчета ко-

The development of a dual-fuel engine operating on gasoline and liquefied petroleum gas is a significant and urgent task. The bachelor's work presents a way to increase the efficiency of the working process by using a compact combustion chamber that has made it possible to realize a large compression ratio when working on both fuels. As shown by many researchers, the efficiency of the combustion process increases with increasing compression.

The purpose of the work is to calculate a 4-stroke 4-cylinder gasoline engine with an effective $N_e = 57$ kW output at a rated engine speed of $n = 5200$ rpm operating on liquefied petroleum gas.

Therefore, this bachelor's work presents the results of the design of a dual-fuel ICE with spark ignition. Where fuel is gasoline and liquefied petroleum gas. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- Substantiation of efficiency of LPG application in gasoline engines.
- Thermal calculation and heat balance of the engine, where the calculation of the main parameters of the engine being designed.
- Kinematic calculation shows the change in the kinematic parameters of the piston group.
- Dynamic calculation, where the forces and loads acting in the crank mechanism are determined, as well as the conditions for balancing the engine.
- Calculation of the main engine parts, consisting of the calculation of the most loaded elements of ICE, namely, from the calculation of the piston group, the calculation of the connecting rod group and calculation of the crankshaft.

ленчатого вала. – Расчет систем двигателя, состоящий из расчета системы охлаждения и расчета системы смазки. – В разделе специальной части, проведен анализ системы питания сжиженным природным газом. Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1 иллюстрирующих материал представленный в пояснительной записке.	– Calculation of engine systems, consisting of calculating the cooling system and calculating the lubrication system. – In the section of the special section, an analysis of the power supply system for liquefied natural gas was carried out. The graphic part of the work contains 8 sheets of A1 format illustrating the material presented in the explanatory note.
---	---

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Перспективы использования сжиженного газа в ДВС.....	8
2 Тепловой расчет двигателя работающего на сжиженном нефтяном газе	11
3 Тепловой баланс.....	23
4 Кинематический расчет.....	25
5 Динамический расчет двигателя работающего на газе.....	26
6 Модернизация системы впрыска газа	34
7 Обзор иностранных источников.....	39
Заключение	46
Список использованных источников.....	47
Приложение А Результаты теплового расчета	49
Приложение Б Результаты кинематического расчета.....	69
Приложение В Результаты динамического расчета.....	71
Приложение Г Силы, действующие в КШМ	77

ВВЕДЕНИЕ

Пропан-бутан (сжиженный нефтяной газ, СНГ, по-английски - liquified petroleum gas, LPG) - это смесь двух газов. В обиходе ее называют кратко: пропан. Пропан-бутан получают из нефти и сконденсированных нефтяных попутных газов. Чтобы эта смесь оставалась жидкой, ее хранят и перевозят под давлением в 1,6 МПа (16 атмосфер). Процесс заправки машин пропаном внешне очень похож на заправку бензином, потому что это - сжиженный газ. Кроме этого, он обладает более высоким октановым числом и лучшими экологическими и эксплуатационными свойствами.

Пропан - Молекулярная формула - C_3H_8 ; Плотность жидкости при атмосферном давлении - 584 кг/м³; Температура кипения при атмосферном давлении -42,1 С; Критическая температура +95,7 С;

Одним из наиболее важных свойств пропана и бутана, отличающих их от других видов автомобильного топлива, является образование при свободной поверхности над жидкой фазой двухфазной системы жидкость - пар, вследствие возникновения давления насыщенного пара, т.е. давления пара в присутствии жидкой фазы в баллоне. В процессе наполнения баллона первые порции сжиженного газа быстро испаряются и заполняют весь его объем, создавая в нем определенное давление. При уменьшении давления газ мгновенно испаряется. Испарение сжиженного газа в баллоне продолжается до тех пор, пока образовавшиеся пары сжиженного газа не достигнут насыщения.

Озабоченность проблемой энергоресурсов привела к появлению ряда демонстрационных программ по использованию новых источников энергии для транспорта. Можно со всей ответственностью сказать, что сжиженный газ теперь можно рассматривать как альтернативное топливо.

1 Перспективы использования сжиженного газа в ДВС

Анализ способов конвертации жидкотопливных двигателей в двигатель питаемые газом, выполнен с использованием расчетных оценок экспериментов.

Высокая критическая температура пропана и бутана позволяет хранить газ в небольших объемах, что очень важно. В качестве примера рассмотрим рисунок 1. Давление насыщенного пара бутана составляет 0,1 МПа при 0 °С и 0,17 МПа при 15 °С, а давление насыщенного пара пропана при этих же температурах 0,59 и 0,9 МПа соответственно. Это различие приводит к значительной разнице в давлении смеси при изменении пропорции пропана и бутана. Давление растет при увеличении температуры, что приводит к большим изменениям объема сжиженного газа, находящегося в жидком состоянии. Следовательно, если сжиженный газ в жидком состоянии полностью заполняет баллон и температура продолжает увеличиваться, то давление будет быстро расти, что может привести к разрушению баллона.

Поэтому никогда не заполняйте баллон сжиженным газом полностью, Обязательно оставляйте паровую подушку, объем которой равен 10% от полной емкости баллона.

Эти два газа (пропан и бутан) различаются между собой температурой кипения, при которой они переходят из жидкого в газообразное состояние. Пропан перестает переходить в газ и остается в жидком состоянии при температуре -43 °С, для бутана эта температура равна 0° С.

В условиях холодного климата (или зимой) в сжиженном нефтяном газе - смеси пропана и бутана, - предназначенном для использования в качестве автомобильного топлива, должен преобладать пропан для лучшей газификации смеси. На газозаправочные станции, поступает сжиженный нефтяной газ двух марок: летний ГТБА - пропан-бутан автомобильный с содержанием 50 + 10% пропана, остальное бутан и зимний ПА - пропан автомобильный с содержанием 90 + 10% пропана. Изменение давления насыщенных паров Р смеси пропана и бутана в зависимости от температуры в баллоне показано на рисунок 2.

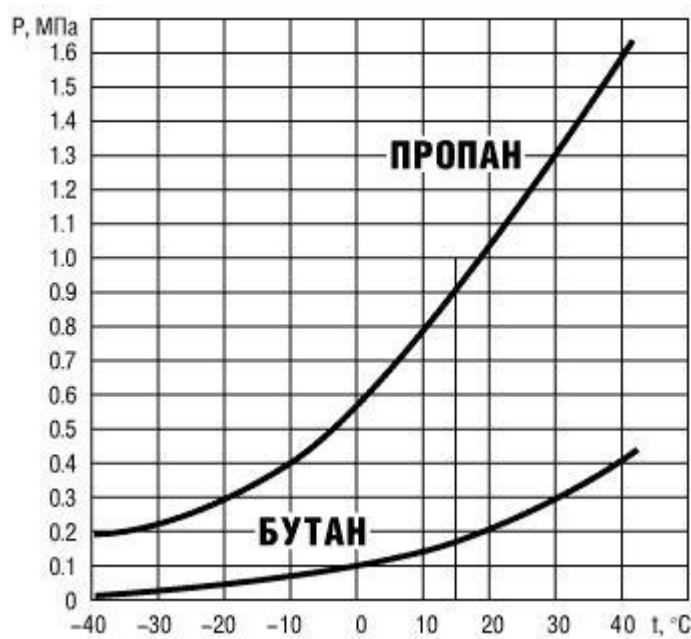


Рисунок 1 - Зависимость давления насыщенных паров пропана и бутана от температуры

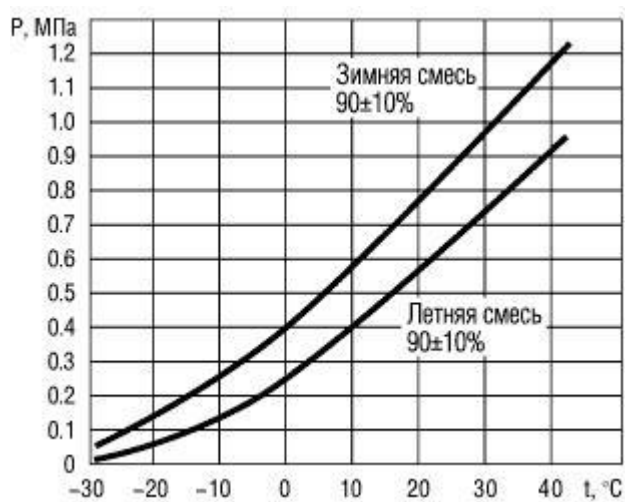


Рисунок 2 - Зависимость давления насыщенных паров смеси пропана и бутана от температуры

Теплота сгорания газа несколько больше, чем у бензина. Однако с увеличением количества подаваемого в двигатель воздуха теплота сгорания несколько уменьшается.

Если мощность двигателя, работающего на бензине, принять за 100%, то мощность двигателя, работающего на газе, будет примерно равна 90%, что приводит к снижению максимальной скорости примерно на 4%, но не надо забы-

вать об экономии денежных средств. Мировое соотношение цены бензина к газу - 10:6.

Снижение мощности двигателя происходит по причине более низкой, чем у бензина, теплоты сгорания газа (см. табл.2). И в результате происходит неполное наполнение цилиндров двигателя газо-воздушной смесью. Иногда ранней установкой угла опережения зажигания до ВМТ на $3 - 5^\circ$ этот недостаток пытаются устранить. В условиях эксплуатации большой разницы при движении автомобиля на газе или на бензине не ощущается.

2 Тепловой расчет двигателя работающего на сжиженном нефтяном газе

Исходные данные: Двигатель ВАЗ 11186 четырехцилиндровый, $i = 4$
 $iV_h = 1,5$ л, частота вращения коленчатого вала $n = 5600$ об/мин. Степень сжатия
 $\varepsilon = 12$. Скоростные режимы работы: $n_{\min} = 1000$ об/мин, $n_M = 3200$ об/мин,
 $n_N = 5600$ об/мин, $n_{\max} = 6000$ об/мин

Топливо

Таблица 5 - Средний элементарный состав сжиженного нефтяного газа

Содержание мЗ	
Пропан C_3H_8	0,4
Бутан C_4H_{10}	0,6

Молекулярная масса газа $m_T = 53,45$ кг/кмоль.

Низшая теплота сгорания топлива

$$\begin{aligned} H_u' &= 90,9C_3H_8 + 119,7C_4H_{10} = \\ &= 90,9 \cdot 0,4 + 119,7 \cdot 0,6 = 46,04 \text{ МДж/м}^3 = 46 \text{ 04 кДж/м}^3. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Коэффициент избытка воздуха принимаем $\alpha = 1$

Числовой расчет будет проводиться для всех режимов, окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в табличной форме.

Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

а) в киломолях на 1 кг топлива

$$L'_0 = \frac{1}{0,21} * \sum \left(n + \frac{m}{4} - \frac{r}{2} \right) \cdot C_n H_m O_r = 15,66 \frac{\text{моль воздуха}}{\text{моль газообразного топлива}}, \text{ или } \frac{\text{м}^3 \text{возд}}{\text{м}^3 \text{топл}}, \quad (2.2)$$

где 0,21- объёмное содержание O_2 в 1 кмоль воздуха.

Количество горючей см./кмоль газообразного топлива

$$M'_1 = \alpha L'_0 + 1 = 1 \cdot 15,66 + 1 = 16,66 \text{ кмоль} \quad (2.3)$$

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

- углекислого газа

$$M'_{CO_2} = \sum n(C_n H_m O_r) = 3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ кмоль } CO_2 / \text{кмоль топл}; \quad (2.4)$$

- водяного пара

$$M'_{H_2O} = \sum \frac{m}{2} (C_n H_m O_r) = \frac{8}{2} \cdot 0,4 + \frac{10}{2} \cdot 0,6 = 4,6 \text{ кмоль}; \quad (2.5)$$

- кислорода

$$M'_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L'_0 = 0,208 \cdot (1 - 1) \cdot 9,526 = 0 \text{ кмоль}; \quad (2.6)$$

- азота

$$M'_{N_2} = 0,792\alpha L'_0 = 0,792 \cdot 1 \cdot 15,66 = 12,4 \text{ кмоль}. \quad (2.7)$$

Общее число продуктов сгорания

$$M'_2 = 3,6 + 4,6 + 0 + 12,4 = 20,6 \text{ кмоль}. \quad (2.8)$$

Окончательные значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 6

Таблица 6 - Параметры рабочего тела

1000	3200	5600	6000	Частота вращения, мин ⁻¹
1	1	1	1	α
16,66	16,66	16,66	16,66	M'_1 , кмоль
3,6	3,6	3,6	3,6	M'^{CO_2} , кмоль
4,6	4,6	4,6	4,6	M'^{H_2O} , кмоль
0	0	0	0	M'_{O_2} , кмоль
12,4	12,4	12,4	12,4	M'_{N_2} , кмоль
20,6	20,6	20,6	20,6	M'_2 , кмоль

Параметры окружающей среды и остаточные газы

Давление и температура окружающей смеси $p_0=0,1$ МПа и $T_0=293$ К.

Температура остаточных газов, принимаем $T_r=950$ К.

Давление остаточных газов p_r , можно принять на номинальном скоростном режиме. $p_r=0,118$ МПа.

Величины давлений остаточных газов на остальных режимах :

$$p_r = p_0 (1,035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2), \quad (2.9)$$

где $A_p = (p_r - p_0 \cdot 1,035) \cdot 10^8 / (n_N^2 p_0)$, n_N - частоты вращения коленчатого вала на номинальном режиме, мин⁻¹.

Процесс впуска

Температура подогрева свежего заряда.

$$\Delta T = A_T (110 - 0,0125 n), \quad (2.10)$$

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

Плотность заряда на впуске

$$p_0 = p_0 \cdot 10^6 / (R_B T_0) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ кг/м}^3, \quad (2.11)$$

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

Потери давления на впуске.

Принимаем снижение сопротивления $\beta^2 + \xi_{ВП} = 2,8$ и $\omega_{ВП} = 95$ м/с.

Тогда ΔP_a на всех скоростных режимах двигателя :

$$\Delta P_a = (\beta^2 + \xi_{ВП}) \cdot A_n^2 n^2 p_k \cdot 10^{-6} / 2, \quad (2.12)$$

где $A_n = \omega_{ВП} / n_N$.

Давление в конце впуска

$$P_a = p_0 - \Delta p = 0,1 - 0,0150 = 0,0850 \text{ МПа} \quad (2.13)$$

Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} P_r}{\varepsilon \varphi_{доz} P_a - \varphi_{оч} P_r}. \quad (2.14)$$

На всех режимах $\varphi_{доz}$ можно принять равной 1. Коэффициент очистки принимаем $\varphi_{оч} = 1$.

Температура в конце впуска

$$T_a = (T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r). \quad (2.15)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} (\varphi_{доz} \varepsilon p_a - \varphi_{оч} p_r), \quad (2.16)$$

Значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры процесса впуска и газообмена

1000	3200	5600	6000	Частота вращения, мин ⁻¹
1	1	1	1	α
850	900	950	970	T_r , К
0,1040	0,1082	0,1180	0,1200	P_r , МПа
24,3	18,1	10	8,7	ΔT , °С
0,0005	0,004	0,015	0,017	Δp_a , МПа
0,1	0,096	0,085	0,083	p_a , МПа
1	1	1	1	$\varphi_{доz}$
0,036	0,036	0,042	0,043	γ_r
335	331	329	330	T_a , К
0,915	0,891	0,793	0,771	η_v

Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Показатель политропы сжатия:

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

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

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

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

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

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

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

Результаты расчета процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Давление, температура и удельный объём в конце сжатия и воспламенения:

μ	n_1	P_c , МПа	T_c , К	Θ° ПКВ	V_y , м ³ / кг	P_y , МПа	T_y , К	n , мин ⁻¹
Работа на бензине								
1,050601	1,3702	2,337381	828,9211	12	0,11026	1,967552	791,23	1000
1,03894	1,374725	2,273893	824,503	14	0,117763	1,80708	774,445	2000
1,039063	1,37283	2,194925	805,3634	16	0,124724	1,639063	743,95	3200
1,038972	1,37496	2,086875	806,2679	19	0,141498	1,405866	723,92	5600
1,050855	1,37538	2,045133	804,9556	24	0,164719	1,143217	686,809	6000
Работа на сжиженном нефтяном газе								
1,060488	1,37058	2,364652	823,3493	15	0,115161	1,823871	767,52	1000
1,050596	1,372	2,259369	811,433	20	0,134725	1,469604	722,15	2000
1,050718	1,3728	2,180028	808,4022	23	0,150917	1,267603	697,78	3200
1,050909	1,37378	2,122703	795,8551	26	0,166039	1,098591	665,27	5600
1,050917	1,3753	2,044748	797,5824	28	0,182916	0,977444	652,08	6000

2.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

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

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

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

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

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

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

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

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

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

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

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

Средняя температура T_{1-2} на участке 1-2.

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

Температура T_2 газов в процессе сгорания по следующей зависимости:

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi(\varphi'_2)}{P_y \psi(\varphi'_2) \mu_{1-2}}, \quad (2.37)$$

где:

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

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

средний коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

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

Доля выгоревшего топлива χ :

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

Коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Коэффициенты термодинамического расчета

δ	ψ	ξ	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	φ_z , град, пкв.	m	n , мин ⁻¹
Работа на бензине							
1	0,87	0,87	2311,506	47,544497	28	2	1000
1	0,9	0,9	2291,177	45,990604	36	2.2	2000
1	0,93	0,93	2375,011	47,11143	42	2.4	3200
1	0,95	0,95	2420,459	45,59819	50	2.6	5600
1	0,99	0,99	2643,545	48,99202	54	2.8	6000
Работа на сжиженном нефтяном газе							
1	0,81	0,81	2095,696	43,98798	40	3.1	1000
1	0,86	0,86	2284,733	46,40438	48	3.2	2000
1	0,96	0,96	2556,549	50,28953	55	3.3	3200
1	0,97	0,97	2592,875	50,44589	58	3.4	5600
1	0,99	0,99	2646,799	49,49647	62	3.5	6000

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

2.7 Расчет процессов расширения и выпуска

Степень последующего расширения при V_z

$$\delta = V_a / V_z \quad (2.44)$$

Средний показатель политропы расширения:

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

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа} ; \quad (2.46)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К} ; \quad (2.47)$$

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

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

$$P_{PT} = P_b \cdot \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2} ; \quad T_{PT} = T_b \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2-1} \quad (2.49)$$

Температура отработавших газов:

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

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100(T_r - T'_r)}{T_r} \% \quad (2.52)$$

Результаты расчета процесса расширения приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Расчет процесса расширения и выпуска

$V_z, \text{ м}^3$	$T_z, \text{ К}$	$P_z, \text{ МПа}$	δ	n_2	$P_b, \text{ МПа}$	$T_b, \text{ К}$	$T_r, \text{ К}$	$\Delta, \%$	$n, \text{ мин}^{-1}$
Работа на бензине									
0,120284	3019,243	7,230007	8,48804	1,177	0,58329	2067,555	1163,224	0,2779	1000
0,143871	2907,209	5,768566	7,27169	1,1796	0,55548	2035,725	1169,602	-0,034	2000
0,162852	2889,058	5,06501	6,50078	1,1795	0,55682	2064,706	1199,442	0,3717	3200
0,197929	2831,083	4,08341	5,63196	1,1804	0,53085	2072,834	1245,126	0,8199	5600
0,195495	3009,4	4,435073	5,79622	1,17476	0,56284	2213,654	1315,048	1,157	6000
Работа на сжиженном нефтяном газе									
0,1494	2639,83	5,121	6,688	1,188	0,5354	1846,58	1086,178	0,572	1000
0,1684	2756,27	4,714	6,139	1,1835	0,5504	1975,7	1162,08	0,093	2000
0,1951	2913,76	4,303	5,474	1,1775	0,5815	2155,05	1244,545	-0,036	3200
0,1972	2929,05	4,279	5,474	1,1767	0,5789	2168,77	1265,439	0,0347	5600
0,2052	2976,31	4,179	5,474	1,175	0,5669	2209,79	1309,556	0,349	6000

Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций:

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 17.

Эффективные показатели двигателя

Среднее давление механических потерь:

$$p_M = 0,034 + 0,0113v_{n.cp} . \quad (2.41)$$

Средняя скорость поршня

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

Расчётные значения заносим в таблицу 15

Таблица 15 – Расчётные значения

1000	3200	5600	6000	Частота вращения коленчатого вала, 1/мин
2,37	7,57	13,25	14,2	Средняя скорость поршня, м/с
0,061	0,119	0,183	0,194	Давление механических потерь, МПа

Среднее эффективное давление и механический КПД

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

Расчётное значение заносим в таблицу 16

Таблица 16- Расчётные значения

1000	3200	5600	6000	Частота вращения коленчатого вала, 1/мин
0,962	1,042	0,75	0,721	Среднее эффективное давление
0,940	0,883	0,88	0,785	Механический КПД

Эффективный КПД и эффективный удельный расход топлива:

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

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

Значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 17

Таблица 17 – Индикаторные и эффективные параметры двигателя

1000	3200	5600	6000	Частота вращения коленчатого вала, 1/мин
1,065	1,064	1,210	0,943	p_i , МПа
1,023	1,021	1,161	0,905	p_i , МПа
0,395	0,347	0,356	0,357	η_i
0,257	0,292	0,285	0,284	v_i , м ³ /(кВт ч)
2,37	7,57	13,25	14,2	$v_{n.c.p.}$, м/с
0,061	0,119	0,183	0,194	p_M , МПа
0,962	1,042	0,848	0,721	p_e , МПа
0,940	0,883	0,803	0,785	η_{Mi}
0,372	0,354	0,324	0,284	η_e
0,335	0,286	0,313	0,357	v_e , м ³ /(кВт ч)

- мощность двигателя

$$N_e = p_e V_n n / 30 \tau \text{ (кВт)}; \quad (2.51)$$

- крутящий момент

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

- часовой расход топлива

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

- литровая мощность двигателя

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

Значения рассчитываемых параметров приводятся в таблице 18

Таблица 18 - Основные параметры и показатели двигателя

1000	3200	5600	6000	Частота вращения коленчатого вала, 1/мин
52,78				$F_n, \text{см}^2$
1,488				$V_n, \text{л}$
38,9				$N_n, \text{кВт} / \text{л}$
11,9	35,7	58	55	$N_e, \text{кВт}$
114	123	87	84	$M_e, \text{Н} \cdot \text{м}$
3,9	10,2	18,15	19,63	$V_T, \text{м}^3 / \text{ч}$

3 Тепловой баланс

Общее количество теплоты, введенной в двигатель при номинальном скоростном режиме

$$Q_0 = H_u G_T (\kappa \text{Джс} / \text{ч.}) \quad (3.1)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 секунду

$$Q_e = 1000 N_e (\kappa \text{Джс} / \text{ч}). \quad (3.2)$$

Теплота, передаваемая окружающей среде

$$Q_B = ci D^{1+2m} n^m (H_u - \Delta H_u) / (\alpha H_u) \quad (3.3)$$

Теплота, унесенная отработавшими газами

$$Q_r = (V_T / 22.4) \{ M_2 [(mc_v'')_{t_0}^{t_r}] \cdot t_r - [M_1 (mc_v)_{t_0}^{20}] t_0 \} = \quad (3.4)$$

где $(mc_v'')_{t_0}^{t_r} / (\text{кмоль} \cdot \text{град})$ – теплоемкость отработавших газов.

Неучтенные потери теплоты

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_r + Q_B + Q_{н.с.}) \quad (3.5)$$

Составляющие теплового баланса представлены в таблице 21. Тепловой баланс двигателя работающего на газе представлен на плакате 1 диаграмм.

Таблица 21 - Параметры теплового баланса

Частота вращения коленчатого вала, об/мин								Составляющие тепл. баланса
1000		3200		5600		6000		
Q, кДж/ч	q, % кДж/ч	Q, кДж/ч	q,% кДж/ч	Q, кДж/ч	q,% кДж/ч	Q, кДж/ч	q,% кДж/ч	
42840	31	128520	36	208800	33	198000	28	Теплота, эквивалентная эффективной работе
44312	32	181474	50	305377	47,4	281577	40	Теплота, передаваемая окружающей среде
28342	20,4	45348	12	120324	18,7	168864	24,2	Теплота, унесенная отработавшими газами
22800	16,4	3350	1	9128	1,4	47639	6,8	Неучтенные потери теплоты
138294	100	361692	100	643599	100	696080	100	Общее количество теплоты

Результаты теплового баланса двигателя работающего на газе, представлены на плакате.

4 Кинематический расчет

Перемещение поршня рассчитывается по формуле

$$S_x = r \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right], \text{ мм.} \quad (4.2)$$

Скорость поршня рассчитывается по следующей формуле:

$$V_n = \omega R \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right), \text{ м/с,} \quad (4.3)$$

где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ - угловая скорость вращения коленчатого вала, рад/с;

Средняя скорость поршня

$$v_{n, \text{ср.}} = S_n / 30 \text{ м/с.} \quad (4.4)$$

Ускорение поршня рассчитывается по следующей формуле

$$j = \omega^2 R (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi), \text{ м/с}^2. \quad (4.5)$$

Результаты кинематического расчета приведены в приложении и на плакатах.

5 Динамический расчет двигателя работающего на газе

Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма

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

- масса поршневой группы

$$m_n = m_n \cdot F_n = 100 \cdot 0,005282 = 0,528 \text{ кг}; \quad (5.3)$$

- масса шатуна

$$m_{ш} = m_{ш} \cdot F_n = 150 \cdot 0,0052783 = 0,792 \text{ кг}; \quad (5.4)$$

- масса неуравновешенных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k \cdot F_n = 140 \cdot 0,0052783 = 0,739 \text{ кг}. \quad (5.5)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$m_{ш.п.} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,792 = 0,218 \text{ кг}. \quad (5.6)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа

$$m_{ш.к.} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,792 = 0,574 \text{ кг}. \quad (5.7)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение

$$m_j = m_n + m_{ш.н} = 0,528 + 0,218 = 0,746 \text{ кг.} \quad (5.8)$$

Массы, совершающие вращательное движение

$$m_R = m_k + m_{ш.к} = 0,739 + 0,574 = 1,313 \text{ кг.} \quad (5.9)$$

Силы инерции

Определяем значения силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс

$$P_j = -m_j j = 0,746 * j \quad (5.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна одного цилиндра

$$K_{Ru} = -m_{ш.к.} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,574 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -6,9974 \text{ кН.} \quad (5.11)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_k \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,739 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -9,0088 \text{ кН.} \quad (5.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2 = -1,0313 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -16,0062 \text{ кН.} \quad (5.13)$$

Суммарные силы

Сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$P = \Delta P_r + P_j . \quad (5.14)$$

Нормальная сила

$$N = P \operatorname{tg} \beta . \quad (5.15)$$

Сила (кН), действующая вдоль шатуна

$$S = P * (1 / \cos \beta) . \quad (5.16)$$

Сила (кН), действующая по радиусу кривошипа

$$K = P * \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta . \quad (5.17)$$

Полная тангенциальная сила (кН)

$$T = \frac{p \sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} . \quad (5.18)$$

Результаты динамического расчета графически представлены на плакатах.

Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = T \cdot R . \quad (5.19)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с рав-

ными интервалами между вспышками

$$\theta = 720/i = 720/4 = 180^\circ. \quad (5.20)$$

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ц.} = M_i = \frac{M_e}{\eta_M} = \frac{145}{0,86} = 168 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (5.21)$$

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

$$M_{кр.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{кр.i} + M_{кр.i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{360^\circ} = 155 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.22)$$

Ошибка

$$\Delta = (168-161) \cdot 100/168 = 4,2\%. \quad (5.23)$$

Максимальный и минимальный крутящие моменты:

$$M_{кр. \max} = 409,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (5.24)$$

$$M_{кр. \min} = - 57,0 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5.25)$$

Расчет сил, действующих на шатунную шейку коленчатого вала

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу криво-
шипа

$$P_k = K + K_{Rш} = (K - 5108) \text{ Н}. \quad (5.26)$$

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

$$R_{ш.ш.ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{ш.ш.i} + R_{ш.ш.i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 9342H \quad (5.27)$$

По диаграмме износа определяем расположение оси масляного отверстия – $\varphi_M = 66^\circ$.

Силы, действующие на колено вала

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа

$$K_{P_k} = P_k + K_{Rk} = (P_k - 15324), H \quad (5.28)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала

$$R_k = \sqrt{R_{ш.ш.}^2 + K_{Rk}^2} \quad (5.29)$$

Силы, действующие на коренные шейки

Сила, действующая на первую коренную шейку

$$R_{к.ш.1} = -0,5 * R_{k1} \quad (5.30)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку

$$R_{к.ш.2} = \sqrt{T_{k2}^2 + K_{k2}^2}, \quad (5.31)$$

где:

$$T_{k2} = -0.5 * (T_1 + T_2 * \cos \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \sin \gamma_{k(1-2)}) = -0.5 * (T_1 + T_2 * \cos 180^\circ - K_{pk2} * \sin 180^\circ) = -0.5 * (T_1 - T_2); \quad (5.32)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk1} + T_2 * \sin \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \cos \gamma_{k(1-2)}) = -0.5 * (T_1 + T_2 * \sin 180^\circ - K_{pk2} * \cos 180^\circ) = -0.5 * (K_{pk1} - K_{pk2}). \quad (5.33)$$

Расчет силы $R_{\kappa.u.2}$ приведен в таблице 26 (гр. 6-10).

Сила, действующая на третью коренную шейку

$$R_{\kappa.u.3} = \sqrt{T_{k3}^2 + K_{k3}^2},$$

где:

$$T_{k3} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \sin \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos 0^\circ - K_{pk3} * \sin 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (T_2 + T_3); \quad (5.34)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \cos \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin 0^\circ - K_{pk3} * \cos 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (K_{pk2} - K_{pk3}). \quad (5.35)$$

Диаграммы $R_{\kappa.u.1}$, $R_{\kappa.u.2}$, $R_{\kappa.u.3}$, перестроенные в прямоугольные координаты. По этим диаграммам определяем:

- для 1 (5)-й коренной шейки:

$$R_{\kappa.u.1cp} = \sum_{i=1}^n ((R_{\kappa.u.1i} + R_{\kappa.u.1i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 9325H, \quad (5.36)$$

$$R_{\kappa.u.1max} = 12355H, \quad (5.37)$$

$$R_{\kappa.u.1min} = 4134H. \quad (5.38)$$

- для 2 (4)-й коренной шейки:

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

,

$$R_{\kappa.ш2max} = 16359H$$

,

$$R_{\kappa.ш2min} = 1128H$$

.

- для 3-й коренной шейки:

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

,

$$R_{\kappa.ш3max} = 21090H$$

,

$$R_{\kappa.ш3min} = 7251H$$

.

Уравновешивание двигателя

Центробежные силы инерции рассчитываемого двигателя и их моменты полностью уравновешены

$$\sum K_R = 0; \sum M_R = 0. \quad (5.39)$$

Силы инерции первого порядка и их моменты также уравновешены

$$\sum P_{j1} = 0; \sum M_{j1} = 0. \quad (5.40)$$

Силы инерции второго порядка для всех цилиндров направлены в одну сторону

$$\sum P_{jII} = 4P_{jII} = 4 * m_j * R\omega^2 * \lambda * \cos 2\varphi \quad (5.41)$$

Размеры кривошипа. Предварительно принимаем $l = 94$ мм и $l_1 = 70$ мм. Тогда сила инерции одного противовеса

$$P_{\Pi P} = -0,5 * P_{\Pi P3} * l / l_1 = 0,5 * (-16000) * 0.094 / 0.070 = 10743H ; \quad (5.43)$$

- масса каждого противовеса

$$m_{\Pi P} = P_{\Pi P} / (p * \omega^2) = 10743 / (0,02 * 586^2) = 1,562кг \quad (5.44)$$

По развернутым диаграммам сил $R_{к.ш.3}^{np}$ и $R_{к.ш.1(5)}^{np}$ определены:

- для 1 (5)-й коренной шейки:

$$R_{к.ш1(5)cp}^{np} = F_{1(5)}^{np} / 720^\circ = 913848 / 720^\circ = 1269.2H , \quad (5.46)$$

$$R_{к.ш1(5)max}^{np} = 4355H , \quad (5.47)$$

$$R_{к.ш1(5)min}^{np} = -3866H . \quad (5.48)$$

- для 3-й коренной шейки:

$$R_{к.ш3cp}^{np} = F_3^{np} / 720^\circ = 1402046 / 720^\circ = 1947H ,$$

$$R_{к.ш3max}^{np} = 5090H ,$$

$$R_{к.ш3min}^{np} = -8749H .$$

6 Модернизация системы впрыска газа

Классификация газобаллонного оборудования

ГБО 1 поколения

Механические системы с вакуумным управлением, которые устанавливаются на бензиновые карбюраторные автомобили.

ГБО 2 поколения

Механические системы, дополненные электронным дозирующим устройством, работающим по принципу обратной связи с датчиком содержания кислорода. Они устанавливаются на автомобили, оснащенные инжекторным двигателем и катализатором.

ГБО 3 поколения

Системы, обеспечивающие распределенный синхронный впрыск газа с дозатором-распределителем, который управляется электронным блоком. Газ подается во впускной коллектор с помощью механических форсунок, которые открываются за счет избыточного давления в магистрали подачи газа.

Установка ГБО третьего поколения на инжекторные автомобили отличается тем, что вместо бензклапана для отсечения подачи бензина используется эмулятор форсунок. Когда подается газ, этот эмулятор имитирует работу бензиновых форсунок, чтобы штатный компьютер не перешел в аварийный режим. По этой же причине нужно устанавливать эмулятор лямбда-зонда.

ГБО 4 поколения

Системы распределенного последовательного впрыска газа с электромагнитными форсунками, которые управляются более совершенным электронным блоком. Отличаются тем, что газ подается непосредственно во впускной коллектор через специальные газовые форсунки. Они управляются собственным электронным блоком управления, который синхронизирует свою работу со штатным контроллером и одновременно выполняет функции эмулятора.

ГБО 5 поколения

Главное отличие в том, что газ поступает в коллектор не в испаренном состоянии, а в жидком. При изготовлении оборудования 5-го поколения используется элементная база, которая принципиально отличается от предыдущих. Одним из таких отличий является, устанавливаемый в баллонах насос, благодаря которому на газовые форсунки подается жидкий газ.

Новая конструкция не требует применения редуктора-испарителя, вместо которого устанавливается регулятор давления, обеспечивающий постоянное давления газа в магистрали, которое на 5 бар выше, чем в баллонах. Благодаря такому уровню рабочего давления, тепло, генерируемое двигателем, не вызывает образование пара в трубках.

Основные компоненты газобаллонного оборудования представлены на рисунке 6.1



Рисунок 6.1 - Компоненты газобаллонного оборудования

Редуктор-испаритель служит для подогрева смеси пропан-бутана, ее испарения и снижения давления до величины, близкой к атмосферному давлению.

Газовый редуктор разработан для малолитражных автомобилей с объемом двигателя до 1,6 л. Благодаря своей компактности легко помещается в подкапотном пространстве автомобиля. Может иметь вакуумное либо электронное управление.

Электромагнитный газовый клапан служит для перекрытия газовой магистрали при стоянке или работе двигателя на бензине. Снабжен фильтром для очистки топливной смеси.

Электромагнитный бензиновый клапан в карбюраторных автомобилях отсекает подачу бензина при работе двигателя на газу. В инжекторных автомобилях его функции выполняет **эмулятор форсунок**.

Переключатель видов топлива - устанавливается в салоне автомобиля и предназначен для перевода двигателя с одного вида топлива на другой с места водителя без остановки двигателя. Встречаются переключатели, на которых с помощью светодиодов показывается уровень газа в баллоне.

Мультиклапан монтируется на горловину баллона. Включает в себя запорный и расходный клапана, указатель уровня газа и заборную трубку. Специальный скоростной клапан перекрывает утечку газа при аварийном повреждении газовой магистрали.

Венткоробка крепится на горловину баллона. Внутри нее помещается мультиклапан. В случае утечки газа из баллона венткоробка отводит его пары из багажного отделения наружу.

Емкость для газа. Встречаются баллоны цилиндрические и торроидальные (для ниши под "запаску"). По правилам техники безопасности заполняются не более, чем на 80% от полного объема. Различают баллоны 4 поколений: первого типа - полностью стальные; второго - из легированной стали с композитной обмоткой); третьего - алюминиевый сосуд с композитной обмоткой) и четвертого типа - самые современные и долговечные - из композитных материалов. Именно последние являются самыми дорогими, но и самыми легкими.

Схема ГБО представлена на рисунке 6.2: 1 - баллон 2 - мультиклапан 3 - газовая магистраль высокого давления 4 - выносное заправочное устройство 5 - газовый клапан 6 - редуктор-испаритель 7 - дозатор 8 - смеситель воздуха и газа 9 - бензиновый клапан 10 - переключатель видов топлива

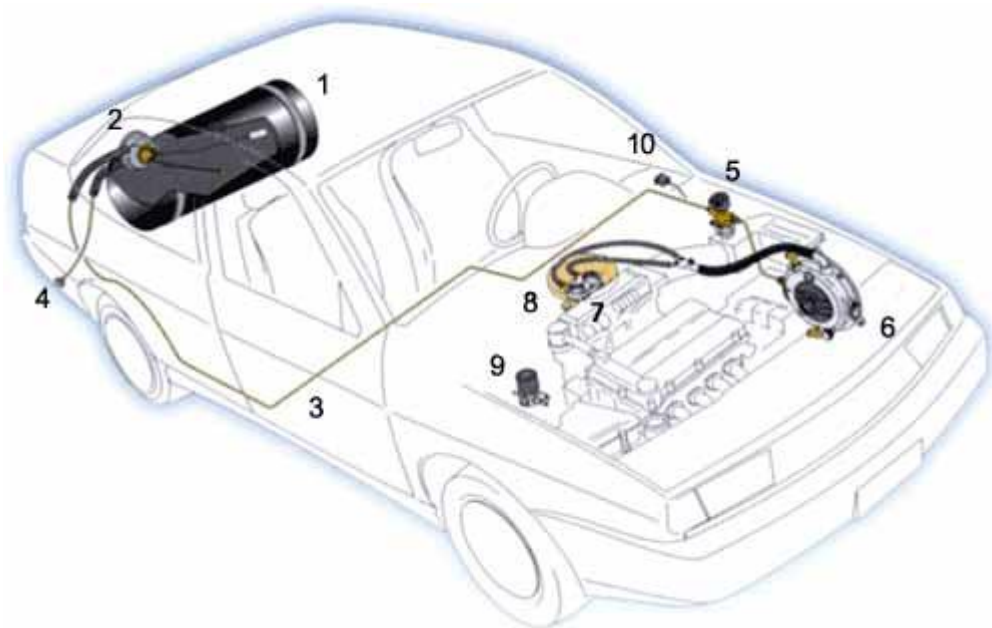


Рисунок 6.2 - Схема расположения ГБО на автомобиле

— Сжиженный нефтяной газ (пропан-бутан) под давлением поступает из баллона (1) в газовую магистраль высокого давления (3). Расход газа из баллона происходит посредством мультиклапана (2), через который также осуществляется заправка с помощью выносного заправочного устройства (4). По магистрали газ в жидкой фазе попадает в газовый клапан-фильтр (5), который очищает газ от взвесей и смолистых отложений и перекрывает подачу газа при выключении зажигания или при переходе на бензин.

— Далее очищенный газ по трубопроводу поступает в редуктор-испаритель (6), где давление газа понижается с шестнадцати атмосфер до одной. Интенсивно испаряясь, газ охлаждает редуктор, поэтому последний присоединяется к системе водяного охлаждения двигателя. Циркуляция тосола позволяет избежать обмерзания редуктора и его мембран. Под действием разрежения, создаваемого во впускном коллекторе работающего двигателя, газ из редуктора по шлангу низкого давления через дозатор (7) поступает в смеситель

(8), установленный между воздушным фильтром и дроссельными заслонками карбюратора. Иногда вместо установки смесителя производится непосредственная врезка газовых штуцеров в карбюратор.

— Управление режимами работы осуществляется с помощью переключателя видов топлива (10), установленного на панели приборов. При выборе позиции "ГАЗ" переключатель открывает электромагнитный газовый клапан (5) и отключает электромагнитный бензиновый клапан (9). И, наоборот, при переходе с газа на бензин, переключатель закрывает газовый клапан и открывает бензиновый. С помощью светодиодов переключатель позволяет контролировать, какое топливо используется в данный момент.

Оригинал и перевод научного текста

Gaseous fuel system for automotive vehicle	Система впрыска газообразного топлива в автомобильных транспортных средствах
Abstract A gaseous fuel system for an automotive vehicle includes a gaseous fuel storage tank and an associated pressure sensor for monitoring pressurized gas contained within the storage tank. A parameter-driven routine monitors the integrity of the tank by tracking filling cycles marked by the increase of the tank pressure from a first threshold to a second threshold. Mitigation actions may be taken in the event that the filling cycles exceed a predetermined number, or in the event that other system integrity monitoring indicates that mitigation is in order. BACKGROUND OF THE INVENTION 1. Field of the Invention The present invention relates to a gaseous fuel storage and transfer system for use in an automotive vehicle. 2. Disclosure Information Gaseous fuel storage and supply systems for automotive vehicles present unique challenges to automotive designers, inasmuch as such fuel systems require the handling of gases under relatively high pressures, as opposed to the modest pressures associated with the handling of liquid fuels such as gasoline and Diesel fuel. Furthermore, certain compressed gases such as hydrogen and natural gas present the additional challenge that such gases are buoyant, as opposed to the lack of buoyancy generally present with vapors generated by liquid hydrocarbon fuels. In addition, hydrogen is not only buoyant, but also odorless and has a smaller molecular size, as compared with vapors generated by liquid hydrocarbon fuels. All of these characteristics render compressed fuel gases more difficult to store. The need to store compressed gases under relatively high pressure and automotive safety requirements impose an added round of complexity in the design process associated with automotive vehicles because fuel tanks for such gases must have much greater strength than liquid storage	Реферат Газовая топливная система для автомобильных транспортных средств включает бак для хранения газообразного топлива и связанный с ней датчик давления для контроля сжатого газа, содержащегося в резервуаре для хранения. На основе параметров контролирует целостность бака, отслеживая подачу в цикл, отмечает рост давления в баке от первого порога до второго порога. Меры по снижению давления могут быть приняты в том случае, если наполнение цилиндров превышает заданное число, или в случае, если другие системы контроля целостности указывают на то, что необходимо снижение давления. ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ 1. Область изобретения Данное изобретение относится к системе хранения и передачи газообразного топлива в автомобильных транспортных средствах. Раскрытие темы Системы хранения и подачи газообразного топлива для автомобильной техники представляют для производителей автомобилей существенные проблемы, поскольку такие топливные системы требуют обработку газов при относительно высоких давлениях, в отличие от жидких топлив, такие как бензин и дизельное топливо. Кроме того, некоторые сжатые газы, такие как водород и природный газ представляют дополнительные требования, что такие газы имеют тенденцию к увеличению так как в таком топливе отсутствует эффект плавучести, который присутствует в парах генерируемых жидких углеводородных топлив. Также не имеет запаха и имеет меньший молекулярный размер, по сравнению с парами, произведенными на жидких углеводородных топлив. Все эти характеристики обуславливают, что сжатый природный газ сложнее хранить. Необходимость хранения сжатого газа под относительно высоким давлением накладывают на автомобили дополнительные сложности в процессе проектирования, потому, что топливные баки для таких газов должны иметь гораздо большую прочность, чем баки для хранения жидкости, чтобы вместить в

tanks, to accommodate much higher pressures. Moreover, the useful life of such pressure vessels must be monitored to assure that an adequate margin of safety is maintained, while at the same time allowing onboard tanks to be filled to their maximum safe and practicable (operation limit) capacity, to meet vehicle range design expectations.

Compressed gas storage tank monitoring systems generally use valving arrangements which are usually grossly biased towards underfilling, with the result that the energy density available with such tank systems has generally not been satisfactory, with the obvious negative impact upon vehicle range. The system and method according to present invention allows maximum practicable filling of compressed gas tanks, while monitoring the useful life of the tank so as to allow tank integrity to be maintained in an efficient manner.

SUMMARY OF INVENTION

A gaseous fuel system for an automotive vehicle includes a gaseous fuel storage tank and sensors for monitoring the pressure and temperature of gas contained within the storage tank. The pressure sensor generates a gas pressure signal corresponding to the tank pressure. An electronic control unit (hereinafter referred to as a controller) receives the gas pressure signal and other sensor signals and initiates mitigation actions based on a predefined imbedded algorithm designed to maximize the applicable range of the fuel system, while meeting all other design requirements. In a first example, the controller records each filling cycle wherein the gas pressure signal indicates that the pressure within the storage tank has been increased from below a first threshold value to a value or reading in excess of a second threshold value. The controller initiates mitigation in the event that the number of recorded filling cycles exceeds a predetermined number of cycles. Mitigation may include limiting the pressure to which the storage tank may be filled, or limiting the quantity of compressed gaseous fuel which may be introduced into the storage tank. Other mitigation actions, such as terminating tank refueling, may be initiated by the controller in the event that the pressure of the stored gas, the temperature of the stored gas, or the temperature of the fuel storage tank exceeds predetermined threshold values.

себя гораздо более высокое давление. Кроме того, срок полезного использования таких сосудов под давлением должны контролироваться, чтобы гарантировать достаточный запас прочности, и в то же время позволять, чтобы баки были максимально безопасны при снижении мощности, чтобы удовлетворить требованиям дизайна модельного ряда. При наполнении бака сжатым газом используют некоторые договоренности, которые обычно сильно смещены в сторону недолива, в результате чего плотность энергии, доступная с таких баков системы в целом не была удовлетворительной, и очевидного негативного воздействия на модельный ряд. Система и способ согласно настоящему изобретению позволяет максимально практичным наполнение сжатым газом, при отслеживании полезного использования бака, с тем чтобы позволить бака целостность будет поддерживаться эффективным образом.

РЕЗЮМЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Система подачи газообразного топлива для автомобильных транспортных средств включает бак для хранения газообразного топлива и датчики для контроля давления и температуры газа, содержащегося в резервуаре для хранения. Датчик давления генерирует сигнал давления газа, соответствующее давление в баллоне. Электронный блок управления (далее контроллер) получает сигнал датчика давления газа и другие сигналы и инициирует меры по снижению последствий на основе предварительно определенного алгоритма, который разработан, чтобы максимизировать диапазон применимых для топливной системы, при удовлетворении всех других требований к конструкции. В первом примере, контроллер записывает каждый цикла заполнения, где давление газа через сигнал указывает на то, что давление внутри бака-накопителя было увеличено с первого порогового значения и значение или в превышении второго порогового значения. Контроллер инициирует снижение последствий в случае, если количество записанных циклов заполнения превышает заданное число циклов. Ликвидации последствий могут включать в себя ограничение давления и резервуар может быть заполнен, или ограничение количества сжатого газообразного топлива, который может быть введен в резервуар для хранения. Другие меры по смягчению последствий, таких как прекращение заправки бака, может инициироваться контроллером в том случае, если давление хранимого газа, температура хранимого газа, или

Thus, as used herein, the term “mitigation” means limiting either the amount of fuel within the gaseous fuel storage tank, or the pressure of the fuel within the storage tank, or the pressure of the fuel within the storage tank during refueling, or subsequent to refueling, or stopping the fueling and accordingly, limiting the quantity of fuel in the tank in the event that one or more specified operating parameters exceeds a predetermined threshold value.

According to another aspect of the present invention, the controller determines the quantity of fuel within the storage tank as a function of at least the temperature and pressure of the gas stored in the tank. This information may be used in mitigation actions, or may be used directly or indirectly, as by yet another controller within the vehicle, to drive the vehicle's fuel gauge.

A gaseous fuel system according to the present invention further includes a fill valve connected with the fuel storage tank and operated by the controller, as well as a transmission range sensor which is also connected with the controller, such that the controller prevents filling of the fuel system unless the transmission range sensor indicates that the vehicle's transmission is in the ‘park’ range. The present fuel system also includes a number of fugitive fuel gas sensors which are operatively connected with the controller such that the controller will close the fill valve in the event of a fugitive fuel gas leak during a refueling event. According to another aspect of the present invention, a method for monitoring the operating condition of the gaseous fuel storage system and an associated prime mover includes the steps of monitoring the number of filling cycles of the gaseous fuel storage tank by recording each instance in which the gas pressure within the tank is increased from a first threshold value to a second threshold value, and monitoring the integrity of a fuel transfer line extending from the storage tank to the prime mover by tracking the pressure within the transfer line when fuel is not being withdrawn from the storage tank.

According to another aspect of the present invention, a controller operatively connected with a plurality of sensors includes a parameter-driven routine using as input data at least the output of a pressure sensor associated with the gaseous fuel

температура бака для хранения топлива превышает заданное граничного значения. Таким образом, использованный в настоящем документе, термин “предотвращение” означает ограничение либо на количество газообразного топлива в резервуаре для хранения топлива или снижение давления топлива в резервуаре, или давление топлива в накопительном баке во время заправки или после заправки или соответственно, ограничивая количество топлива в баке в случае, если один или более заданных рабочих параметров превышает заданное граничное значение.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения, контроллер определяет количество топлива в баке для хранения, как функцию, по крайней мере, температуру и давление газа, хранимого в резервуаре. Эта информация может быть использована в меры по снижению последствий, или может быть использована непосредственно или косвенно, как еще один контроллер внутри транспортного средства.

Система подачи газообразного топлива согласно настоящему изобретению включает клапан, соединенный с топливным баком для хранения и управляется контроллером, а также действие передачи датчика который также соединен с контроллером, например, что контроллер предотвращает заполнение топливной системы, если действие передачи датчика указывает на то, что коробка передач автомобиля находится в допустимом диапазоне. В настоящее время топливная система также включает ряд сенсоров, которые оперативно связаны с контроллером, что контроллер закрывает клапан заполнения в случае утечки топлива утечка газа во время заправки.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения, предлагается способ контроля эксплуатационного состояния системы газообразного топлива, включает в себя все этапы контроля числа циклов заполнения газового резервуара хранения топлива, записывая каждый экземпляр, в котором давление газа в резервуаре повышается от первого граничного значение до второго граничного значения, и контроля целостности топливных насосов отходящих от резервуаров до отслеживая давление в топливном насосе, когда топливо не выведено из бака-накопителя.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения, контроллер, оперативно соединенный с множеством датчиков включает в себя параметр приводимый в действие процедуру с использованием в качестве входных данных, когда выходит из строя датчик давления, который связан с резервуаром для хранения

storage tank, for monitoring the operating condition of the fuel storage tank. It is an advantage of the present system and method that a vehicle fueled with compressed gas may be operated for a maximum allowable range with efficiency, while monitoring the integrity of the fuel tank and associated fuel transfer lines. It is a further advantage of the present invention that both hydrogen and compressed natural gas may be handled by the present system with minimal hardware changes when switching from one fuel to another. It is a further advantage of the present invention that the present system facilitates filling of the compressed gas storage tank with electronically controlled, or robotic, filling station equipment.	ния топлива, для контроля рабочего состояния топливного бака-накопителя. Это является преимуществом данной системы и метода, что автомобиль заправленный сжатым газом, может эксплуатироваться для работы при максимальном допустимом диапазоне с большой эффективностью с топливным баком и топливным насосом. Еще одним преимуществом настоящего изобретения, является , что как водород и сжатый природный газ могут быть использованы минимальными аппаратными изменениями при переходе с одного вида топлива на другой. Еще одним преимуществом настоящего изобретения, что на сегодня система облегчает заполнение сжатым газом резервуара для хранения, так как используются с электронное, или роботизированные оборудование на автозаправочных станциях.
Performance and Exhaust Gas Emission of Compressed Natural Gas Fueled Internal Combustion Engine in Dual Fuel Mode	Производительность и уровень выбросов выхлопных газов сжатого природного газа в двигателе внутреннего сгорания в двухтопливном режиме
Abstract In this study, a comprehensive review of various operating parameters and concerns have been prepared for better understanding of operating condition (spark and compression ignited engines) and constrains for a natural gas fueled internal combustion engine. The overall objective of this project was to produce an engine control strategy to facilitate engine operation that was efficient, reduced exhaust emissions, and minimized fuel usage. The dual fuel and steady state are compared to determine if any emission and efficiency benefits are produced. In the present study an experimental investigation was carried out with CNG as an alternative fuel engine. 1. INTRODUCTION Air pollution is fast becoming a serious urban as well as global problem with the increasing population and its sub sequent demands. This has resulted in an increased interest in using compressed natural gas (CNG) as a fuel for internal combustion engine (IC). CNG resources are vast and widespread geographically and are not limited to politically sensitive location as is typical for crude oil. Based on current consumption rates, the estimated total, recoverable gas, including proven re-	Реферат В данном исследовании показан комплексный обзор различных операционных параметров и рисков, были подготовлены для лучшего понимания рабочего состояния (искры и сжатия воспламенения смеси в двигателе) и ограничений по возможности добавления природного газа к топливу двигателя внутреннего сгорания. Цель этого проекта заключалась в создании двигателя, системе управления для облегчения его работы, чтобы эффективно, снизить объемы выхлопных газов и свести к минимуму использование топлива. В данном исследовании экспериментально проводилось использованием СПГ в качестве альтернативного топлива в двигателе 1. ВВЕДЕНИЕ Загрязнение воздуха быстро становится серьезной городской, а также глобальной проблемой связанной с ростом населения. Это привело к повышенной заинтересованности в использовании компримированного природного газа (КПГ) в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Ресурсы КПГ обширны и хорошо распространены географически и не ограничены в политически уязвимом месте, как это характерно для сырой нефти. Исходя из нынешних темпах потребления, по оценкам, общего объема , извлекаемого газа, включая разведанные за-

serves, is adequate for almost 200 years. To benefit from the use of CNG in IC engines, it is necessary to understand its combustion and to study the effect of various parameters on it. This review aims to prepare a conics state of art that provides an idea of various concerns related to employment of Compressed Natural Gas as a vehicular fuel in order to improve the rapidly deteriorating air quality condition in urban regions

The parameters of particular interest are engine torque, power and specific fuel economy. The actual power output of an engine depends on the ambient air temperature and pressure in the test cell. These engine performance characteristics affect driving techniques and fuel economy. Engines are basically air pumps. For more power, an engine must burn more fuel; hence more air must be pumped into the cylinders. The amount of air available to the engine depends on the resistance to flow through the engine intake system. Space occupied by the fuel reduces the amount of air entering the engine; hence the power output of the engine is reduced. Theoretically, loss in power output for LPG (4%) is less than CNG (9.5%). Liquid fuels vaporize manifold as they mix with air in the engine's intake and then enter the cylinders. Gaseous fuels, on the other hand, are already in a vapor form and do not provide any cooling of air/fuel mixture. This loss of cooling constitutes an additional power loss of gas-fueled engine compared to liquid fueled engine. Injection of the fuel directly into the engine cylinder would eliminate the power loss. Turbochargers and superchargers (T&S) is frequently used on engines to provide a better balance between power and fuel economy. T&S compress the combustion air entering the engine's cylinders thus allowing more fuel to be burned and providing more power for a given engine size.

A. Compressed Natural Gas as an Alternative fuel for IC Engines

CNG defuses in air fuel mixing at lower inlet temperature than is possible with either gasoline or diesel. This leads to easier starting, more reliable idling, smoother acceleration and more complete and efficient burning with less unburned hydrocarbons present in the exhaust. The higher ignition temperature of gas compared with petroleum based fuel leads to reduced auto ignition delays. Due

пасы, хватит на ,примерно 200 лет. Чтобы была выгода от использования КПГ в ДВС, необходимо понять процесс его сгорания и изучить влияния различных параметров. Этот обзор дает представление о сжатом природном газе в качестве автомобильного топлива с целью улучшения качества воздуха и снижению токсичности отработавших газов.

Параметрами представляющими особый интерес двигателя являются крутящий момент, мощность и удельный расход топлива. Фактическая выходная мощность двигателя зависит от температуры окружающего воздуха и давления в камере сгорания. Эти характеристики двигателя показывают влияние на стиль вождения и экономию топлива. Двигатели –это в основном воздушные насосы. Для получения дополнительной мощности, двигатель должен сжечь больше топлива, следовательно больше воздуха должно поступать в камеру сгорания. Пространство, занимаемое топливом уменьшает количество воздуха, поступающего в двигатель; следовательно, Выходная мощность двигателя снижается. Теоретически, потеря в выходной мощности для сжиженного нефтяного газа (4%) меньше, чем КПГ (9.5%).

Жидкое топливо испаряется в коллекторе, после того оно перемешивается с воздухом и по впускным каналам попадают в цилиндры. Это парообразование поглощает энергию и охлаждает топливо-воздушную смесь. Газообразное топливо, с другой стороны, уже в виде пара не обеспечивают охлаждения воздуха/топливной смеси. Эта потеря охлаждения представляет собой дополнительные потери мощности из работающих на газе двигателей по сравнению с двигателем работающим на жидком топливе. Впрыск топлива непосредственно в цилиндр двигателя позволит устранить потери Турбокомпрессоры и нагнетатели зачастую используются на двигателях, чтобы обеспечить лучший баланс между мощностью и топливной экономичностью, за счет сжатия воздуха для горения, поступающего в цилиндры двигателя, все это позволяет больше топлива, чтобы сжечь и обеспечивая больше мощности для данного объема двигателя.

A. Сжатый природный газ в качестве альтернативного топлива для ДВС

Разряженный воздух смешивается с КПГ, и затем с топливом при более низкой входной температуре, чем бензин или дизельное топливо. Это приводит к легкому запуску, более плавному холостому ходу,

to the higher ignition temperature, CNG is less hazardous than any other petroleum based fuel. The higher octane rating (120) for CNG as compared to that of gasoline (87) and consequently more efficient fuel consumption.

B. Types of Compressed Natural Gas Engines
Gaseous fuels are more suitable for higher compression engines (due to high octane value that permits a high compression ratio, leading to higher thermal efficiency at full-load condition) as well as produce less polluting exhaust gases, if appropriate conditions are satisfied for their mixing and combustion. Therefore, it is more economical and of environmental advantage to use CNG in diesel DF engines.

Hence, some type of ignition aid is required. Dual fuel (DF) is one practical way to use CNG in such engines.

Hence, some type of ignition aid is required. Dual fuel (DF) is one practical way to use CNG in such engines.

C. Present Status of Compressed Natural Gas Engines Combustion Characteristics

In an experimental study

on combustion characteristics of a turbo charged CNG and diesel dual-fuelled CI engine, ignition delays, and effects of pilot diesel and engine load on combustion characteristics were analyzed using measured cylinder pressure of the engine. Under low-speed and low-load operating conditions, the rate of pressure rise was observed rather high. When DF engines run under low-load conditions, that exhaust is always smokeless. Even if it is operated at full-load condition, smoke is less still less than that from diesel engine

A study was undertaken as to how a pilot injection of diesel fuel affects the combustion of CNG-air mixture in an environment approximating that of a diesel cycle. After calibration of a 3D numerical model by combustion bomb tests, parametric studies were carried on the pilot injection pressures and the number and size of nozzle holes for a fixed diesel fuel flow rate. The numerical model gave a very good agreement with experimental results in predicting the combustion pressure.

However, at the tail of the burning period, the experimental results fall more rapidly than those of the simulation. Also, when the injection pressure increases (20-60 Mpa), the combustion pressure

плавному ускорению и более полному и эффективному горению с меньшим количеством несгоревших углеводородов, присутствующих в выхлопных газах. Высокая температура воспламенения газа по сравнению с нефтяной основой топлива приводит к снижению задержки воспламенения топлива. Из-за более высокой температуры воспламенения, КПГ является менее опасным, чем любое другое топливо, на нефтяной основе. Высокое октановое число (120) для КПГ по сравнению с бензином (87) позволяет достигать более эффективный расход топлива.

В. Виды двигателей на сжатом природном газе
Газообразное топливо больше подходит для двигателей с более высокой степенью сжатия (за счет высокого октанового числа значение, что обеспечивает высокий коэффициент сжатия, что приводит к повышению термического КПД при полной нагрузке), а также производят меньше выхлопных газов, при соответствующих условиях для их смешения и горения. Следовательно, он является более экономичным и экологических преимуществ использования СПГ в дизельных двигателях ДФ.

Двойное топливо (ДТ) - это один из практических способов использования КПГ в таких двигателях.

С. Современное состояние и характеристики сжатого природного газа в ДВС.

В экспериментальном исследовании на характеристики сгорания КПГ

на дизельном турбированном моторе нагрузки были проанализированы по давлению. При низкой скорости и малой нагрузке условия эксплуатации, скорость нарастания давления наблюдалась довольно высокая. Количество выбросов возрастает с увеличением концентрации метана (нагрузки). Когда ДФ двигатели работают в условиях небольшой нагрузки, дымности двигателя практически нет. Даже если он эксплуатируется при полной нагрузке условие, дыма меньше, чем на просто дизельном моторе.

В исследовании также была предпринята попытка впрыска дизельного топлива на

В СПГ и понять влияние на сгорание газа.

После калибровки 3D численного режима горения смеси параметрические исследования проводились методом изменения давления, числа и размера сопел отверстий для фиксированного дизельного топлива. Численная модель дала очень хорошее совпадение с экспериментальными результатами. Однако, в хвосте (конце) горения, экспериментальные результаты показывают, что падение давления происходит более

increases (30). The higher fuel injection pressure gives a faster combustion of CNG. The results show that a high injection pressure has the beneficial effect of increasing the performance of DF combustion. E. Air pollution A study or fueled vehicles on emission testing has shown that formaldehyde level of CNG vehicle are generally equivalent or less than formaldehyde levels for gasoline fuels. In terms of efficiency, performance and range study, DF vehicles suffer major drawback either in term of efficiency or acceleration performance. 2. RESULTS AND DISCUSSIONS Carbon monoxide is present in the exhaust gas is due to unavailability of oxygen for complete combustion process. Higher concentration of CO in the exhaust is a clear indication of incomplete combustion of the pre-mixed mixture. The CO levels were higher due to combustion inefficiencies. Some amount of CNG gas replacing air in the intake pipe that leads to unavailability of air for proper combustion. Based on the performance and emission parameters, the CNG induction location is at 2cm away from the engine manifold is taken as optimum. The brake thermal efficiency is increasing with increasing the induction distance away from the engine manifold. The brake thermal efficiency of dual fuel inducted at 2 cm is 13.11% By inducting of CNG gas at the diesel consumption is reduced to the normal diesel operation	быстрыми темпами, чем при моделирования. Также давление впрыска увеличивается (20-60 МПа), давление сгорания возрастает (30%). Более высокое давление впрыска топлива ускоряет сжигание СПГ. Результаты показывают, что высокое давление впрыска имеет благотворное влияние увеличения производительности системы DF сгорания. Е. Загрязнение воздуха Исследование топлив транспортных средств по эмиссии формальдегида показало, что уровень СПГ транспортного средства, как правило, эквивалентен или меньше уровня формальдегида для бензиновых топлив. В плане эффективности, производительности и диапазона исследования, ДФ автомобили отличаются серьезным недостатком либо в сроке работоспособности или ускорение производительности. 2. РЕЗУЛЬТАТЫ Окись углерода присутствует в выхлопных газах происходит из-за отсутствия кислорода для полного процесса сгорания. Более высокие концентрации Со в выхлопных газах- это явный признак неполного сгорания предварительно смешанной смеси. Совместное уровни были выше из-за неэффективности сгорания. Некоторое количество газа СПГ, попадает в коллектор, что приводит к недоступности воздуха для надлежащего горения. На основе производительности и параметров выбросов, КПГ индукции расположение на 2см от двигателя коллектор принимается в качестве оптимального. Тормозной термический КПД возрастает с увеличением напряжения от двигателя коллектор. Тормозной термический КПД двойного топлива введен на 2 см 13.11%, Путем добавления СПГ на бензин расход уменьшается до нормального дизельного цикла.
--	---

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведен расчет и проектирование рядного, четырехтактного, четырех цилиндрового поршневого ДВС на базе двигателя ВАЗ адаптированного на работу на сжиженном нефтяном газе. Проведены основные расчеты ДВС, это тепловой, кинематический и динамический расчеты. В тепловом расчете определены основные параметры двигателя эффективная мощность равная 58 кВт при 5600 мин^{-1} и крутящий момент равный 123 Нм при 3200 мин^{-1} . В кинематическом определены параметры перемещения, скорости и ускорения поршня. В динамическом расчете определены силы и моменты действующие в КШМ, а также нагрузки действующие на коренные и шатунные шейки.

Спроектированная система питания сжиженным нефтяным газом показала, что при работе на сжиженном нефтяном газе в среднем снизить токсичность по угарному газу (CO) на 67%, по несгоревшим углеводородам (CH) на 18% и по оксидам азота (NO) на 44%, при этом в отработавших газах не содержится сажи и твердых частиц, что соответствует нормам токсичности ОГ ЕЭК ООН № 83, что показывает что бакалаврская работа соответствует предъявляемым требованиям по безопасности и экологичности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
- 2 Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В.И. Анурьев// В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. - с.296.
- 3 Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
- 4 Кузнецов, Ю.М. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта [Текст] / М.: Транспорт, 1986.
- 5 Луканин, В.Н. Промышленная транспортная экология [Текст] / М.: Высшая школа, 2001.
- 6 Долин, П.А. Справочник по технике безопасности [Текст] / М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 7 Dake, A.R. Modeling and control of cold start hydrocarbon emissions [Текст] / A.R. Dake // Master thesis. – 2005. - 101 с.
- 8 El-Mahallawy, F. Fundamentals and technology of combustion [Текст] / F. El-Mahallawy, S. E-Din Habik. – London : Elsevier, 2002. – 862 с.
- 9 Eriksson, L. Spark Advance Modeling and Control / L. Eriksson [Текст] // Doctoral thesis. – 1999. - 207 с.
- 10 Кузнецов, В.Р. Турбулентность и горение [Текст] / Кузнецов, В.Р., Собольников В.А.// М. Наука, 1986. - 207 с.
- 11 Войнов, В.В. Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / М. Наука, 1984. - 211 с.
- 12 Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / М. Машиностроение, 1981. - 210 с.
- 13 Nlootat, G. A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours [Текст] / SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.

- 14 Khalighi, B. Computation and Measurement of Flow and Combustion in a Four-Valve Engine with Intake Variations [Текст] / SAE, SP 1101, №950287, 2001. - с. 147-179,
- 15 Jones, P. Full Cycle Computational Fluid Dynamics Calculations in a Motored Four Valve Pent Roof Combustion Chamber and Comparison with Experiment [Текст] / SAE, SP 1101, №950286, 2001. - с. 131-146
- 16 Babushok, V.I. Temperature Regions of Optimal Chemical Inhibition of Premixed Flames/ M.D.Rumminger, V.I. Babushok, G.T.Linteris// 29th Symp.Int.Combustion, 2002, pp. 329-336.
- 17 Macdonald, M.A. Temperature Dependence of phosphorus-based flame inhibition/ M.A. Macdonald, F.C. Gouldin, E.M. Fisher// Combustion and Flame 124, 2001, pp. 668-683.
- 18 Kasianantham Nanthagopal, Rayapati Subbarao, Thangavelu Elango, Ponusamy Baskar, and Kandasamy Annamalai. [Text] / Kasianantham Nanthagopal //Automotive Research Centre, SMBS, VIT University, Vellore, Tamilnadu, India. Thermal Science. 2011 – PP. 1145-1154
- 19 Duranti, A. Ethnography of Speaking: Toward a Linguistics of praxis [Text] / A. Duranti // Linguistics: The Cambridge Survey. – Cambridge, 1988. – PP. 210-228.
- 20 Michael J. Veenstra, Majed Mohammed, Daniel J. Walesky, Brian C. Moorhead. Ford Global Technologies, Llc [Text]/ Michael J. Veenstra, Majed Mohammed, Daniel J. Walesky, Brian C. Moorhead.// U.S.- 60/550,237 filed Mar. 4.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты теплового расчета

Таблица А1 - Исходные данные для теплового расчета

Q	φ	α	ε	μ	P _y	T _y	V _a	z	E2	γ	λ	n мин ⁻¹
На сжиженном нефтяном газе												
25	55	1	12	1,0524	1,275	696,745	1,003	0,9500	66,2310	0,0431	0,2930	1000
20	50	1	12	1,0524	1,469764	725,5265	1,038792	0,94	63,65541	0,036466	0,293	2000
30	60	1	12	1,0524	0,9645	650,3742	1,0718	0,8	52,6354	0,0339	0,2930	3200
40	70	1	12	1,052	0,637	570,857	1,074	0,8	52,730	0,030	0,293	5600
45	80	1	12	1,0524	0,5103	544,3494	1,1193	0,94	59,4656	0,0297	0,2933884	6000
На бензине												
25	55	1	12	1,0524	1,418	707,494	0,989	0,8100	52,1781	0,0370	0,2930	1000
30	60	1	12	1,0524	1,0548	658,1260	1,0585	0,8	48,5203	0,0292	0,2930	3200
40	70	1	12	1,052	0,678	573,979	1,062	0,8	48,533	0,026	0,293	5600
45	80	1	12	1,0524	0,5376	545,5705	1,1060	0,8	37,2823	0,0255	0,2933884	6000

Таблица А2 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на сжиженном газе при n = 1000 мин⁻¹

Тпред	T2истина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
696,7454	696,7454	0,14989	0,12	1,5698	1,7E-07	738,9963			3,4E-07	1,27451	1	1	0	0	-25
781,2473	703,9303	0,14572	0,1108	1,5262	2,9E-06	784,5168	1,3628	6,5128	5,9E-06	1,32445	1	1	3,39E-07	1	-24
787,7863	711,0904	0,14171	0,1019	1,4842	1,4E-05	791,2088	1,3568	6,6059	2,8E-05	1,37579	1	1	6,23E-06	2	-23
794,6313	718,4359	0,13786	0,0934	1,4438	4E-05	798,4457	1,3559	6,6189	8E-05	1,42886	1	1	3,42E-05	3	-22
802,2602	726,133	0,13416	0,0853	1,4051	8,9E-05	806,7917	1,3551	6,6329	0,00018	1,48397	1	1	0,000114	4	-21
811,3233	734,409	0,13063	0,0775	1,3681	0,00017	816,9829	1,3541	6,6487	0,00034	1,54153	1	1	0,000292	5	-20
822,6425	743,5536	0,12725	0,07	1,3327	0,00029	829,9225	1,3529	6,6678	0,00057	1,60214	1	1	0,000628	6	-19
837,2025	753,9174	0,12404	0,063	1,2991	0,00045	846,6665	1,3514	6,6915	0,0009	1,66659	1,0001	1	0,001199	7	-18
856,1305	765,9095	0,12099	0,0562	1,2671	0,00067	868,3973	1,3496	6,7214	0,00134	1,73581	1,0001	1,0001	0,002101	8	-17
880,6642	779,9918	0,11811	0,0499	1,237	0,00096	896,3845	1,3473	6,759	0,00191	1,81097	1,0002	1,0001	0,003443	9	-16
912,1048	796,6708	0,11539	0,0439	1,2085	0,00131	931,9314	1,3445	6,8053	0,00263	1,89336	1,0003	1,0002	0,005354	10	-15
951,7581	816,4878	0,11285	0,0383	1,1819	0,00175	976,3112	1,3412	6,8612	0,0035	1,98445	1,0004	1,0003	0,007979	11	-14
1000,864	840,0077	0,11047	0,0331	1,157	0,00227	1030,693	1,3375	6,9265	0,00455	2,08584	1,0006	1,0005	0,011479	12	-13

Продолжение таблицы А2

1060,521	867,8077	0,10827	0,0282	1,1339	0,00289	1096,063	1,3333	7,0007	0,00579	2,19919	1,0008	1,0007	0,016028	13	-12
1131,605	900,4656	0,10624	0,0237	1,1126	0,00361	1173,148	1,3288	7,0822	0,00723	2,3262	1,0011	1,001	0,021817	14	-11
1214,691	938,5502	0,10438	0,0196	1,0932	0,00443	1262,333	1,3242	7,1691	0,00887	2,46857	1,0015	1,0013	0,029042	15	-10
1309,976	982,6095	0,10269	0,0159	1,0755	0,00536	1363,591	1,3195	7,259	0,01072	2,62791	1,0019	1,0017	0,037911	16	-9
1417,207	1033,16	0,10118	0,0126	1,0597	0,00639	1476,415	1,315	7,3496	0,01278	2,80569	1,0024	1,0022	0,048633	17	-8
1535,623	1090,673	0,09985	0,0096	1,0457	0,00752	1599,765	1,3106	7,4384	0,01504	3,0032	1,0031	1,0028	0,061416	18	-7
1663,907	1155,555	0,09869	0,0071	1,0336	0,00875	1732,039	1,3066	7,5236	0,01749	3,22141	1,0038	1,0035	0,07646	19	-6
1800,172	1228,134	0,09771	0,0049	1,0234	0,01005	1871,075	1,3029	7,6036	0,0201	3,4609	1,0047	1,0043	0,093952	20	-5
1941,979	1308,63	0,09691	0,0031	1,015	0,01143	2014,192	1,2995	7,6774	0,02285	3,72177	1,0057	1,0052	0,114056	21	-4
2086,405	1397,136	0,09629	0,0018	1,0084	0,01285	2158,282	1,2965	7,7444	0,02569	4,00356	1,0069	1,0063	0,136907	22	-3
2230,159	1493,591	0,09584	0,0008	1,0037	0,01429	2299,958	1,2939	7,8041	0,02859	4,3051	1,0082	1,0075	0,162601	23	-2
2369,757	1597,757	0,09557	0,0002	1,0009	0,01573	2435,742	1,2917	7,8566	0,03147	4,62451	1,0096	1,0089	0,191186	24	-1
2501,728	1709,199	0,09548	0	1	0,01714	2562,293	1,2898	7,9019	0,03428	4,9591	1,0112	1,0104	0,222654	25	0
2622,858	1827,269	0,09557	0,0002	1,0009	0,01848	2676,641	1,2882	7,9405	0,03695	5,30538	1,0129	1,0121	0,256936	26	1
2730,424	1951,098	0,09584	0,0008	1,0037	0,0197	2776,415	1,2868	7,9727	0,03941	5,65907	1,0148	1,0138	0,293888	27	2
2822,406	2079,6	0,09629	0,0018	1,0084	0,02078	2860,016	1,2858	7,999	0,04157	6,01518	1,0168	1,0158	0,333296	28	3
2897,627	2211,477	0,09691	0,0031	1,015	0,02168	2926,726	1,2849	8,0197	0,04336	6,36814	1,0188	1,0178	0,374864	29	4
2955,825	2345,246	0,09771	0,0049	1,0234	0,02236	2976,717	1,2843	8,0355	0,04472	6,71192	1,021	1,0199	0,418227	30	5
2997,61	2479,272	0,09869	0,0071	1,0336	0,02279	3010,976	1,2838	8,0469	0,04557	7,04028	1,0233	1,0221	0,462944	31	6
3024,341	2611,812	0,09985	0,0096	1,0457	0,02294	3031,136	1,2835	8,0543	0,04588	7,34698	1,0256	1,0244	0,508517	32	7
3037,93	2741,073	0,10118	0,0126	1,0597	0,0228	3039,262	1,2834	8,0584	0,04561	7,62604	1,0279	1,0267	0,554397	33	8
3040,595	2865,271	0,10269	0,0159	1,0755	0,02237	3037,61	1,2833	8,0596	0,04475	7,872	1,0302	1,029	0,600006	34	9
3034,626	2982,705	0,10438	0,0196	1,0932	0,02165	3028,401	1,2833	8,0585	0,0433	8,08018	1,0324	1,0313	0,644752	35	10
3022,176	3091,819	0,10624	0,0237	1,1126	0,02066	3013,647	1,2835	8,0556	0,04131	8,24689	1,0346	1,0335	0,688055	36	11
3005,117	3191,271	0,10827	0,0282	1,1339	0,01942	2995,04	1,2836	8,0512	0,03884	8,36959	1,0367	1,0356	0,72937	37	12
2984,963	3279,988	0,11047	0,0331	1,157	0,01797	2973,91	1,2839	8,0458	0,03595	8,44702	1,0386	1,0376	0,768206	38	13
2962,857	3357,206	0,11285	0,0383	1,1819	0,01637	2951,233	1,2841	8,0396	0,03274	8,4792	1,0404	1,0395	0,804153	39	14
2939,61	3422,502	0,11539	0,0439	1,2085	0,01466	2927,688	1,2844	8,0329	0,02932	8,46746	1,0421	1,0412	0,836893	40	15
2915,765	3475,792	0,11811	0,0499	1,237	0,0129	2903,714	1,2847	8,026	0,0258	8,41425	1,0435	1,0428	0,866213	41	16
2891,664	3517,326	0,12099	0,0562	1,2671	0,01115	2879,59	1,2849	8,0188	0,02229	8,32302	1,0448	1,0442	0,892013	42	17
2867,515	3547,654	0,12404	0,063	1,2991	0,00945	2855,48	1,2852	8,0116	0,01889	8,19798	1,046	1,0454	0,914304	43	18
2843,444	3567,576	0,12725	0,07	1,3327	0,00785	2831,484	1,2855	8,0045	0,0157	8,04384	1,0469	1,0464	0,933198	44	19
2819,524	3578,087	0,13063	0,0775	1,3681	0,00639	2807,665	1,2858	7,9974	0,01277	7,86559	1,0477	1,0473	0,948895	45	20

Продолжение таблицы А2

2795,805	3580,31	0,13416	0,0853	1,4051	0,00509	2784,062	1,2861	7,9904	0,01017	7,66823	1,0483	1,048	0,961668	46	21
2772,319	3575,429	0,13786	0,0934	1,4438	0,00396	2760,706	1,2864	7,9836	0,00792	7,45654	1,0488	1,0486	0,971838	47	22
2749,092	3564,628	0,14171	0,1019	1,4842	0,00301	2737,619	1,2867	7,977	0,00602	7,23496	1,0492	1,049	0,979754	48	23
2726,145	3549,038	0,14572	0,1108	1,5262	0,00223	2714,819	1,2869	7,9705	0,00446	7,00742	1,0495	1,0494	0,985773	49	24
2703,494	3529,692	0,14989	0,12	1,5698	0,00161	2692,324	1,2872	7,9642	0,00323	6,7773	1,0498	1,0497	0,990237	50	25
2681,154	3507,504	0,15421	0,1295	1,615	0,00114	2670,145	1,2874	7,958	0,00227	6,5474	1,0499	1,0499	0,993465	51	26
2659,136	3483,247	0,15867	0,1393	1,6618	0,00078	2648,293	1,2877	7,9519	0,00156	6,31994	1,0501	1,05	0,995738	52	27
2637,45	3457,558	0,16329	0,1495	1,7101	0,00052	2626,777	1,2879	7,9459	0,00104	6,09663	1,0501	1,0501	0,997295	53	28
2616,105	3430,94	0,16804	0,16	1,7599	0,00033	2605,605	1,2882	7,94	0,00067	5,87872	1,0502	1,0502	0,998331	54	29
2595,105	3403,778	0,17295	0,1708	1,8113	0,00021	2584,781	1,2884	7,9341	0,00042	5,66709	1,0502	1,0502	0,999	55	30

Таблица А3 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на сжиженном газе при $n = 2000$ мин-1

Тпред	T2истина	Vст	s	y(f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
725,5265	725,5265	0,13535	0,07749	1,36807	0,00000	734,7242			0,00000	1,46976	1	1	0	0	-20
743,922	732,533	0,13185	0,07005	1,33271	0,00001	747,4085	1,36339	6,50369	0,00002	1,52332	1	1	1E-06	1	-19
750,8951	739,6385	0,12852	0,06296	1,29907	0,00004	754,4755	1,36162	6,53067	0,00007	1,57794	1	1	2E-05	2	-18
758,056	747,1094	0,12536	0,05624	1,26715	0,00010	761,8443	1,36066	6,54545	0,00019	1,63403	1	1	9E-05	3	-17
765,6327	755,3028	0,12238	0,04989	1,23696	0,00020	769,7772	1,35967	6,56068	0,00041	1,69227	1	1	0,0003	4	-16
773,9218	764,6806	0,11956	0,04390	1,20853	0,00037	778,6041	1,35862	6,57687	0,00074	1,75361	1	1	0,0007	5	-15
783,2864	775,8052	0,11693	0,03829	1,18187	0,00061	788,719	1,35748	6,59465	0,00122	1,81931	1,0001	1,0001	0,0014	6	-14
794,1516	789,334	0,11446	0,03305	1,15699	0,00093	800,5755	1,35621	6,61470	0,00187	1,89093	1,0001	1,0001	0,0027	7	-13
806,9993	806,0093	0,11218	0,02819	1,13391	0,00135	814,6789	1,35475	6,63777	0,00271	1,97035	1,0002	1,0002	0,0045	8	-12
822,3585	826,6449	0,11007	0,02371	1,11263	0,00188	831,5765	1,35307	6,66460	0,00377	2,05968	1,0004	1,0003	0,0072	9	-11
840,7946	852,1081	0,10815	0,01961	1,09316	0,00253	851,8444	1,35113	6,69590	0,00506	2,16129	1,0006	1,0005	0,011	10	-10
862,8942	883,2965	0,10640	0,01590	1,07552	0,00330	876,071	1,34890	6,73224	0,00661	2,27765	1,0008	1,0007	0,0161	11	-9
889,2479	921,1102	0,10484	0,01257	1,05971	0,00421	904,8388	1,34638	6,77407	0,00842	2,41130	1,0011	1,001	0,0227	12	-8
920,4298	966,4202	0,10346	0,00963	1,04574	0,00525	938,7028	1,34355	6,82158	0,01050	2,56467	1,0016	1,0014	0,0311	13	-7
956,9759	1020,034	0,10226	0,00708	1,03363	0,00642	978,1683	1,34044	6,87470	0,01285	2,74000	1,0021	1,0018	0,0416	14	-6
999,3608	1082,66	0,10124	0,00492	1,02336	0,00773	1023,668	1,33709	6,93310	0,01546	2,93912	1,0028	1,0024	0,0544	15	-5
1047,975	1154,87	0,10041	0,00315	1,01496	0,00915	1075,538	1,33355	6,99615	0,01831	3,16337	1,0035	1,0031	0,0699	16	-4
1103,101	1237,065	0,09977	0,00177	1,00842	0,01068	1133,997	1,32987	7,06299	0,02137	3,41340	1,0045	1,004	0,0882	17	-3
1164,892	1329,444	0,09930	0,00079	1,00374	0,01230	1199,123	1,32613	7,13258	0,02460	3,68907	1,0055	1,005	0,1095	18	-2

Продолжение таблицы А3

1233,354	1431,971	0,09903	0,00020	1,00094	0,01397	1270,839	1,32238	7,20379	0,02794	3,98932	1,0068	1,0062	0,1341	19	-1
1308,324	1544,353	0,09893	0,00000	1,00000	0,01567	1348,891	1,31870	7,27543	0,03133	4,31212	1,0082	1,0075	0,1621	20	0
1389,459	1666,019	0,09903	0,00020	1,00094	0,01735	1432,842	1,31514	7,34637	0,03469	4,65440	1,0098	1,009	0,1934	21	1
1476,226	1796,109	0,09930	0,00079	1,00374	0,01896	1522,061	1,31174	7,41557	0,03793	5,01209	1,0115	1,0107	0,2281	22	2
1567,896	1933,471	0,09977	0,00177	1,00842	0,02047	1615,723	1,30854	7,48213	0,04094	5,38015	1,0135	1,0125	0,266	23	3
1663,55	2076,671	0,10041	0,00315	1,01496	0,02182	1712,821	1,30556	7,54530	0,04364	5,75270	1,0155	1,0145	0,307	24	4
1762,091	2224,014	0,10124	0,00492	1,02336	0,02296	1812,177	1,30282	7,60450	0,04592	6,12315	1,0177	1,0166	0,3506	25	5
1862,262	2373,584	0,10226	0,00708	1,03363	0,02384	1912,473	1,30033	7,65931	0,04768	6,48446	1,0201	1,0189	0,3965	26	6
1962,683	2523,29	0,10346	0,00963	1,04574	0,02442	2012,286	1,29809	7,70945	0,04884	6,82940	1,0225	1,0213	0,4442	27	7
2061,89	2670,94	0,10484	0,01257	1,05971	0,02467	2110,137	1,29609	7,75477	0,04933	7,15080	1,0249	1,0237	0,4931	28	8
2158,385	2814,311	0,10640	0,01590	1,07552	0,02456	2204,54	1,29432	7,79523	0,04911	7,44190	1,0274	1,0262	0,5424	29	9
2250,695	2951,237	0,10815	0,01961	1,09316	0,02408	2294,064	1,29279	7,83091	0,04817	7,69667	1,0299	1,0287	0,5915	30	10
2337,432	3079,698	0,11007	0,02371	1,11263	0,02326	2377,392	1,29146	7,86193	0,04652	7,91005	1,0324	1,0311	0,6397	31	11
2417,351	3197,907	0,11218	0,02819	1,13391	0,02210	2453,378	1,29034	7,88848	0,04420	8,07822	1,0347	1,0335	0,6862	32	12
2489,405	3304,382	0,11446	0,03305	1,15699	0,02065	2521,1	1,28940	7,91083	0,04130	8,19879	1,0369	1,0358	0,7304	33	13
2552,794	3398,011	0,11693	0,03829	1,18187	0,01896	2579,893	1,28863	7,92925	0,03791	8,27085	1,039	1,038	0,7717	34	14
2606,992	3478,094	0,11956	0,04390	1,20853	0,01709	2629,381	1,28802	7,94405	0,03418	8,29500	1,041	1,04	0,8096	35	15
2651,769	3544,361	0,12238	0,04989	1,23696	0,01511	2669,478	1,28754	7,95558	0,03023	8,27324	1,0427	1,0418	0,8438	36	16
2687,186	3596,961	0,12536	0,05624	1,26715	0,01310	2700,38	1,28718	7,96416	0,02621	8,20885	1,0442	1,0434	0,874	37	17
2713,574	3636,433	0,12852	0,06296	1,29907	0,01113	2722,539	1,28694	7,97013	0,02226	8,10607	1,0455	1,0449	0,9002	38	18
2731,505	3663,651	0,13185	0,07005	1,33271	0,00925	2736,619	1,28679	7,97384	0,01850	7,96990	1,0467	1,0461	0,9225	39	19
2741,734	3679,749	0,13535	0,07749	1,36807	0,00751	2743,443	1,28671	7,97561	0,01503	7,80575	1,0476	1,0471	0,941	40	20
2745,152	3686,041	0,13901	0,08529	1,40511	0,00596	2743,934	1,286708	7,97573	0,01193	7,61912	1,0484	1,048	0,956	41	21
2742,717	3683,933	0,14284	0,09344	1,44382	0,00462	2739,061	1,28676	7,97448	0,00924	7,41541	1,049	1,0487	0,9679	42	22
2735,404	3674,842	0,14683	0,10194	1,48419	0,00349	2729,778	1,286857	7,97212	0,00697	7,19959	1,0494	1,0492	0,9771	43	23
2724,151	3660,128	0,15099	0,11078	1,52619	0,00256	2716,985	1,28699	7,96887	0,00512	6,97615	1,0498	1,0496	0,9841	44	24
2709,819	3641,033	0,15530	0,11996	1,56981	0,00183	2701,493	1,287153	7,96492	0,00366	6,74892	1,05	1,0499	0,9892	45	25
2693,168	3618,648	0,15978	0,12948	1,61501	0,00127	2684,002	1,287339	7,96043	0,00255	6,52107	1,0502	1,0501	0,9929	46	26
2674,837	3593,893	0,16440	0,13932	1,66178	0,00086	2665,095	1,287541	7,95553	0,00172	6,29511	1,0504	1,0503	0,9955	47	27
2655,352	3567,515	0,16918	0,14950	1,71010	0,00056	2645,236	1,287756	7,95033	0,00112	6,07296	1,0504	1,0504	0,9972	48	28
2635,12	3540,097	0,17412	0,15999	1,75995	0,00035	2624,787	1,287981	7,94491	0,00071	5,85601	1,0505	1,0505	0,9983	49	29
2614,454	3512,08	0,17920	0,17080	1,81129	0,00022	2604,016	1,288212	7,93933	0,00043	5,64523	1,0505	1,0505	0,999	50	30

Таблица А4 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на сжиженном газе при $n = 3200 \text{ мин}^{-1}$

Тпред	Т2истина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
650,3742	650,3742	0,1849	0,1708	1,8113	5,2E-08	658,7194			1,04E-07	0,96449	1	1	0	0	-30
667,0646	657,4429	0,1796	0,16	1,7599	1E-06	670,6386	1,37544	6,32711	2,08E-06	1,00341	1	1	1,04E-07	1	-29
674,2125	664,5746	0,1746	0,1495	1,7101	5,4E-06	677,8383	1,37337	6,35664	1,08E-05	1,04386	1	1	2,19E-06	2	-28
681,4641	671,8245	0,1696	0,1393	1,6618	1,7E-05	685,1719	1,37215	6,37413	3,32E-05	1,08593	1	1	1,3E-05	3	-27
688,8796	679,2599	0,1649	0,1295	1,615	3,9E-05	692,7133	1,37094	6,39169	7,71E-05	1,12975	1	1	4,62E-05	4	-26
696,547	686,9791	0,1602	0,12	1,5698	7,6E-05	700,5659	1,36972	6,40949	0,000152	1,17549	1,00001	1	0,000123	5	-25
704,5849	695,1143	0,1558	0,1108	1,5262	0,00013	708,8646	1,36848	6,42774	0,000267	1,22341	1,00001	1,00001	0,000275	6	-24
713,1443	703,8333	0,1515	0,1019	1,4842	0,00022	717,7772	1,36719	6,44674	0,000433	1,27382	1,00003	1,00002	0,000542	7	-23
722,41	713,3411	0,1474	0,0934	1,4438	0,00033	727,5055	1,36584	6,46681	0,000661	1,32715	1,00005	1,00004	0,000975	8	-22
732,601	723,8807	0,1434	0,0853	1,4051	0,00048	738,2858	1,36441	6,48834	0,000964	1,3839	1,00008	1,00007	0,001636	9	-21
743,9706	735,7327	0,1396	0,0775	1,3681	0,00068	750,3879	1,36286	6,51175	0,001352	1,44471	1,00013	1,00011	0,0026	10	-20
756,8051	749,2143	0,136	0,07	1,3327	0,00092	764,1138	1,36118	6,53747	0,001838	1,5103	1,0002	1,00017	0,003951	11	-19
771,4224	764,6772	0,1326	0,063	1,2991	0,00122	779,795	1,35933	6,56595	0,002434	1,58152	1,00029	1,00025	0,005789	12	-18
788,1677	782,5033	0,1293	0,0562	1,2671	0,00158	797,789	1,35729	6,59763	0,003152	1,65934	1,00042	1,00036	0,008223	13	-17
807,4102	803,1004	0,1263	0,0499	1,237	0,002	818,4732	1,35506	6,63288	0,004004	1,74482	1,00058	1,0005	0,011375	14	-16
829,5362	826,8949	0,1234	0,0439	1,2085	0,0025	842,2392	1,35261	6,67202	0,004999	1,83911	1,00078	1,00068	0,015379	15	-15
854,9423	854,324	0,1206	0,0383	1,1819	0,00307	869,4845	1,34994	6,71527	0,006146	1,94342	1,00103	1,00091	0,020378	16	-14
884,0268	885,8258	0,1181	0,0331	1,157	0,00373	900,6037	1,34706	6,76271	0,007454	2,05899	1,00135	1,00119	0,026524	17	-13
917,1806	921,8293	0,1157	0,0282	1,1339	0,00446	935,9783	1,34398	6,81428	0,008927	2,18705	1,00172	1,00153	0,033978	18	-12
954,7759	962,7418	0,1136	0,0237	1,1126	0,00528	975,9659	1,34073	6,86979	0,010568	2,32877	1,00218	1,00195	0,042906	19	-11
997,1559	1008,937	0,1116	0,0196	1,0932	0,00619	1020,889	1,33733	6,92886	0,012375	2,4852	1,00271	1,00244	0,053474	20	-10
1044,623	1060,741	0,1098	0,0159	1,0755	0,00717	1071,023	1,33383	6,99101	0,014342	2,6572	1,00334	1,00303	0,065848	21	-9
1097,424	1118,42	0,1082	0,0126	1,0597	0,00823	1126,585	1,33027	7,0556	0,01646	2,8454	1,00407	1,0037	0,08019	22	-8
1155,745	1182,168	0,1067	0,0096	1,0457	0,00936	1187,717	1,32669	7,12194	0,018714	3,05012	1,0049	1,00448	0,096651	23	-7
1219,69	1252,089	0,1055	0,0071	1,0336	0,01054	1254,482	1,32314	7,18926	0,021081	3,2713	1,00585	1,00538	0,115364	24	-6
1289,275	1328,187	0,1045	0,0049	1,0234	0,01177	1326,845	1,31965	7,2568	0,023535	3,50845	1,00692	1,00638	0,136445	25	-5
1364,415	1410,357	0,1036	0,0031	1,015	0,01302	1404,664	1,31627	7,3238	0,026041	3,76057	1,00811	1,00752	0,159979	26	-4
1444,913	1498,365	0,1029	0,0018	1,0084	0,01428	1487,682	1,31301	7,38957	0,028559	4,02617	1,00943	1,00877	0,18602	27	-3
1530,452	1591,849	0,1025	0,0008	1,0037	0,01552	1575,52	1,30991	7,45346	0,031043	4,30318	1,01088	1,01016	0,21458	28	-2
1620,588	1690,304	0,1022	0,0002	1,0009	0,01672	1667,668	1,30699	7,51495	0,033441	4,589	1,01246	1,01167	0,245623	29	-1
1714,748	1793,086	0,1021	0	1	0,01785	1763,489	1,30425	7,57356	0,035697	4,88047	1,01415	1,0133	0,279064	30	0

Продолжение таблицы А4

1812,229	1899,411	0,1022	0,0002	1,0009	0,01888	1862,216	1,30171	7,62895	0,037752	5,17397	1,01596	1,01506	0,314761	31	1
1912,204	2008,358	0,1025	0,0008	1,0037	0,01977	1962,968	1,29936	7,68084	0,039546	5,46546	1,01788	1,01692	0,352513	32	2
2013,732	2118,89	0,1029	0,0018	1,0084	0,02051	2064,755	1,29722	7,72906	0,041021	5,75059	1,01988	1,01888	0,392059	33	3
2115,778	2229,865	0,1036	0,0031	1,015	0,02106	2166,503	1,29527	7,77349	0,042122	6,02482	1,02196	1,02092	0,43308	34	4
2217,229	2340,066	0,1045	0,0049	1,0234	0,0214	2267,078	1,29351	7,81408	0,042804	6,28359	1,0241	1,02303	0,475202	35	5
2316,927	2448,231	0,1055	0,0071	1,0336	0,02151	2365,314	1,29193	7,85086	0,043027	6,52246	1,02627	1,02518	0,518006	36	6
2413,7	2553,085	0,1067	0,0096	1,0457	0,02138	2460,047	1,29053	7,88387	0,042768	6,73726	1,02845	1,02736	0,561033	37	7
2506,394	2653,386	0,1082	0,0126	1,0597	0,02101	2550,156	1,2893	7,91321	0,042015	6,92428	1,03062	1,02954	0,6038	38	8
2593,918	2747,958	0,1098	0,0159	1,0755	0,02039	2634,596	1,28823	7,93902	0,040776	7,08043	1,03275	1,03168	0,645815	39	9
2675,274	2835,737	0,1116	0,0196	1,0932	0,01954	2712,436	1,2873	7,96145	0,039074	7,20332	1,03482	1,03378	0,686592	40	10
2749,598	2915,808	0,1136	0,0237	1,1126	0,01848	2782,895	1,28651	7,98067	0,036951	7,29138	1,0368	1,03581	0,725666	41	11
2816,191	2987,434	0,1157	0,0282	1,1339	0,01723	2845,365	1,28584	7,99689	0,034465	7,34393	1,03867	1,03774	0,762617	42	12
2874,539	3050,085	0,1181	0,0331	1,157	0,01584	2899,438	1,28529	8,01031	0,031685	7,36115	1,04042	1,03955	0,797082	43	13
2924,337	3103,456	0,1206	0,0383	1,1819	0,01435	2944,913	1,28485	8,02115	0,028695	7,34412	1,04203	1,04122	0,828767	44	14
2965,488	3147,465	0,1234	0,0439	1,2085	0,01279	2981,797	1,28451	8,02962	0,025582	7,29466	1,04348	1,04276	0,857462	45	15
2998,106	3182,256	0,1263	0,0499	1,237	0,01122	3010,301	1,28425	8,03596	0,022436	7,2153	1,04478	1,04413	0,883044	46	16
3022,497	3208,18	0,1293	0,0562	1,2671	0,00967	3030,818	1,28407	8,0404	0,019343	7,10909	1,04592	1,04535	0,90548	47	17
3039,138	3225,768	0,1326	0,063	1,2991	0,00819	3043,893	1,28396	8,04314	0,016381	6,97948	1,0469	1,04641	0,924823	48	18
3048,647	3235,698	0,136	0,07	1,3327	0,00681	3050,195	1,28391	8,0444	0,013616	6,83013	1,04773	1,04731	0,941203	49	19
3051,744	3238,755	0,1396	0,0775	1,3681	0,00555	3050,478	1,28391	8,04439	0,011101	6,66475	1,04842	1,04807	0,95482	50	20
3049,212	3235,791	0,1434	0,0853	1,4051	0,00443	3045,537	1,28396	8,04329	0,008868	6,48698	1,04898	1,0487	0,96592	51	21
3041,862	3227,681	0,1474	0,0934	1,4438	0,00347	3036,176	1,28404	8,04128	0,006936	6,30026	1,04943	1,04921	0,974789	52	22
3030,49	3215,286	0,1515	0,1019	1,4842	0,00265	3023,172	1,28415	8,03851	0,005307	6,1077	1,04978	1,04961	0,981725	53	23
3015,853	3199,42	0,1558	0,1108	1,5262	0,00198	3007,249	1,28429	8,03513	0,003969	5,91205	1,05005	1,04992	0,987032	54	24
2998,644	3180,825	0,1602	0,12	1,5698	0,00145	2989,057	1,28444	8,03125	0,002898	5,71568	1,05026	1,05015	0,991001	55	25
2979,471	3160,158	0,1649	0,1295	1,615	0,00103	2969,164	1,28462	8,02698	0,002064	5,52051	1,0504	1,05033	0,993899	56	26
2958,858	3137,976	0,1696	0,1393	1,6618	0,00072	2948,046	1,2848	8,02242	0,001433	5,32811	1,05051	1,05045	0,995963	57	27
2937,235	3114,742	0,1746	0,1495	1,7101	0,00048	2926,092	1,285	8,01762	0,000968	5,13965	1,05058	1,05054	0,997396	58	28
2914,949	3090,826	0,1796	0,16	1,7599	0,00032	2903,61	1,2852	8,01264	0,000636	4,95603	1,05063	1,0506	0,998364	59	29
2892,271	3066,516	0,1849	0,1708	1,8113	0,0002	2880,838	1,28541	8,00754	0,000406	4,77786	1,05066	1,05064	0,999	60	30

Таблица А5 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на сжиженном газе при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Тпред	TИстина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
570,857	570,857	0,2457	0,295	2,4014	2,6E-08	575,948			5,26E-08	0,63711	1	1	0	0	-40
581,04	577,026	0,239	0,2814	2,3365	5,3E-07	584,269	1,39217	6,099808	1,06E-06	0,66187	1	1	5,26E-08	1	-39
587,497	583,301	0,2325	0,268	2,2729	2,8E-06	590,798	1,39028	6,12459	5,5E-06	0,6878	1	1	1,11E-06	2	-38
594,098	589,714	0,2261	0,2548	2,2105	8,4E-06	597,487	1,38882	6,143714	1,68E-05	0,71499	1	1	6,61E-06	3	-37
600,877	596,304	0,2199	0,242	2,1494	2E-05	604,381	1,38737	6,163021	3,91E-05	0,74354	1	1,000001	2,34E-05	4	-36
607,886	603,126	0,2138	0,2294	2,0896	3,8E-05	611,539	1,38591	6,182621	7,7E-05	0,77357	1	1,000002	6,26E-05	5	-35
615,192	610,255	0,2078	0,2171	2,0311	6,8E-05	619,037	1,38442	6,202663	0,000135	0,80524	1,00001	1,000005	0,00014	6	-34
622,882	617,783	0,202	0,2051	1,9741	0,00011	626,97	1,3829	6,223329	0,00022	0,83875	1,00001	1,000011	0,000275	7	-33
631,058	625,824	0,1963	0,1933	1,9184	0,00017	635,451	1,38133	6,244836	0,000336	0,87434	1,00003	1,00002	0,000495	8	-32
639,844	634,511	0,1907	0,1819	1,8641	0,00024	644,612	1,37969	6,267433	0,00049	0,91229	1,00004	1,000034	0,000831	9	-31
649,38	643,999	0,1853	0,1708	1,8113	0,00034	654,604	1,37797	6,291394	0,000687	0,95295	1,00007	1,000055	0,00132	10	-30
659,828	654,463	0,18	0,16	1,7599	0,00047	665,597	1,37615	6,317015	0,000935	0,99672	1,0001	1,000085	0,002007	11	-29
671,366	666,099	0,1749	0,1495	1,7101	0,00062	677,778	1,37421	6,3446	0,00124	1,04405	1,00015	1,000126	0,002942	12	-28
684,191	679,122	0,17	0,1393	1,6618	0,0008	691,354	1,37213	6,374455	0,001607	1,09548	1,00021	1,000181	0,004182	13	-27
698,517	693,765	0,1652	0,1295	1,615	0,00102	706,545	1,3699	6,406873	0,002045	1,15159	1,00029	1,000254	0,005789	14	-26
714,572	710,276	0,1606	0,12	1,5698	0,00128	723,584	1,3675	6,442121	0,002559	1,21306	1,0004	1,000347	0,007835	15	-25
732,596	728,918	0,1561	0,1108	1,5262	0,00158	742,716	1,36494	6,480425	0,003156	1,28063	1,00053	1,000464	0,010394	16	-24
752,837	749,964	0,1518	0,1019	1,4842	0,00192	764,194	1,36219	6,521956	0,003841	1,35508	1,00069	1,00061	0,01355	17	-23
775,551	773,692	0,1477	0,0934	1,4438	0,00231	788,274	1,35927	6,566813	0,004619	1,4373	1,00089	1,000788	0,017391	18	-22
800,996	800,382	0,1437	0,0853	1,4051	0,00275	815,212	1,35619	6,615014	0,005495	1,52818	1,00112	1,001003	0,02201	19	-21
829,427	830,314	0,14	0,0775	1,3681	0,00324	845,259	1,35295	6,666486	0,006473	1,62867	1,0014	1,001261	0,027505	20	-20
861,091	863,759	0,1363	0,07	1,3327	0,00378	878,659	1,34959	6,721062	0,007556	1,73975	1,00173	1,001565	0,033978	21	-19
896,226	900,974	0,1329	0,063	1,2991	0,00437	915,639	1,34611	6,778485	0,008743	1,86237	1,00211	1,001922	0,041534	22	-18
935,052	942,198	0,1296	0,0562	1,2671	0,00502	956,408	1,34256	6,838408	0,010036	1,99747	1,00256	1,002337	0,050277	23	-17
977,764	987,646	0,1265	0,0499	1,237	0,00572	1001,15	1,33896	6,900411	0,011432	2,14594	1,00307	1,002815	0,060313	24	-16
1024,53	1037,5	0,1236	0,0439	1,2085	0,00646	1050,01	1,33534	6,964017	0,012926	2,30855	1,00365	1,003362	0,071745	25	-15
1075,49	1091,91	0,1209	0,0383	1,1819	0,00726	1103,12	1,33175	7,028708	0,014512	2,48596	1,00431	1,003982	0,084671	26	-14
1130,74	1150,98	0,1184	0,0331	1,157	0,00809	1160,54	1,32819	7,093943	0,016181	2,67866	1,00505	1,004681	0,099183	27	-13
1190,33	1214,76	0,116	0,0282	1,1339	0,00896	1222,29	1,32472	7,159182	0,017921	2,8869	1,00587	1,005462	0,115364	28	-12
1254,25	1283,25	0,1138	0,0237	1,1126	0,00986	1288,35	1,32134	7,223902	0,019716	3,11068	1,00679	1,00633	0,133285	29	-11
1322,45	1356,39	0,1118	0,0196	1,0932	0,01078	1358,63	1,31809	7,287611	0,02155	3,34969	1,00779	1,007288	0,153001	30	-10

Продолжение таблицы А5

1394,81	1434,03	0,11	0,0159	1,0755	0,0117	1432,97	1,31497	7,349859	0,023401	3,60328	1,00889	1,008339	0,174551	31	-9
1471,13	1515,97	0,1084	0,0126	1,0597	0,01262	1511,14	1,312	7,41025	0,025246	3,87039	1,01008	1,009483	0,197953	32	-8
1551,16	1601,93	0,107	0,0096	1,0457	0,01353	1592,86	1,30919	7,468443	0,027058	4,14956	1,01136	1,010722	0,223198	33	-7
1634,55	1691,55	0,1057	0,0071	1,0336	0,0144	1677,73	1,30655	7,524158	0,028808	4,4389	1,01274	1,012053	0,250256	34	-6
1720,91	1784,37	0,1047	0,0049	1,0234	0,01523	1765,33	1,30408	7,57717	0,030466	4,73609	1,01421	1,013475	0,279064	35	-5
1809,74	1879,87	0,1038	0,0031	1,015	0,016	1855,11	1,30178	7,627311	0,032001	5,03839	1,01576	1,014984	0,309531	36	-4
1900,49	1977,45	0,1032	0,0018	1,0084	0,01669	1946,51	1,29965	7,674463	0,033379	5,34266	1,01739	1,016575	0,341531	37	-3
1992,53	2076,44	0,1027	0,0008	1,0037	0,01728	2038,86	1,29768	7,718551	0,034569	5,64546	1,01909	1,018239	0,37491	38	-2
2085,19	2176,1	0,1024	0,0002	1,0009	0,01777	2131,46	1,29588	7,759545	0,035541	5,94307	1,02085	1,019969	0,409479	39	-1
2177,73	2275,64	0,1023	0	1	0,01813	2223,56	1,29423	7,797444	0,036266	6,23163	1,02266	1,021754	0,44502	40	0
2269,39	2374,25	0,1024	0,0002	1,0009	0,01836	2314,38	1,29273	7,832279	0,03672	6,5072	1,02451	1,023582	0,481286	41	1
2359,37	2471,07	0,1027	0,0008	1,0037	0,01844	2403,14	1,29137	7,864105	0,036885	6,7659	1,02637	1,02544	0,518006	42	2
2446,9	2565,27	0,1032	0,0018	1,0084	0,01837	2489,05	1,29015	7,892997	0,036746	7,00402	1,02825	1,027314	0,554891	43	3
2531,19	2656	0,1038	0,0031	1,015	0,01815	2571,35	1,28906	7,919047	0,036296	7,21817	1,03012	1,029188	0,591636	44	4
2611,5	2742,49	0,1047	0,0049	1,0234	0,01777	2649,32	1,28809	7,942357	0,035538	7,40535	1,03197	1,031048	0,627933	45	5
2687,14	2823,98	0,1057	0,0071	1,0336	0,01724	2722,3	1,28723	7,963044	0,034478	7,56307	1,03378	1,032876	0,66347	46	6
2757,47	2899,82	0,107	0,0096	1,0457	0,01657	2789,72	1,28648	7,98123	0,033135	7,68943	1,03554	1,034659	0,697949	47	7
2821,97	2969,44	0,1084	0,0126	1,0597	0,01577	2851,09	1,28583	7,997045	0,031534	7,78319	1,03722	1,03638	0,731084	48	8
2880,2	3032,38	0,11	0,0159	1,0755	0,01485	2906,02	1,28528	8,010624	0,029705	7,84377	1,03883	1,038027	0,762617	49	9
2931,83	3088,28	0,1118	0,0196	1,0932	0,01384	2954,24	1,28481	8,022104	0,027689	7,87128	1,04034	1,039586	0,792323	50	10
2976,65	3136,95	0,1138	0,0237	1,1126	0,01276	2995,62	1,28443	8,031628	0,025529	7,86646	1,04175	1,041047	0,820012	51	11
3014,58	3178,28	0,116	0,0282	1,1339	0,01164	3030,12	1,28412	8,039336	0,023271	7,8307	1,04305	1,042402	0,84554	52	12
3045,65	3212,32	0,1184	0,0331	1,157	0,01048	3057,84	1,28387	8,04537	0,020964	7,76589	1,04424	1,043644	0,868811	53	13
3070,02	3239,23	0,1209	0,0383	1,1819	0,00933	3078,98	1,28369	8,049871	0,018656	7,67437	1,0453	1,04477	0,889775	54	14
3087,94	3259,28	0,1236	0,0439	1,2085	0,0082	3093,84	1,28357	8,052976	0,016392	7,55883	1,04625	1,045779	0,90843	55	15
3099,75	3272,86	0,1265	0,0499	1,237	0,00711	3102,83	1,28349	8,054822	0,014215	7,42219	1,04709	1,046671	0,924823	56	16
3105,9	3280,41	0,1296	0,0562	1,2671	0,00608	3106,39	1,28347	8,05554	0,01216	7,26753	1,04781	1,04745	0,939038	57	17
3106,87	3282,46	0,1329	0,063	1,2991	0,00513	3105,03	1,28348	8,055254	0,010256	7,09791	1,04843	1,048121	0,951198	58	18
3103,19	3279,56	0,1363	0,07	1,3327	0,00426	3099,3	1,28352	8,054084	0,008524	6,91637	1,04895	1,048692	0,961454	59	19
3095,4	3272,3	0,14	0,0775	1,3681	0,00349	3089,74	1,2836	8,052143	0,006977	6,72578	1,04939	1,04917	0,969977	60	20
3084,07	3261,25	0,1437	0,0853	1,4051	0,00281	3076,9	1,28371	8,049536	0,005622	6,52883	1,04974	1,049565	0,976954	61	21
3069,74	3247,01	0,1477	0,0934	1,4438	0,00223	3061,32	1,28383	8,04636	0,004456	6,32794	1,05003	1,049886	0,982576	62	22
3052,9	3230,09	0,1518	0,1019	1,4842	0,00174	3043,48	1,28398	8,042701	0,003473	6,12526	1,05026	1,050142	0,987032	63	23

Продолжение таблицы А5

3034,05	3211,01	0,1561	0,1108	1,5262	0,00133	3023,83	1,28415	8,038639	0,00266	5,92264	1,05043	1,050344	0,990506	64	24
3013,61	3190,22	0,1606	0,12	1,5698	0,001	3002,78	1,28432	8,034245	0,002001	5,72166	1,05057	1,0505	0,993166	65	25
2991,95	3168,11	0,1652	0,1295	1,615	0,00074	2980,68	1,28451	8,029578	0,001477	5,5236	1,05067	1,050619	0,995167	66	26
2969,41	3145,03	0,17	0,1393	1,6618	0,00053	2957,82	1,28471	8,024691	0,001069	5,32947	1,05075	1,050707	0,996644	67	27
2946,24	3121,27	0,1749	0,1495	1,7101	0,00038	2934,47	1,28492	8,019629	0,000759	5,14007	1,0508	1,050772	0,997714	68	28
2922,69	3097,07	0,18	0,16	1,7599	0,00026	2910,81	1,28513	8,014428	0,000528	4,95599	1,05084	1,050819	0,998473	69	29
2898,93	3072,62	0,1853	0,1708	1,8113	0,00018	#3НАЧ!	1,28534	8,00912	0,000359	4,77763	1,05086	1,050852	0,999	70	30

Таблица А6 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на сжиженном газе при $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$

Тпред	TИстина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
544,35	544,35	0,2925	0,36705	2,7435	8,43E-08	548,09			1,69E-07	0,510323	1	1	0	0	-45
551,82	550,05	0,2849	0,3522	2,6729	1,26E-06	554,75	1,399	6,01	2,53E-06	0,529272	1	1	1,69E-07	1	-44
557,67	555,88	0,2775	0,33757	2,6035	5,48E-06	560,69	1,397	6,03	1,1E-05	0,549159	1	1	2,7E-06	2	-43
563,70	561,91	0,2703	0,32318	2,5351	1,48E-05	566,84	1,396	6,05	2,95E-05	0,570079	1,000001	1	1,37E-05	3	-42
569,97	568,18	0,2631	0,30903	2,4679	3,11E-05	573,26	1,394	6,07	6,22E-05	0,59215	1,000002	1,000001	4,32E-05	4	-41
576,55	574,79	0,256	0,29511	2,4018	5,66E-05	580,05	1,393	6,09	0,000113	0,615516	1,000005	1,000004	0,000105	5	-40
583,54	581,82	0,2491	0,28146	2,3369	9,32E-05	587,29	1,391	6,11	0,000186	0,640353	1,000011	1,000008	0,000219	6	-39
591,03	589,41	0,2423	0,26805	2,2733	0,000143	595,10	1,390	6,13	0,000286	0,666872	1,000021	1,000016	0,000405	7	-38
599,16	597,67	0,2357	0,25492	2,2108	0,000208	603,60	1,388	6,16	0,000415	0,69532	1,000035	1,000028	0,000691	8	-37
608,05	606,77	0,2292	0,24205	2,1497	0,00029	612,95	1,386	6,18	0,000579	0,725983	1,000056	1,000046	0,001106	9	-36
617,85	616,85	0,2228	0,22946	2,0899	0,000391	623,29	1,384	6,21	0,000781	0,759191	1,000086	1,000071	0,001685	10	-35
628,72	628,11	0,2166	0,21715	2,0314	0,000512	634,78	1,382	6,24	0,001025	0,79532	1,000126	1,000106	0,002466	11	-34
640,83	640,72	0,2105	0,20512	1,9743	0,000657	647,60	1,380	6,27	0,001314	0,834791	1,000178	1,000152	0,003491	12	-33
654,36	654,89	0,2045	0,1934	1,9186	0,000826	661,93	1,377	6,30	0,001653	0,878078	1,000245	1,000211	0,004805	13	-32
669,49	670,82	0,1987	0,18197	1,8644	0,001022	677,95	1,375	6,34	0,002044	0,925703	1,000329	1,000287	0,006458	14	-31
686,41	688,74	0,1931	0,17085	1,8115	0,001245	695,85	1,372	6,38	0,00249	0,978239	1,000433	1,000381	0,008502	15	-30
705,30	708,86	0,1876	0,16004	1,7602	0,001498	715,82	1,369	6,42	0,002995	1,03631	1,00056	1,000496	0,010992	16	-29
726,34	731,40	0,1823	0,14954	1,7103	0,001781	738,03	1,366	6,46	0,003561	1,100586	1,000712	1,000636	0,013987	17	-28
749,72	756,58	0,1772	0,13936	1,662	0,002095	762,65	1,363	6,51	0,004191	1,171785	1,000894	1,000803	0,017549	18	-27
775,59	784,62	0,1722	0,12951	1,6152	0,002442	789,85	1,359	6,56	0,004884	1,250661	1,001107	1,001	0,021739	19	-26
804,12	815,73	0,1674	0,11999	1,57	0,002822	819,78	1,356	6,62	0,005644	1,338004	1,001356	1,001231	0,026624	20	-25
835,44	850,11	0,1627	0,11081	1,5263	0,003235	852,55	1,352	6,67	0,00647	1,434628	1,001643	1,001499	0,032268	21	-24

Продолжение таблицы А6

869,66	887,94	0,1582	0,10197	1,4843	0,003681	888,27	1,349	6,73	0,007362	1,541363	1,001973	1,001808	0,038738	22	-23
906,89	929,40	0,1539	0,09346	1,444	0,004159	927,03	1,345	6,79	0,008319	1,659037	1,002347	1,00216	0,046099	23	-22
947,18	974,65	0,1498	0,08531	1,4052	0,004669	968,87	1,342	6,86	0,009339	1,788468	1,002771	1,002559	0,054418	24	-21
990,57	1023,82	0,1459	0,07751	1,3682	0,005209	1013,81	1,338	6,92	0,010418	1,930437	1,003247	1,003009	0,063757	25	-20
1037,06	1077,02	0,1421	0,07007	1,3328	0,005777	1061,84	1,334	6,98	0,011554	2,085674	1,003777	1,003512	0,074175	26	-19
1086,61	1134,34	0,1385	0,06298	1,2992	0,006371	1112,88	1,331	7,04	0,012742	2,254826	1,004366	1,004071	0,085729	27	-18
1139,15	1195,82	0,1351	0,05626	1,2672	0,006987	1166,85	1,328	7,10	0,013974	2,438434	1,005014	1,00469	0,098471	28	-17
1194,55	1261,48	0,1319	0,0499	1,237	0,007622	1223,60	1,324	7,16	0,015243	2,636902	1,005726	1,00537	0,112445	29	-16
1252,65	1331,32	0,1288	0,04392	1,2086	0,008271	1282,95	1,321	7,22	0,016542	2,850461	1,006502	1,006114	0,127688	30	-15
1313,24	1405,26	0,126	0,0383	1,1819	0,00893	1344,65	1,318	7,28	0,01786	3,079138	1,007345	1,006923	0,14423	31	-14
1376,05	1483,20	0,1233	0,03306	1,157	0,009593	1408,42	1,316	7,34	0,019186	3,322719	1,008254	1,007799	0,16209	32	-13
1440,79	1565,00	0,1209	0,0282	1,1339	0,010254	1473,94	1,313	7,39	0,020508	3,580719	1,009231	1,008743	0,181276	33	-12
1507,09	1650,46	0,1186	0,02372	1,1127	0,010907	1540,83	1,311	7,44	0,021813	3,852349	1,010275	1,009753	0,201784	34	-11
1574,58	1739,33	0,1165	0,01962	1,0932	0,011544	1608,69	1,308	7,49	0,023087	4,136493	1,011386	1,010831	0,223597	35	-10
1642,80	1831,30	0,1147	0,0159	1,0755	0,012158	1677,06	1,306	7,53	0,024316	4,431689	1,012562	1,011974	0,246685	36	-9
1711,31	1926,03	0,113	0,01257	1,0597	0,012741	1745,46	1,304	7,57	0,025483	4,736119	1,0138	1,013181	0,271	37	-8
1779,61	2023,11	0,1115	0,00963	1,0458	0,013287	1813,41	1,302	7,61	0,026573	5,047617	1,015098	1,014449	0,296483	38	-7
1847,20	2122,10	0,1102	0,00708	1,0336	0,013786	1880,38	1,301	7,65	0,027572	5,363678	1,016451	1,015774	0,323056	39	-6
1913,55	2222,49	0,1091	0,00492	1,0234	0,014231	1945,85	1,299	7,68	0,028463	5,68149	1,017855	1,017153	0,350628	40	-5
1978,15	2323,76	0,1082	0,00315	1,015	0,014616	2009,33	1,298	7,72	0,029232	5,997981	1,019304	1,01858	0,379091	41	-4
2040,51	2425,34	0,1075	0,00177	1,0084	0,014933	2070,32	1,297	7,74	0,029865	6,309872	1,020793	1,020048	0,408323	42	-3
2100,12	2526,63	0,107	0,00079	1,0037	0,015175	2128,34	1,295	7,77	0,03035	6,613749	1,022314	1,021553	0,438188	43	-2
2156,56	2627,01	0,1067	0,0002	1,0009	0,015338	2182,99	1,294	7,79	0,030677	6,906147	1,023859	1,023086	0,468539	44	-1
2209,41	2725,87	0,1066	0	1	0,015418	2233,87	1,293	7,81	0,030836	7,183631	1,025421	1,02464	0,499216	45	0
2258,33	2822,58	0,1067	0,0002	1,0009	0,015411	2280,67	1,293	7,83	0,030822	7,442896	1,026991	1,026206	0,530052	46	1
2303,01	2916,52	0,107	0,00079	1,0037	0,015316	2323,12	1,292	7,85	0,030631	7,68085	1,028561	1,027776	0,560874	47	2
2343,24	3007,11	0,1075	0,00177	1,0084	0,015131	2361,04	1,291	7,86	0,030262	7,894705	1,030121	1,029341	0,591505	48	3
2378,85	3093,79	0,1082	0,00315	1,015	0,014859	2394,30	1,291	7,88	0,029718	8,082051	1,031662	1,030891	0,621768	49	4
2409,76	3176,03	0,1091	0,00492	1,0234	0,014502	2422,85	1,290	7,89	0,029004	8,24092	1,033175	1,032419	0,651486	50	5
2435,95	3253,36	0,1102	0,00708	1,0336	0,014064	2446,72	1,290	7,89	0,028128	8,369832	1,034652	1,033914	0,68049	51	6
2457,49	3325,37	0,1115	0,00963	1,0458	0,013551	2465,99	1,290	7,90	0,027102	8,46783	1,036084	1,035368	0,708618	52	7
2474,49	3391,72	0,113	0,01257	1,0597	0,01297	2480,81	1,290	7,91	0,02594	8,534489	1,037465	1,036775	0,735721	53	8
2487,13	3452,12	0,1147	0,0159	1,0755	0,012329	2491,38	1,289	7,91	0,024659	8,569909	1,038786	1,038125	0,761661	54	9

Продолжение таблицы А6

2495,63	3506,37	0,1165	0,01962	1,0932	0,011638	2497,95	1,289	7,91	0,023277	8,574692	1,040041	1,039413	0,78632	55	10
2500,27	3554,33	0,1186	0,02372	1,1127	0,010907	2500,81	1,289	7,91	0,021815	8,549904	1,041227	1,040634	0,809597	56	11
2501,35	3595,96	0,1209	0,0282	1,1339	0,010147	2500,27	1,289	7,91	0,020294	8,497025	1,042337	1,041782	0,831411	57	12
2499,18	3631,28	0,1233	0,03306	1,157	0,009368	2496,64	1,289	7,91	0,018736	8,417885	1,043371	1,042854	0,851705	58	13
2494,10	3660,39	0,126	0,0383	1,1819	0,008582	2490,28	1,289	7,91	0,017164	8,314598	1,044325	1,043848	0,870441	59	14
2486,45	3683,44	0,1288	0,04392	1,2086	0,007799	2481,50	1,289	7,91	0,015598	8,189496	1,045199	1,044762	0,887605	60	15
2476,552	3700,66	0,1319	0,0499	1,237	0,007029	2470,637	1,290	7,91	0,014059	8,045054	1,045993	1,045596	0,903202	61	16
2464,72	3712,32	0,1351	0,05626	1,2672	0,006282	2457,99	1,290	7,90	0,012565	7,883821	1,046709	1,046351	0,917261	62	17
2451,26	3718,75	0,1385	0,06298	1,2992	0,005566	2443,85	1,290	7,90	0,011133	7,708365	1,047349	1,047029	0,929826	63	18
2436,44	3720,32	0,1421	0,07007	1,3328	0,004888	2428,47	1,290	7,89	0,009777	7,521208	1,047916	1,047632	0,940959	64	19
2420,50	3717,40	0,1459	0,07751	1,3682	0,004254	2412,09	1,290	7,89	0,008508	7,324782	1,048414	1,048165	0,950735	65	20
2403,68	3710,41	0,1498	0,08531	1,4052	0,003667	2394,92	1,291	7,88	0,007335	7,121388	1,048847	1,04863	0,959243	66	21
2386,15	3699,76	0,1539	0,09346	1,444	0,003131	2377,13	1,291	7,88	0,006262	6,913164	1,04922	1,049034	0,966578	67	22
2368,10	3685,87	0,1582	0,10197	1,4843	0,002647	2358,89	1,291	7,87	0,005295	6,702062	1,049539	1,04938	0,97284	68	23
2349,67	3669,14	0,1627	0,11081	1,5263	0,002216	2340,32	1,291	7,86	0,004431	6,489836	1,049809	1,049674	0,978135	69	24
2330,97	3649,98	0,1674	0,11999	1,57	0,001835	2321,53	1,292	7,86	0,00367	6,278031	1,050035	1,049922	0,982566	70	25
2312,10	3628,76	0,1722	0,12951	1,6152	0,001504	2302,62	1,292	7,85	0,003008	6,067987	1,050221	1,050128	0,986237	71	26
2293,15	3605,82	0,1772	0,13936	1,662	0,001219	2283,67	1,292	7,84	0,002438	5,86084	1,050375	1,050298	0,989245	72	27
2274,20	3581,50	0,1823	0,14954	1,7103	0,000977	2264,75	1,293	7,84	0,001955	5,657537	1,050499	1,050437	0,991683	73	28
2255,30	3556,07	0,1876	0,16004	1,7602	0,000774	2245,90	1,293	7,83	0,001549	5,458842	1,050598	1,050549	0,993637	74	29
2236,50	3529,81	0,1931	0,17085	1,8115	0,000607	2227,16	1,293	7,82	0,001213	5,265358	1,050677	1,050638	0,995186	75	30
2217,82	3502,94	0,1987	0,18197	1,8644	0,000469	2208,55	1,293	7,82	0,000939	5,077541	1,050739	1,050708	0,996399	76	31
2199,29	3475,66	0,2045	0,1934	1,9186	0,000359	2190,11	1,294	7,81	0,000717	4,895718	1,050787	1,050763	0,997338	77	32
2180,93	3448,14	0,2105	0,20512	1,9743	0,000271	2171,86	1,294	7,80	0,000541	4,720105	1,050823	1,050805	0,998055	78	33
2162,78	3420,51	0,2166	0,21715	2,0314	0,000202	2153,81	1,294	7,80	0,000403	4,550822	1,050851	1,050837	0,998597	79	34
2144,84	3392,91	0,2228	0,22946	2,0899	0,000148	#3НАЧ!	1,295	7,79	0,000297	4,38791	1,050871	1,050861	0,999	80	35

Таблица А7 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на бензине при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$

Т _{пред}	Т _{истина}	V _{ст}	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
707,4939	707,4939	0,13681	0,12	1,6598	1,7E-07	744,3706			3,4E-07	1,41793	1	1	0	0	-25
781,2473	715,4714	0,13264	0,1108	1,6093	2,9E-06	784,5168	1,362	6,5243	5,9E-06	1,47891	1	1	3,39E-07	1	-24

Продолжение таблицы А7

787,7863	723,4277	0,12864	0,1019	1,5606	1,4E-05	791,2088	1,3568	6,6059	2,8E-05	1,54196	1	1	6,23E-06	2	-23
794,6313	731,5266	0,12478	0,0934	1,5139	4E-05	798,4457	1,3559	6,6189	8E-05	1,60736	1	1	3,42E-05	3	-22
802,2602	739,8726	0,12109	0,0853	1,4691	8,9E-05	806,7917	1,3551	6,6329	0,00018	1,67531	1	1	0,000114	4	-21
811,3233	748,6104	0,11755	0,0775	1,4262	0,00017	816,9829	1,3541	6,6487	0,00034	1,74609	1	1	0,000292	5	-20
822,6425	757,9249	0,11418	0,07	1,3852	0,00029	829,9225	1,3529	6,6678	0,00057	1,82008	1	1	0,000628	6	-19
837,2025	768,0412	0,11097	0,063	1,3463	0,00045	846,6665	1,3514	6,6915	0,0009	1,89779	1,0001	1	0,001199	7	-18
856,1305	779,2219	0,10792	0,0562	1,3093	0,00067	868,3973	1,3496	6,7214	0,00134	1,97984	1,0001	1,0001	0,002101	8	-17
880,6642	791,764	0,10504	0,0499	1,2744	0,00096	896,3845	1,3473	6,759	0,00191	2,067	1,0002	1,0001	0,003443	9	-16
912,1048	805,994	0,10233	0,0439	1,2415	0,00131	931,9314	1,3445	6,8053	0,00263	2,16011	1,0003	1,0002	0,005354	10	-15
951,7581	822,2609	0,09978	0,0383	1,2106	0,00175	976,3112	1,3412	6,8612	0,0035	2,26016	1,0004	1,0003	0,007979	11	-14
1000,864	840,9297	0,09741	0,0331	1,1818	0,00227	1030,693	1,3375	6,9265	0,00455	2,36819	1,0006	1,0005	0,011479	12	-13
1060,521	862,3739	0,09521	0,0282	1,1551	0,00289	1096,063	1,3333	7,0007	0,00579	2,48529	1,0008	1,0007	0,016028	13	-12
1131,605	886,9684	0,09317	0,0237	1,1304	0,00361	1173,148	1,3288	7,0822	0,00723	2,61258	1,0011	1,001	0,021817	14	-11
1214,691	915,0826	0,09132	0,0196	1,1079	0,00443	1262,333	1,3242	7,1691	0,00887	2,75113	1,0015	1,0013	0,029042	15	-10
1309,976	947,073	0,08963	0,0159	1,0874	0,00536	1363,591	1,3195	7,259	0,01072	2,90197	1,0019	1,0017	0,037911	16	-9
1417,207	983,2752	0,08812	0,0126	1,0691	0,00639	1476,415	1,315	7,3496	0,01278	3,06599	1,0025	1,0022	0,048633	17	-8
1535,623	1023,994	0,08679	0,0096	1,053	0,00752	1599,765	1,3106	7,4384	0,01504	3,24392	1,0031	1,0028	0,061416	18	-7
1663,907	1069,493	0,08563	0,0071	1,0389	0,00875	1732,039	1,3066	7,5236	0,01749	3,43623	1,0039	1,0035	0,07646	19	-6
1800,172	1119,98	0,08465	0,0049	1,0271	0,01005	1871,075	1,3029	7,6036	0,0201	3,64306	1,0048	1,0043	0,093952	20	-5
1941,979	1175,59	0,08385	0,0031	1,0173	0,01143	2014,192	1,2995	7,6774	0,02285	3,86419	1,0058	1,0053	0,114056	21	-4
2086,405	1236,374	0,08323	0,0018	1,0097	0,01285	2158,282	1,2965	7,7444	0,02569	4,09889	1,0069	1,0063	0,136907	22	-3
2230,159	1302,276	0,08278	0,0008	1,0043	0,01429	2299,958	1,2939	7,8041	0,02859	4,34593	1,0082	1,0076	0,162601	23	-2
2369,757	1373,122	0,08251	0,0002	1,0011	0,01573	2435,742	1,2917	7,8566	0,03147	4,60349	1,0097	1,0089	0,191186	24	-1
2501,728	1448,605	0,08243	0	1	0,01714	2562,293	1,2898	7,9019	0,03428	4,86913	1,0113	1,0105	0,222654	25	0
2622,858	1528,275	0,08251	0,0002	1,0011	0,01848	2676,641	1,2882	7,9405	0,03695	5,1398	1,013	1,0121	0,256936	26	1
2730,424	1611,535	0,08278	0,0008	1,0043	0,0197	2776,415	1,2868	7,9727	0,03941	5,4119	1,0149	1,0139	0,293888	27	2
2822,406	1697,643	0,08323	0,0018	1,0097	0,02078	2860,016	1,2858	7,999	0,04157	5,6813	1,0169	1,0159	0,333296	28	3
2897,627	1785,715	0,08385	0,0031	1,0173	0,02168	2926,726	1,2849	8,0197	0,04336	5,9435	1,019	1,0179	0,374864	29	4
2955,825	1874,747	0,08465	0,0049	1,0271	0,02236	2976,717	1,2843	8,0355	0,04472	6,19375	1,0211	1,02	0,418227	30	5
2997,61	1963,635	0,08563	0,0071	1,0389	0,02279	3010,976	1,2838	8,0469	0,04557	6,4272	1,0234	1,0223	0,462944	31	6
3024,341	2051,208	0,08679	0,0096	1,053	0,02294	3031,136	1,2835	8,0543	0,04588	6,63916	1,0257	1,0246	0,508517	32	7
3037,93	2136,262	0,08812	0,0126	1,0691	0,0228	3039,262	1,2834	8,0584	0,04561	6,82523	1,028	1,0269	0,554397	33	8
3040,595	2217,607	0,08963	0,0159	1,0874	0,02237	3037,61	1,2833	8,0596	0,04475	6,98156	1,0303	1,0292	0,600006	34	9

Продолжение таблицы А7

3034,626	2294,109	0,09132	0,0196	1,1079	0,02165	3028,401	1,2833	8,0585	0,0433	7,10498	1,0326	1,0315	0,644752	35	10
3022,176	2364,741	0,09317	0,0237	1,1304	0,02066	3013,647	1,2835	8,0556	0,04131	7,19318	1,0348	1,0337	0,688055	36	11
3005,117	2428,62	0,09521	0,0282	1,1551	0,01942	2995,04	1,2836	8,0512	0,03884	7,24485	1,0369	1,0358	0,72937	37	12
2984,963	2485,047	0,09741	0,0331	1,1818	0,01797	2973,91	1,2839	8,0458	0,03595	7,25967	1,0388	1,0379	0,768206	38	13
2962,857	2533,536	0,09978	0,0383	1,2106	0,01637	2951,233	1,2841	8,0396	0,03274	7,23836	1,0407	1,0397	0,804153	39	14
2939,61	2573,83	0,10233	0,0439	1,2415	0,01466	2927,688	1,2844	8,0329	0,02932	7,1826	1,0423	1,0415	0,836893	40	15
2915,765	2605,902	0,10504	0,0499	1,2744	0,0129	2903,714	1,2847	8,026	0,0258	7,09493	1,0438	1,0431	0,866213	41	16
2891,664	2629,952	0,10792	0,0562	1,3093	0,01115	2879,59	1,2849	8,0188	0,02229	6,9786	1,0451	1,0444	0,892013	42	17
2867,515	2646,376	0,11097	0,063	1,3463	0,00945	2855,48	1,2852	8,0116	0,01889	6,83733	1,0462	1,0457	0,914304	43	18
2843,444	2655,742	0,11418	0,07	1,3852	0,00785	2831,484	1,2855	8,0045	0,0157	6,6752	1,0472	1,0467	0,933198	44	19
2819,524	2658,745	0,11755	0,0775	1,4262	0,00639	2807,665	1,2858	7,9974	0,01277	6,49636	1,048	1,0476	0,948895	45	20
2795,805	2656,165	0,12109	0,0853	1,4691	0,00509	2784,062	1,2861	7,9904	0,01017	6,30489	1,0486	1,0483	0,961668	46	21
2772,319	2648,818	0,12478	0,0934	1,5139	0,00396	2760,706	1,2864	7,9836	0,00792	6,10466	1,0491	1,0489	0,971838	47	22
2749,092	2637,52	0,12864	0,1019	1,5606	0,00301	2737,619	1,2867	7,977	0,00602	5,89913	1,0495	1,0493	0,979754	48	23
2726,145	2623,047	0,13264	0,1108	1,6093	0,00223	2714,819	1,2869	7,9705	0,00446	5,69138	1,0498	1,0497	0,985773	49	24
2703,494	2606,108	0,13681	0,12	1,6598	0,00161	2692,324	1,2872	7,9642	0,00323	5,48397	1,0501	1,05	0,990237	50	25
2681,154	2587,327	0,14112	0,1295	1,7121	0,00114	2670,145	1,2874	7,958	0,00227	5,27898	1,0502	1,0501	0,993465	51	26
2659,136	2567,234	0,14559	0,1393	1,7663	0,00078	2648,293	1,2877	7,9519	0,00156	5,07804	1,0503	1,0503	0,995738	52	27
2637,45	2546,262	0,1502	0,1495	1,8222	0,00052	2626,777	1,2879	7,9459	0,00104	4,88237	1,0504	1,0504	0,997295	53	28
2616,105	2524,755	0,15495	0,16	1,8799	0,00033	2605,605	1,2882	7,94	0,00067	4,6928	1,0505	1,0505	0,998331	54	29
2595,105	2502,974	0,15985	0,1708	1,9394	0,00021	2584,781	1,2884	7,9341	0,00042	4,50989	1,0505	1,0505	0,999	55	30

Таблица А8 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на бензине при $n = 2000$ мин-1

Тпред	Т2истина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
658,126	658,126	0,1711	0,1708	1,9394	5,2E-08	662,5953			1,04E-07	1,05479	1	1	0	0	-30
667,0646	665,8578	0,1658	0,16	1,8799	1E-06	670,6386	1,37476	6,33679	2,08E-06	1,10093	1	1	1,04E-07	1	-29
674,2125	673,6889	0,1607	0,1495	1,8222	5,4E-06	677,8383	1,37337	6,35664	1,08E-05	1,14916	1	1	2,19E-06	2	-28
681,4641	681,6519	0,1558	0,1393	1,7663	1,7E-05	685,1719	1,37215	6,37413	3,32E-05	1,19957	1	1	1,3E-05	3	-27
688,8796	689,798	0,151	0,1295	1,7121	3,9E-05	692,7133	1,37094	6,39169	7,71E-05	1,25231	1	1	4,62E-05	4	-26
696,547	698,2024	0,1464	0,12	1,6598	7,6E-05	700,5659	1,36972	6,40949	0,000152	1,30755	1,00001	1	0,000123	5	-25
704,5849	706,9666	0,142	0,1108	1,6093	0,00013	708,8646	1,36848	6,42774	0,000267	1,36551	1,00001	1,00001	0,000275	6	-24
713,1443	716,2198	0,1377	0,1019	1,5606	0,00022	717,7772	1,36719	6,44674	0,000433	1,42651	1,00003	1,00002	0,000542	7	-23

Продолжение таблицы А8

722,41	726,1201	0,1335	0,0934	1,5139	0,00033	727,5055	1,36584	6,46681	0,000661	1,49091	1,00005	1,00004	0,000975	8	-22
732,601	736,8546	0,1296	0,0853	1,4691	0,00048	738,2858	1,36441	6,48834	0,000964	1,55916	1,00008	1,00007	0,001636	9	-21
743,9706	748,64	0,1258	0,0775	1,4262	0,00068	750,3879	1,36286	6,51175	0,001352	1,6318	1,00013	1,00011	0,0026	10	-20
756,8051	761,7209	0,1222	0,07	1,3852	0,00092	764,1138	1,36118	6,53747	0,001838	1,70948	1,0002	1,00017	0,003951	11	-19
771,4224	776,3685	0,1188	0,063	1,3463	0,00122	779,795	1,35933	6,56595	0,002434	1,79292	1,00029	1,00025	0,005789	12	-18
788,1677	792,8774	0,1155	0,0562	1,3093	0,00158	797,789	1,35729	6,59763	0,003152	1,88294	1,00042	1,00036	0,008223	13	-17
807,4102	811,5615	0,1124	0,0499	1,2744	0,002	818,4732	1,35506	6,63288	0,004004	1,98044	1,00058	1,0005	0,011375	14	-16
829,5362	832,7489	0,1095	0,0439	1,2415	0,0025	842,2392	1,35261	6,67202	0,004999	2,08641	1,00078	1,00068	0,015379	15	-15
854,9423	856,7754	0,1068	0,0383	1,2106	0,00307	869,4845	1,34994	6,71527	0,006146	2,20185	1,00104	1,00091	0,020378	16	-14
884,0268	883,9768	0,1042	0,0331	1,1818	0,00373	900,6037	1,34706	6,76271	0,007454	2,32779	1,00135	1,00119	0,026524	17	-13
917,1806	914,6807	0,1019	0,0282	1,1551	0,00446	935,9783	1,34398	6,81428	0,008927	2,46524	1,00173	1,00154	0,033978	18	-12
954,7759	949,197	0,0997	0,0237	1,1304	0,00528	975,9659	1,34073	6,86979	0,010568	2,61513	1,00219	1,00196	0,042906	19	-11
997,1559	987,8082	0,0977	0,0196	1,1079	0,00619	1020,889	1,33733	6,92886	0,012375	2,77825	1,00272	1,00246	0,053474	20	-10
1044,623	1030,759	0,0959	0,0159	1,0874	0,00717	1071,023	1,33383	6,99101	0,014342	2,95523	1,00335	1,00304	0,065848	21	-9
1097,424	1078,245	0,0943	0,0126	1,0691	0,00823	1126,585	1,33027	7,0556	0,01646	3,14643	1,00409	1,00372	0,08019	22	-8
1155,745	1130,403	0,0929	0,0096	1,053	0,00936	1187,717	1,32669	7,12194	0,018714	3,35192	1,00492	1,0045	0,096651	23	-7
1219,69	1187,3	0,0916	0,0071	1,0389	0,01054	1254,482	1,32314	7,18926	0,021081	3,57136	1,00588	1,0054	0,115364	24	-6
1289,275	1248,924	0,0906	0,0049	1,0271	0,01177	1326,845	1,31965	7,2568	0,023535	3,80403	1,00695	1,00641	0,136445	25	-5
1364,415	1315,173	0,0897	0,0031	1,0173	0,01302	1404,664	1,31627	7,3238	0,026041	4,0487	1,00815	1,00755	0,159979	26	-4
1444,913	1385,846	0,0891	0,0018	1,0097	0,01428	1487,682	1,31301	7,38957	0,028559	4,30365	1,00948	1,00881	0,18602	27	-3
1530,452	1460,638	0,0886	0,0008	1,0043	0,01552	1575,52	1,30991	7,45346	0,031043	4,56664	1,01093	1,0102	0,21458	28	-2
1620,588	1539,134	0,0883	0,0002	1,0011	0,01672	1667,668	1,30699	7,51495	0,033441	4,83493	1,01251	1,01172	0,245623	29	-1
1714,748	1620,81	0,0882	0	1	0,01785	1763,489	1,30425	7,57356	0,035697	5,10529	1,01422	1,01337	0,279064	30	0
1812,229	1705,029	0,0883	0,0002	1,0011	0,01888	1862,216	1,30171	7,62895	0,037752	5,37408	1,01604	1,01513	0,314761	31	1
1912,204	1791,054	0,0886	0,0008	1,0043	0,01977	1962,968	1,29936	7,68084	0,039546	5,63734	1,01796	1,017	0,352513	32	2
2013,732	1878,053	0,0891	0,0018	1,0097	0,02051	2064,755	1,29722	7,72906	0,041021	5,89086	1,01997	1,01897	0,392059	33	3
2115,778	1965,118	0,0897	0,0031	1,0173	0,02106	2166,503	1,29527	7,77349	0,042122	6,13039	1,02206	1,02102	0,43308	34	4
2217,229	2051,283	0,0906	0,0049	1,0271	0,0214	2267,078	1,29351	7,81408	0,042804	6,3517	1,02421	1,02314	0,475202	35	5
2316,927	2135,551	0,0916	0,0071	1,0389	0,02151	2365,314	1,29193	7,85086	0,043027	6,55081	1,02639	1,0253	0,518006	36	6
2413,7	2216,921	0,0929	0,0096	1,053	0,02138	2460,047	1,29053	7,88387	0,042768	6,7241	1,02858	1,02749	0,561033	37	7
2506,394	2294,416	0,0943	0,0126	1,0691	0,02101	2550,156	1,2893	7,91321	0,042015	6,86846	1,03076	1,02967	0,6038	38	8
2593,918	2367,123	0,0959	0,0159	1,0874	0,02039	2634,596	1,28823	7,93902	0,040776	6,98145	1,0329	1,03183	0,645815	39	9
2675,274	2434,215	0,0977	0,0196	1,1079	0,01954	2712,436	1,2873	7,96145	0,039074	7,06136	1,03498	1,03394	0,686592	40	10

Продолжение таблицы А8

2749,598	2494,989	0,0997	0,0237	1,1304	0,01848	2782,895	1,28651	7,98067	0,036951	7,1073	1,03697	1,03597	0,725666	41	11
2816,191	2548,885	0,1019	0,0282	1,1551	0,01723	2845,365	1,28584	7,99689	0,034465	7,11921	1,03885	1,03791	0,762617	42	12
2874,539	2595,508	0,1042	0,0331	1,1818	0,01584	2899,438	1,28529	8,01031	0,031685	7,09787	1,04061	1,03973	0,797082	43	13
2924,337	2634,642	0,1068	0,0383	1,2106	0,01435	2944,913	1,28485	8,02115	0,028695	7,04483	1,04222	1,04141	0,828767	44	14
2965,488	2666,249	0,1095	0,0439	1,2415	0,01279	2981,797	1,28451	8,02962	0,025582	6,96234	1,04368	1,04295	0,857462	45	15
2998,106	2690,471	0,1124	0,0499	1,2744	0,01122	3010,301	1,28425	8,03596	0,022436	6,85319	1,04499	1,04434	0,883044	46	16
3022,497	2707,608	0,1155	0,0562	1,3093	0,00967	3030,818	1,28407	8,0404	0,019343	6,72061	1,04613	1,04556	0,90548	47	17
3039,138	2718,106	0,1188	0,063	1,3463	0,00819	3043,893	1,28396	8,04314	0,016381	6,56811	1,04712	1,04662	0,924823	48	18
3048,647	2722,523	0,1222	0,07	1,3852	0,00681	3050,195	1,28391	8,0444	0,013616	6,39933	1,04795	1,04753	0,941203	49	19
3051,744	2721,503	0,1258	0,0775	1,4262	0,00555	3050,478	1,28391	8,04439	0,011101	6,21785	1,04864	1,0483	0,95482	50	20
3049,212	2715,735	0,1296	0,0853	1,4691	0,00443	3045,537	1,28396	8,04329	0,008868	6,02714	1,04921	1,04893	0,96592	51	21
3041,862	2705,93	0,1335	0,0934	1,5139	0,00347	3036,176	1,28404	8,04128	0,006936	5,83038	1,04966	1,04943	0,974789	52	22
3030,49	2692,781	0,1377	0,1019	1,5606	0,00265	3023,172	1,28415	8,03851	0,005307	5,63044	1,05001	1,04984	0,981725	53	23
3015,853	2676,944	0,142	0,1108	1,6093	0,00198	3007,249	1,28429	8,03513	0,003969	5,42978	1,05028	1,05015	0,987032	54	24
2998,644	2659,016	0,1464	0,12	1,6598	0,00145	2989,057	1,28444	8,03125	0,002898	5,2305	1,05049	1,05039	0,991001	55	25
2979,471	2639,524	0,151	0,1295	1,7121	0,00103	2969,164	1,28462	8,02698	0,002064	5,03426	1,05063	1,05056	0,993899	56	26
2958,858	2618,913	0,1558	0,1393	1,7663	0,00072	2948,046	1,2848	8,02242	0,001433	4,84238	1,05074	1,05069	0,995963	57	27
2937,235	2597,555	0,1607	0,1495	1,8222	0,00048	2926,092	1,285	8,01762	0,000968	4,65581	1,05081	1,05078	0,997396	58	28
2914,949	2575,744	0,1658	0,16	1,8799	0,00032	2903,61	1,2852	8,01264	0,000636	4,47524	1,05086	1,05084	0,998364	59	29
2892,271	2553,711	0,1711	0,1708	1,9394	0,0002	2880,838	1,28541	8,00754	0,000406	4,30112	1,05089	1,05088	0,999	60	30

Таблица А9 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на бензине при $n = 3200 \text{ мин}^{-1}$

Тпред	T2истина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
573,979	573,979	0,2321	0,295	2,6227	2,6E-08	577,509			5,26E-08	0,6781	1	1	0	0	-40
581,04	580,556	0,2254	0,2814	2,5476	5,3E-07	584,269	1,39181	6,104493	1,06E-06	0,70609	1	1	5,26E-08	1	-39
587,497	587,263	0,2189	0,268	2,4739	2,8E-06	590,798	1,39028	6,12459	5,5E-06	0,73553	1	1	1,11E-06	2	-38
594,098	594,123	0,2125	0,2548	2,4016	8,4E-06	597,487	1,38882	6,143714	1,68E-05	0,7665	1	1	6,61E-06	3	-37
600,877	601,166	0,2063	0,242	2,3309	2E-05	604,381	1,38737	6,163021	3,91E-05	0,79913	1	1,000001	2,34E-05	4	-36
607,886	608,437	0,2001	0,2294	2,2616	3,8E-05	611,539	1,38591	6,182621	7,7E-05	0,83356	1	1,000002	6,26E-05	5	-35
615,192	615,995	0,1941	0,2171	2,194	6,8E-05	619,037	1,38442	6,202663	0,000135	0,86995	1,00001	1,000005	0,00014	6	-34
622,882	623,914	0,1883	0,2051	2,1279	0,00011	626,97	1,3829	6,223329	0,00022	0,90851	1,00001	1,000011	0,000275	7	-33
631,058	632,284	0,1826	0,1933	2,0634	0,00017	635,451	1,38133	6,244836	0,000336	0,94948	1,00003	1,00002	0,000495	8	-32

Продолжение таблицы А9

639,844	641,209	0,177	0,1819	2,0005	0,00024	644,612	1,37969	6,267433	0,00049	0,99314	1,00004	1,000034	0,000831	9	-31
649,38	650,813	0,1716	0,1708	1,9394	0,00034	654,604	1,37797	6,291394	0,000687	1,03982	1,00007	1,000055	0,00132	10	-30
659,828	661,232	0,1664	0,16	1,8799	0,00047	665,597	1,37615	6,317015	0,000935	1,08991	1,0001	1,000085	0,002007	11	-29
671,366	672,621	0,1613	0,1495	1,8222	0,00062	677,778	1,37421	6,3446	0,00124	1,14384	1,00015	1,000127	0,002942	12	-28
684,191	685,148	0,1563	0,1393	1,7663	0,0008	691,354	1,37213	6,374455	0,001607	1,20212	1,00021	1,000182	0,004182	13	-27
698,517	698,997	0,1515	0,1295	1,7121	0,00102	706,545	1,3699	6,406873	0,002045	1,26531	1,0003	1,000255	0,005789	14	-26
714,572	714,362	0,1469	0,12	1,6598	0,00128	723,584	1,3675	6,442121	0,002559	1,33402	1,0004	1,000348	0,007835	15	-25
732,596	731,447	0,1424	0,1108	1,6093	0,00158	742,716	1,36494	6,480425	0,003156	1,40896	1,00053	1,000466	0,010394	16	-24
752,837	750,466	0,1381	0,1019	1,5606	0,00192	764,194	1,36219	6,521956	0,003841	1,49086	1,00069	1,000612	0,01355	17	-23
775,551	771,635	0,134	0,0934	1,5139	0,00231	788,274	1,35927	6,566813	0,004619	1,58052	1,00089	1,000791	0,017391	18	-22
800,996	795,172	0,13	0,0853	1,4691	0,00275	815,212	1,35619	6,615014	0,005495	1,67879	1,00113	1,001007	0,02201	19	-21
829,427	821,293	0,1262	0,0775	1,4262	0,00324	845,259	1,35295	6,666486	0,006473	1,78655	1,00141	1,001266	0,027505	20	-20
861,091	850,206	0,1226	0,07	1,3852	0,00378	878,659	1,34959	6,721062	0,007556	1,90468	1,00174	1,001572	0,033978	21	-19
896,226	882,111	0,1191	0,063	1,3463	0,00437	915,639	1,34611	6,778485	0,008743	2,03407	1,00212	1,00193	0,041534	22	-18
935,052	917,188	0,1159	0,0562	1,3093	0,00502	956,408	1,34256	6,838408	0,010036	2,17556	1,00257	1,002347	0,050277	23	-17
977,764	955,599	0,1128	0,0499	1,2744	0,00572	1001,15	1,33896	6,900411	0,011432	2,32995	1,00308	1,002827	0,060313	24	-16
1024,53	997,482	0,1099	0,0439	1,2415	0,00646	1050,01	1,33534	6,964017	0,012926	2,49792	1,00367	1,003375	0,071745	25	-15
1075,49	1042,94	0,1071	0,0383	1,2106	0,00726	1103,12	1,33175	7,028708	0,014512	2,68002	1,00433	1,003998	0,084671	26	-14
1130,74	1092,05	0,1046	0,0331	1,1818	0,00809	1160,54	1,32819	7,093943	0,016181	2,87663	1,00507	1,004699	0,099183	27	-13
1190,33	1144,83	0,1022	0,0282	1,1551	0,00896	1222,29	1,32472	7,159182	0,017921	3,08787	1,0059	1,005484	0,115364	28	-12
1254,25	1201,28	0,1	0,0237	1,1304	0,00986	1288,35	1,32134	7,223902	0,019716	3,31361	1,00681	1,006356	0,133285	29	-11
1322,45	1261,31	0,098	0,0196	1,1079	0,01078	1358,63	1,31809	7,287611	0,02155	3,55339	1,00782	1,007318	0,153001	30	-10
1394,81	1324,82	0,0962	0,0159	1,0874	0,0117	1432,97	1,31497	7,349859	0,023401	3,80639	1,00892	1,008372	0,174551	31	-9
1471,13	1391,61	0,0946	0,0126	1,0691	0,01262	1511,14	1,312	7,41025	0,025246	4,07137	1,01012	1,009521	0,197953	32	-8
1551,16	1461,44	0,0932	0,0096	1,053	0,01353	1592,86	1,30919	7,468443	0,027058	4,34669	1,01141	1,010765	0,223198	33	-7
1634,55	1534	0,0919	0,0071	1,0389	0,0144	1677,73	1,30655	7,524158	0,028808	4,63025	1,01279	1,012102	0,250256	34	-6
1720,91	1608,92	0,0909	0,0049	1,0271	0,01523	1765,33	1,30408	7,57717	0,030466	4,91953	1,01427	1,01353	0,279064	35	-5
1809,74	1685,77	0,09	0,0031	1,0173	0,016	1855,11	1,30178	7,627311	0,032001	5,21157	1,01582	1,015045	0,309531	36	-4
1900,49	1764,03	0,0894	0,0018	1,0097	0,01669	1946,51	1,29965	7,674463	0,033379	5,50307	1,01746	1,016641	0,341531	37	-3
1992,53	1843,16	0,0889	0,0008	1,0043	0,01728	2038,86	1,29768	7,718551	0,034569	5,79043	1,01917	1,018312	0,37491	38	-2
2085,19	1922,57	0,0886	0,0002	1,0011	0,01777	2131,46	1,29588	7,759545	0,035541	6,06982	1,02093	1,020049	0,409479	39	-1
2177,73	2001,6	0,0885	0	1	0,01813	2223,56	1,29423	7,797444	0,036266	6,3373	1,02275	1,021841	0,44502	40	0
2269,39	2079,61	0,0886	0,0002	1,0011	0,01836	2314,38	1,29273	7,832279	0,03672	6,58896	1,0246	1,023677	0,481286	41	1

Продолжение таблицы А9

2359,37	2155,9	0,0889	0,0008	1,0043	0,01844	2403,14	1,29137	7,864105	0,036885	6,821	1,02648	1,025542	0,518006	42	2
2446,9	2229,81	0,0894	0,0018	1,0097	0,01837	2489,05	1,29015	7,892997	0,036746	7,02989	1,02837	1,027424	0,554891	43	3
2531,19	2300,67	0,09	0,0031	1,0173	0,01815	2571,35	1,28906	7,919047	0,036296	7,21249	1,03024	1,029306	0,591636	44	4
2611,5	2367,87	0,0909	0,0049	1,0271	0,01777	2649,32	1,28809	7,942357	0,035538	7,36614	1,0321	1,031173	0,627933	45	5
2687,14	2430,82	0,0919	0,0071	1,0389	0,01724	2722,3	1,28723	7,963044	0,034478	7,48878	1,03392	1,033009	0,66347	46	6
2757,47	2489,02	0,0932	0,0096	1,053	0,01657	2789,72	1,28648	7,98123	0,033135	7,57899	1,03568	1,034798	0,697949	47	7
2821,97	2542,02	0,0946	0,0126	1,0691	0,01577	2851,09	1,28583	7,997045	0,031534	7,63604	1,03737	1,036527	0,731084	48	8
2880,2	2589,49	0,0962	0,0159	1,0874	0,01485	2906,02	1,28528	8,010624	0,029705	7,65989	1,03899	1,038179	0,762617	49	9
2931,83	2631,17	0,098	0,0196	1,1079	0,01384	2954,24	1,28481	8,022104	0,027689	7,6512	1,0405	1,039745	0,792323	50	10
2976,65	2666,91	0,1	0,0237	1,1304	0,01276	2995,62	1,28443	8,031628	0,025529	7,61123	1,04192	1,041212	0,820012	51	11
3014,58	2696,68	0,1022	0,0282	1,1551	0,01164	3030,12	1,28412	8,039336	0,023271	7,54183	1,04322	1,042572	0,84554	52	12
3045,65	2720,52	0,1046	0,0331	1,1818	0,01048	3057,84	1,28387	8,04537	0,020964	7,44532	1,04441	1,043819	0,868811	53	13
3070,02	2738,61	0,1071	0,0383	1,2106	0,00933	3078,98	1,28369	8,049871	0,018656	7,32438	1,04549	1,04495	0,889775	54	14
3087,94	2751,17	0,1099	0,0439	1,2415	0,0082	3093,84	1,28357	8,052976	0,016392	7,18197	1,04644	1,045963	0,90843	55	15
3099,75	2758,53	0,1128	0,0499	1,2744	0,00711	3102,83	1,28349	8,054822	0,014215	7,02119	1,04728	1,046859	0,924823	56	16
3105,9	2761,08	0,1159	0,0562	1,3093	0,00608	3106,39	1,28347	8,05554	0,01216	6,8452	1,048	1,047641	0,939038	57	17
3106,87	2759,25	0,1191	0,063	1,3463	0,00513	3105,03	1,28348	8,055254	0,010256	6,65713	1,04863	1,048315	0,951198	58	18
3103,19	2753,49	0,1226	0,07	1,3852	0,00426	3099,3	1,28352	8,054084	0,008524	6,45994	1,04915	1,048888	0,961454	59	19
3095,4	2744,3	0,1262	0,0775	1,4262	0,00349	3089,74	1,2836	8,052143	0,006977	6,25644	1,04959	1,049368	0,969977	60	20
3084,07	2732,14	0,13	0,0853	1,4691	0,00281	3076,9	1,28371	8,049536	0,005622	6,04915	1,04994	1,049764	0,976954	61	21
3069,74	2717,49	0,134	0,0934	1,5139	0,00223	3061,32	1,28383	8,04636	0,004456	5,84034	1,05023	1,050086	0,982576	62	22
3052,9	2700,79	0,1381	0,1019	1,5606	0,00174	3043,48	1,28398	8,042701	0,003473	5,63198	1,05046	1,050344	0,987032	63	23
3034,05	2682,43	0,1424	0,1108	1,6093	0,00133	3023,83	1,28415	8,038639	0,00266	5,4257	1,05064	1,050546	0,990506	64	24
3013,61	2662,79	0,1469	0,12	1,6598	0,001	3002,78	1,28432	8,034245	0,002001	5,22288	1,05077	1,050703	0,993166	65	25
2991,95	2642,18	0,1515	0,1295	1,7121	0,00074	2980,68	1,28451	8,029578	0,001477	5,0246	1,05087	1,050822	0,995167	66	26
2969,41	2620,89	0,1563	0,1393	1,7663	0,00053	2957,82	1,28471	8,024691	0,001069	4,83169	1,05095	1,050911	0,996644	67	27
2946,24	2599,14	0,1613	0,1495	1,8222	0,00038	2934,47	1,28492	8,019629	0,000759	4,64477	1,051	1,050976	0,997714	68	28
2922,69	2577,14	0,1664	0,16	1,8799	0,00026	2910,81	1,28513	8,014428	0,000528	4,46425	1,05104	1,051023	0,998473	69	29
2898,93	2555,02	0,1716	0,1708	1,9394	0,00018	#3HAC!	1,28534	8,00912	0,000359	4,2904	1,05107	1,051056	0,999	70	30

Таблица А10 - Расчёт процесса сгорания проектируемого двигателя на бензине при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Тпред	Т2истина	Vст	s	y (f1)	X1-2	T1-2	k1-2	K1-2	DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1
545,57	545,57	0,2782	0,36705	3,0188	8,43E-08	548,70			1,69E-07	0,537636	1	1	0	0	-45
551,82	551,58	0,2707	0,3522	2,9371	1,26E-06	554,75	1,399	6,02	2,53E-06	0,55867	1	1	1,69E-07	1	-44
557,67	557,72	0,2633	0,33757	2,8567	5,48E-06	560,69	1,397	6,03	1,1E-05	0,580801	1	1	2,7E-06	2	-43
563,70	564,04	0,256	0,32318	2,7775	1,48E-05	566,84	1,396	6,05	2,95E-05	0,604117	1,000001	1	1,37E-05	3	-42
569,97	570,55	0,2488	0,30903	2,6996	3,11E-05	573,26	1,394	6,07	6,22E-05	0,628718	1,000002	1,000001	4,32E-05	4	-41
576,55	577,31	0,2418	0,29511	2,6231	5,66E-05	580,05	1,393	6,09	0,000113	0,654723	1,000005	1,000004	0,000105	5	-40
583,54	584,37	0,2348	0,28146	2,548	9,32E-05	587,29	1,391	6,11	0,000186	0,682272	1,000011	1,000008	0,000219	6	-39
591,03	591,79	0,228	0,26805	2,4743	0,000143	595,10	1,390	6,13	0,000286	0,711525	1,000021	1,000016	0,000405	7	-38
599,16	599,64	0,2214	0,25492	2,402	0,000208	603,60	1,388	6,16	0,000415	0,742664	1,000035	1,000028	0,000691	8	-37
608,05	608,01	0,2149	0,24205	2,3313	0,00029	612,95	1,386	6,18	0,000579	0,775897	1,000057	1,000046	0,001106	9	-36
617,85	616,97	0,2085	0,22946	2,262	0,000391	623,29	1,384	6,21	0,000781	0,811458	1,000086	1,000071	0,001685	10	-35
628,72	626,62	0,2022	0,21715	2,1943	0,000512	634,78	1,382	6,24	0,001025	0,84961	1,000126	1,000106	0,002466	11	-34
640,83	637,06	0,1961	0,20512	2,1282	0,000657	647,60	1,380	6,27	0,001314	0,890644	1,000178	1,000152	0,003491	12	-33
654,36	648,40	0,1902	0,1934	2,0637	0,000826	661,93	1,377	6,30	0,001653	0,934881	1,000246	1,000212	0,004805	13	-32
669,49	660,74	0,1844	0,18197	2,0008	0,001022	677,95	1,375	6,34	0,002044	0,982675	1,00033	1,000288	0,006458	14	-31
686,41	674,20	0,1788	0,17085	1,9397	0,001245	695,85	1,372	6,38	0,00249	1,034407	1,000435	1,000382	0,008502	15	-30
705,30	688,88	0,1733	0,16004	1,8802	0,001498	715,82	1,369	6,42	0,002995	1,090491	1,000562	1,000498	0,010992	16	-29
726,34	704,90	0,168	0,14954	1,8225	0,001781	738,03	1,366	6,46	0,003561	1,151368	1,000715	1,000639	0,013987	17	-28
749,72	722,39	0,1628	0,13936	1,7665	0,002095	762,65	1,363	6,51	0,004191	1,217506	1,000897	1,000806	0,017549	18	-27
775,59	741,43	0,1578	0,12951	1,7123	0,002442	789,85	1,359	6,56	0,004884	1,289395	1,001111	1,001004	0,021739	19	-26
804,12	762,15	0,153	0,11999	1,66	0,002822	819,78	1,356	6,62	0,005644	1,367543	1,001361	1,001236	0,026624	20	-25
835,44	784,63	0,1483	0,11081	1,6095	0,003235	852,55	1,352	6,67	0,00647	1,452471	1,00165	1,001505	0,032268	21	-24
869,66	808,99	0,1439	0,10197	1,5608	0,003681	888,27	1,349	6,73	0,007362	1,544702	1,001981	1,001815	0,038738	22	-23
906,89	835,29	0,1395	0,09346	1,5141	0,004159	927,03	1,345	6,79	0,008319	1,644754	1,002357	1,002169	0,046099	23	-22
947,18	863,61	0,1354	0,08531	1,4692	0,004669	968,87	1,342	6,86	0,009339	1,753129	1,002782	1,00257	0,054418	24	-21
990,57	894,02	0,1315	0,07751	1,4263	0,005209	1013,81	1,338	6,92	0,010418	1,870298	1,00326	1,003021	0,063757	25	-20
1037,06	926,57	0,1277	0,07007	1,3854	0,005777	1061,84	1,334	6,98	0,011554	1,996682	1,003792	1,003526	0,074175	26	-19
1086,61	961,28	0,1241	0,06298	1,3464	0,006371	1112,88	1,331	7,04	0,012742	2,132639	1,004383	1,004088	0,085729	27	-18
1139,15	998,18	0,1207	0,05626	1,3094	0,006987	1166,85	1,328	7,10	0,013974	2,278438	1,005035	1,004709	0,098471	28	-17
1194,55	1037,26	0,1175	0,0499	1,2745	0,007622	1223,60	1,324	7,16	0,015243	2,434237	1,005749	1,005392	0,112445	29	-16
1252,65	1078,50	0,1144	0,04392	1,2415	0,008271	1282,95	1,321	7,22	0,016542	2,600061	1,006528	1,006139	0,127688	30	-15

Продолжение таблицы А10

1313,24	1121,84	0,1116	0,0383	1,2107	0,00893	1344,65	1,318	7,28	0,01786	2,775773	1,007374	1,006951	0,14423	31	-14
1376,05	1167,21	0,1089	0,03306	1,1818	0,009593	1408,42	1,316	7,34	0,019186	2,96105	1,008287	1,007831	0,16209	32	-13
1440,79	1214,52	0,1065	0,0282	1,1551	0,010254	1473,94	1,313	7,39	0,020508	3,155358	1,009268	1,008778	0,181276	33	-12
1507,09	1263,64	0,1042	0,02372	1,1304	0,010907	1540,83	1,311	7,44	0,021813	3,357931	1,010317	1,009792	0,201784	34	-11
1574,58	1314,42	0,1021	0,01962	1,1079	0,011544	1608,69	1,308	7,49	0,023087	3,567754	1,011432	1,010874	0,223597	35	-10
1642,80	1366,66	0,1002	0,0159	1,0875	0,012158	1677,06	1,306	7,53	0,024316	3,783552	1,012612	1,012022	0,246685	36	-9
1711,31	1420,16	0,0985	0,01257	1,0692	0,012741	1745,46	1,304	7,57	0,025483	4,003787	1,013855	1,013234	0,271	37	-8
1779,61	1474,68	0,0971	0,00963	1,053	0,013287	1813,41	1,302	7,61	0,026573	4,226667	1,015158	1,014507	0,296483	38	-7
1847,20	1529,96	0,0958	0,00708	1,0389	0,013786	1880,38	1,301	7,65	0,027572	4,450162	1,016517	1,015838	0,323056	39	-6
1913,55	1585,70	0,0947	0,00492	1,0271	0,014231	1945,85	1,299	7,68	0,028463	4,672035	1,017927	1,017222	0,350628	40	-5
1978,15	1641,59	0,0938	0,00315	1,0173	0,014616	2009,33	1,298	7,72	0,029232	4,889883	1,019382	1,018654	0,379091	41	-4
2040,51	1697,32	0,0931	0,00177	1,0097	0,014933	2070,32	1,297	7,74	0,029865	5,101191	1,020876	1,020129	0,408323	42	-3
2100,12	1752,54	0,0926	0,00079	1,0043	0,015175	2128,34	1,295	7,77	0,03035	5,303392	1,022403	1,02164	0,438188	43	-2
2156,56	1806,91	0,0923	0,0002	1,0011	0,015338	2182,99	1,294	7,79	0,030677	5,493937	1,023955	1,023179	0,468539	44	-1
2209,41	1860,08	0,0922	0	1	0,015418	2233,87	1,293	7,81	0,030836	5,670371	1,025523	1,024739	0,499216	45	0
2258,33	1911,72	0,0923	0,0002	1,0011	0,015411	2280,67	1,293	7,83	0,030822	5,8304	1,0271	1,026312	0,530052	46	1
2303,01	1961,48	0,0926	0,00079	1,0043	0,015316	2323,12	1,292	7,85	0,030631	5,971966	1,028676	1,027888	0,560874	47	2
2343,24	2009,05	0,0931	0,00177	1,0097	0,015131	2361,04	1,291	7,86	0,030262	6,093309	1,030242	1,029459	0,591505	48	3
2378,85	2054,14	0,0938	0,00315	1,0173	0,014859	2394,30	1,291	7,88	0,029718	6,193012	1,031789	1,031015	0,621768	49	4
2409,76	2096,48	0,0947	0,00492	1,0271	0,014502	2422,85	1,290	7,89	0,029004	6,270047	1,033308	1,032549	0,651486	50	5
2435,95	2135,82	0,0958	0,00708	1,0389	0,014064	2446,72	1,290	7,89	0,028128	6,323795	1,034791	1,03405	0,68049	51	6
2457,49	2171,96	0,0971	0,00963	1,053	0,013551	2465,99	1,290	7,90	0,027102	6,354052	1,036229	1,03551	0,708618	52	7
2474,49	2204,74	0,0985	0,01257	1,0692	0,01297	2480,81	1,290	7,91	0,02594	6,361023	1,037615	1,036922	0,735721	53	8
2487,13	2234,03	0,1002	0,0159	1,0875	0,012329	2491,38	1,289	7,91	0,024659	6,345299	1,038941	1,038278	0,761661	54	9
2495,63	2259,75	0,1021	0,01962	1,1079	0,011638	2497,95	1,289	7,91	0,023277	6,307822	1,040202	1,039572	0,78632	55	10
2500,27	2281,85	0,1042	0,02372	1,1304	0,010907	2500,81	1,289	7,91	0,021815	6,249842	1,041392	1,040797	0,809597	56	11
2501,35	2300,34	0,1065	0,0282	1,1551	0,010147	2500,27	1,289	7,91	0,020294	6,172866	1,042507	1,04195	0,831411	57	12
2499,18	2315,26	0,1089	0,03306	1,1818	0,009368	2496,64	1,289	7,91	0,018736	6,0786	1,043545	1,043026	0,851705	58	13
2494,10	2326,69	0,1116	0,0383	1,2107	0,008582	2490,28	1,289	7,91	0,017164	5,968898	1,044503	1,044024	0,870441	59	14
2486,45	2334,73	0,1144	0,04392	1,2415	0,007799	2481,50	1,289	7,91	0,015598	5,8457	1,04538	1,044942	0,887605	60	15
2476,552	2339,55	0,1175	0,0499	1,2745	0,007029	2470,637	1,290	7,91	0,014059	5,710985	1,046178	1,045779	0,903202	61	16
2464,72	2341,30	0,1207	0,05626	1,3094	0,006282	2457,99	1,290	7,90	0,012565	5,566721	1,046897	1,046537	0,917261	62	17
2451,26	2340,20	0,1241	0,06298	1,3464	0,005566	2443,85	1,290	7,90	0,011133	5,414826	1,047539	1,047218	0,929826	63	18

Продолжение таблицы А10

2436,44	2336,46	0,1277	0,07007	1,3854	0,004888	2428,47	1,290	7,89	0,009777	5,257127	1,048108	1,047824	0,940959	64	19
2420,50	2330,30	0,1315	0,07751	1,4263	0,004254	2412,09	1,290	7,89	0,008508	5,09534	1,048608	1,048358	0,950735	65	20
2403,68	2321,96	0,1354	0,08531	1,4692	0,003667	2394,92	1,291	7,88	0,007335	4,931044	1,049043	1,048826	0,959243	66	21
2386,15	2311,68	0,1395	0,09346	1,5141	0,003131	2377,13	1,291	7,88	0,006262	4,765665	1,049418	1,049231	0,966578	67	22
2368,10	2299,70	0,1439	0,10197	1,5608	0,002647	2358,89	1,291	7,87	0,005295	4,600475	1,049738	1,049578	0,97284	68	23
2349,67	2286,25	0,1483	0,11081	1,6095	0,002216	2340,32	1,291	7,86	0,004431	4,436581	1,050009	1,049874	0,978135	69	24
2330,97	2271,56	0,153	0,11999	1,66	0,001835	2321,53	1,292	7,86	0,00367	4,274933	1,050235	1,050122	0,982566	70	25
2312,10	2255,82	0,1578	0,12951	1,7123	0,001504	2302,62	1,292	7,85	0,003008	4,116325	1,050423	1,050329	0,986237	71	26
2293,15	2239,24	0,1628	0,13936	1,7665	0,001219	2283,67	1,292	7,84	0,002438	3,961406	1,050577	1,0505	0,989245	72	27
2274,20	2222,00	0,168	0,14954	1,8225	0,000977	2264,75	1,293	7,84	0,001955	3,810693	1,050702	1,050639	0,991683	73	28
2255,30	2204,25	0,1733	0,16004	1,8802	0,000774	2245,90	1,293	7,83	0,001549	3,664579	1,050802	1,050752	0,993637	74	29
2236,50	2186,14	0,1788	0,17085	1,9397	0,000607	2227,16	1,293	7,82	0,001213	3,523349	1,050881	1,050841	0,995186	75	30
2217,82	2167,80	0,1844	0,18197	2,0008	0,000469	2208,55	1,293	7,82	0,000939	3,387195	1,050943	1,050912	0,996399	76	31
2199,29	2149,33	0,1902	0,1934	2,0637	0,000359	2190,11	1,294	7,81	0,000717	3,256223	1,050991	1,050967	0,997338	77	32
2180,93	2130,83	0,1961	0,20512	2,1282	0,000271	2171,86	1,294	7,80	0,000541	3,130476	1,051027	1,051009	0,998055	78	33
2162,78	2112,36	0,2022	0,21715	2,1943	0,000202	2153,81	1,294	7,80	0,000403	3,009934	1,051055	1,051041	0,998597	79	34
2144,84	2094,00	0,2085	0,22946	2,262	0,000148	#ЗНАЧ!	1,295	7,79	0,000297	2,894536	1,051076	1,051065	0,999	80	35

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

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

S _x , мм	V _x , м/с	W _{x1} , м/с ²	W _{x2} , м/с ²	W _x , м/с ²	φ _{кв} , рад	φ _{кв} , град
0	0	2923,157	205,34577	3128,5	0	0
0,1381	0,925	2878,748	192,96191	3071,71	0,1745	10
0,5475	1,817	2746,87	157,30399	2904,17	0,3491	20
1,2134	2,644	2531,529	102,67289	2634,2	0,5236	30
2,112	3,376	2239,269	35,65792	2274,93	0,6981	40
3,2115	3,991	1878,969	-35,65792	1843,31	0,8727	50
4,4739	4,468	1461,579	-102,6729	1358,91	1,0472	60
5,8565	4,797	999,7787	-157,304	842,475	1,2217	70
7,3135	4,969	507,601	-192,9619	314,639	1,3963	80
8,7986	4,985	1,79E-13	-205,3458	-205,346	1,5708	90
10,266	4,849	-507,601	-192,9619	-700,563	1,7453	100
11,671	4,572	-999,779	-157,304	-1157,08	1,9199	110
12,974	4,165	-1461,58	-102,6729	-1564,25	2,0944	120
14,139	3,646	-1878,97	-35,65792	-1914,63	2,2689	130
15,135	3,032	-2239,27	35,65792	-2203,61	2,4435	140
15,936	2,341	-2531,53	102,67289	-2428,86	2,618	150
16,522	1,592	-2746,87	157,30399	-2589,57	2,7925	160
16,88	0,806	-2878,75	192,96191	-2685,79	2,9671	170
17	6E-16	-2923,16	205,34577	-2717,81	3,1416	180
16,88	-0,806	-2878,75	192,96191	-2685,79	3,3161	190
16,522	-1,592	-2746,87	157,30399	-2589,57	3,4907	200
15,936	-2,341	-2531,53	102,67289	-2428,86	3,6652	210
15,135	-3,032	-2239,27	35,65792	-2203,61	3,8397	220
14,139	-3,646	-1878,97	-35,65792	-1914,63	4,0143	230
12,974	-4,165	-1461,58	-102,6729	-1564,25	4,1888	240
11,671	-4,572	-999,779	-157,304	-1157,08	4,3633	250
10,266	-4,849	-507,601	-192,9619	-700,563	4,5379	260
8,7986	-4,985	-5,4E-13	-205,3458	-205,346	4,7124	270
7,3135	-4,969	507,601	-192,9619	314,639	4,8869	280
5,8565	-4,797	999,7787	-157,304	842,475	5,0615	290
4,4739	-4,468	1461,579	-102,6729	1358,91	5,236	300
3,2115	-3,991	1878,969	-35,65792	1843,31	5,4105	310
2,112	-3,376	2239,269	35,65792	2274,93	5,5851	320
1,2134	-2,644	2531,529	102,67289	2634,2	5,7596	330
0,5475	-1,817	2746,87	157,30399	2904,17	5,9341	340
0,1381	-0,925	2878,748	192,96191	3071,71	6,1087	350
2E-32	-1E-15	2923,157	205,34577	3128,5	6,2832	360
0,1381	0,925	2878,748	192,96191	3071,71	6,4577	370
0,5475	1,817	2746,87	157,30399	2904,17	6,6323	380
1,2134	2,644	2531,529	102,67289	2634,2	6,8068	390
2,112	3,376	2239,269	35,65792	2274,93	6,9813	400
3,2115	3,991	1878,969	-35,65792	1843,31	7,1558	410
4,4739	4,468	1461,579	-102,6729	1358,91	7,3304	420
5,8565	4,797	999,7787	-157,304	842,475	7,5049	430
7,3135	4,969	507,601	-192,9619	314,639	7,6794	440
8,7986	4,985	8,95E-13	-205,3458	-205,346	7,854	450

Продолжение таблицы Б1

10,266	4,849	-507,601	-192,9619	-700,563	8,0285	460
11,671	4,572	-999,779	-157,304	-1157,08	8,203	470
12,974	4,165	-1461,58	-102,6729	-1564,25	8,3776	480
14,139	3,646	-1878,97	-35,65792	-1914,63	8,5521	490
15,135	3,032	-2239,27	35,65792	-2203,61	8,7266	500
15,936	2,341	-2531,53	102,67289	-2428,86	8,9012	510
16,522	1,592	-2746,87	157,30399	-2589,57	9,0757	520
16,88	0,806	-2878,75	192,96191	-2685,79	9,2502	530
17	2E-15	-2923,16	205,34577	-2717,81	9,4248	540
16,88	-0,806	-2878,75	192,96191	-2685,79	9,5993	550
16,522	-1,592	-2746,87	157,30399	-2589,57	9,7738	560
15,936	-2,341	-2531,53	102,67289	-2428,86	9,9484	570
15,135	-3,032	-2239,27	35,65792	-2203,61	10,123	580
14,139	-3,646	-1878,97	-35,65792	-1914,63	10,297	590
12,974	-4,165	-1461,58	-102,6729	-1564,25	10,472	600
11,671	-4,572	-999,779	-157,304	-1157,08	10,647	610
10,266	-4,849	-507,601	-192,9619	-700,563	10,821	620
8,7986	-4,985	-1,3E-12	-205,3458	-205,346	10,996	630
7,3135	-4,969	507,601	-192,9619	314,639	11,17	640
5,8565	-4,797	999,7787	-157,304	842,475	11,345	650
4,4739	-4,468	1461,579	-102,6729	1358,91	11,519	660
3,2115	-3,991	1878,969	-35,65792	1843,31	11,694	670
2,112	-3,376	2239,269	35,65792	2274,93	11,868	680
1,2134	-2,644	2531,529	102,67289	2634,2	12,043	690
0,5475	-1,817	2746,87	157,30399	2904,17	12,217	700
0,1381	-0,925	2878,748	192,96191	3071,71	12,392	710
7E-32	-3E-15	2923,157	205,34577	3128,5	12,566	720

ПРИЛОЖЕНИЕ В Результаты динамического расчета

Таблица В1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя.

Сила давления газов, Мпа	Ускорение поршня, м/с ²	Силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс, МПа	Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца, Мпа	$\text{tg}\beta$	Опрокидывающая сила, МПа	$1/\cos\beta$	Удельная сила, действующая вдоль шатуна, Мпа	$\cos(\beta+\varphi)/\cos\beta$	Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа, Мпа	$\sin(\beta+\varphi)/\cos\beta$	Удельная тангенциальная сила, Мпа	Полная тангенциальная сила, кН	Крутящий момент, Нм	φ°
0,2920	21539	-2,542	-2,2496	0	0	1	-2,25	1	-2,25	0	0	0	0	0
0,2820	20988	-2,477	-2,1946	0,0521	-0,114	1,0014	-2,198	0,975767	-2,141	0,224914	-0,4936	-3,07077	-148,011	10
0,2720	19379	-2,287	-2,0148	0,1029	-0,207	1,0053	-2,025	0,904474	-1,822	0,438741	-0,88396	-5,49925	-265,064	20
0,2700	16838	-1,987	-1,717	0,1514	-0,26	1,0113	-1,736	0,790277	-1,357	0,631072	-1,08353	-6,74078	-324,905	30
0,2670	13562	-1,6	-1,3334	0,1961	-0,261	1,0189	-1,359	0,639878	-0,853	0,79287	-1,05719	-6,57694	-317,009	40
0,2640	9796	-1,156	-0,892	0,2355	-0,21	1,027	-0,916	0,462126	-0,412	0,917162	-0,8181	-5,08953	-245,315	50
0,2610	5811	-0,686	-0,4247	0,2683	-0,114	1,0348	-0,439	0,267354	-0,114	0,999645	-0,42452	-2,64102	-127,297	60
0,2580	1872	-0,221	0,037	0,2929	0,0109	1,0412	0,0386	0,066479	0,002	1,039078	0,038492	0,239463	11,54213	70
0,2560	-1780	0,21	0,466	0,3082	0,1436	1,0454	0,4872	-0,13008	-0,061	1,037314	0,483373	3,00713	144,9436	80
0,2560	-4957	0,5849	0,8409	0,3134	0,2636	1,0469	0,8803	-0,31342	-0,264	0,998899	0,839951	5,22545	251,8667	90
-0,0194	-7535	0,8892	0,8697	0,3082	0,2681	1,0454	0,9093	-0,47701	-0,415	0,930268	0,809097	5,033509	242,6151	100
-0,0194	-9464	1,1167	1,0973	0,2929	0,3214	1,0412	1,1425	-0,61698	-0,677	0,838712	0,920335	5,725531	275,9706	110
-0,0194	-10762	1,2699	1,2505	0,2683	0,3355	1,0348	1,294	-0,73204	-0,915	0,731358	0,914534	5,689444	274,2312	120
-0,0194	-11508	1,358	1,3386	0,2355	0,3153	1,027	1,3747	-0,82298	-1,102	0,614368	0,822375	5,116112	246,5966	130
-0,0184	-11827	1,3956	1,3772	0,1961	0,27	1,0189	1,4032	-0,89194	-1,228	0,492477	0,678246	4,219466	203,3783	140
-0,0174	-11865	1,4	1,3826	0,1514	0,2093	1,0113	1,3983	-0,94166	-1,302	0,368864	0,509991	3,172723	152,9252	150
-0,0164	-11765	1,3882	1,3718	0,1029	0,1412	1,0053	1,3791	-0,97488	-1,337	0,24529	0,336495	2,09338	100,9009	160
-0,0144	-11650	1,3747	1,3603	0,0521	0,0708	1,0014	1,3622	-0,99385	-1,352	0,122382	0,166477	1,035679	49,91974	170
-0,0124	-11602	1,3691	1,3566	4E-17	5E-17	1	1,3566	-1	-1,357	1,23E-16	1,66E-16	1,03E-15	4,98E-14	180
-0,0104	-11649	1,3746	1,3642	-0,052	-0,071	1,0014	1,366	-0,99385	-1,356	-0,12238	-0,16695	-1,03861	-50,0611	190
-0,0084	-11762	1,388	1,3795	-0,103	-0,142	1,0053	1,3868	-0,97488	-1,345	-0,24529	-0,33838	-2,10514	-101,468	200
-0,0064	-11861	1,3996	1,3932	-0,151	-0,211	1,0113	1,4089	-0,94166	-1,312	-0,36886	-0,51388	-3,19695	-154,093	210
-0,0044	-11822	1,395	1,3906	-0,196	-0,273	1,0189	1,4169	-0,89194	-1,24	-0,49248	-0,68485	-4,26055	-205,358	220

Продолжение таблицы В1

-0,0036	-11502	1,3573	1,3536	-0,236	-0,319	1,027	1,3902	-0,82298	-1,114	-0,61437	-0,83163	-5,17372	-249,373	230
0,0051	-10754	1,269	1,2741	-0,268	-0,342	1,0348	1,3184	-0,73204	-0,933	-0,73136	-0,93181	-5,79691	-279,411	240
0,0171	-9455	1,1157	1,1328	-0,293	-0,332	1,0412	1,1795	-0,61698	-0,699	-0,83871	-0,95008	-5,91059	-284,89	250
0,0337	-7525	0,888	0,9217	-0,308	-0,284	1,0454	0,9636	-0,47701	-0,44	-0,93027	-0,85743	-5,33416	-257,107	260
0,0571	-4946	0,5836	0,6407	-0,313	-0,201	1,0469	0,6707	-0,31342	-0,201	-0,9989	-0,63995	-3,9812	-191,894	270
0,0905	-1767	0,2085	0,2991	-0,308	-0,092	1,0454	0,3127	-0,13008	-0,039	-1,03731	-0,31024	-1,93005	-93,0286	280
0,1397	1886	-0,223	-0,0829	-0,293	0,0243	1,0412	-0,086	0,066479	-0,006	-1,03908	0,08611	0,535701	25,82079	290
0,2139	5826	-0,687	-0,4735	-0,268	0,127	1,0348	-0,49	0,267354	-0,127	-0,99964	0,473353	2,944795	141,9391	300
0,3293	9813	-1,158	-0,8286	-0,236	0,1952	1,027	-0,851	0,462126	-0,383	-0,91716	0,75994	4,727695	227,8749	310
0,5128	13580	-1,602	-1,0897	-0,196	0,2136	1,0189	-1,11	0,639878	-0,697	-0,79287	0,863952	5,374765	259,0637	320
0,8782	16857	-1,989	-1,1109	-0,151	0,1682	1,0113	-1,123	0,790277	-0,878	-0,63107	0,701062	4,361407	210,2198	330
0,9363	17148	-2,023	-1,0872	-0,147	0,1595	1,0106	-1,099	0,803455	-0,873	-0,61308	0,666522	4,146528	199,8626	331
1,0006	17432	-2,057	-1,0563	-0,142	0,1499	1,01	-1,067	0,816261	-0,862	-0,59478	0,628292	3,908695	188,3991	332
1,0718	17707	-2,089	-1,0177	-0,137	0,1396	1,0093	-1,027	0,828688	-0,843	-0,5762	0,586372	3,647902	175,8289	333
1,1507	17975	-2,121	-0,9703	-0,132	0,1285	1,0087	-0,979	0,840729	-0,816	-0,55734	0,540805	3,364422	162,1652	334
1,2380	18234	-2,152	-0,9136	-0,128	0,1165	1,0081	-0,921	0,852376	-0,779	-0,5382	0,49169	3,05887	147,4375	335
1,3346	18485	-2,181	-0,8465	-0,123	0,1039	1,0075	-0,853	0,863622	-0,731	-0,5188	0,439187	2,732247	131,6943	336
1,4414	18727	-2,21	-0,7684	-0,118	0,0905	1,0069	-0,774	0,874462	-0,672	-0,49914	0,383532	2,386005	115,0054	337
1,5590	18960	-2,237	-0,6782	-0,113	0,0765	1,0063	-0,683	0,884888	-0,6	-0,47924	0,325036	2,022097	97,46509	338
1,6885	19184	-2,264	-0,5753	-0,108	0,0621	1,0058	-0,579	0,894894	-0,515	-0,4591	0,264104	1,64303	79,19403	339
1,8304	19399	-2,289	-0,4587	-0,103	0,0472	1,0053	-0,461	0,904474	-0,415	-0,43874	0,201234	1,251908	60,34195	340
1,9857	19605	-2,313	-0,3277	-0,098	0,0321	1,0048	-0,329	0,913624	-0,299	-0,41816	0,137029	0,852475	41,08929	341
2,1548	19801	-2,337	-0,1817	-0,093	0,0169	1,0043	-0,182	0,922337	-0,168	-0,39738	0,072196	0,449141	21,64858	342
2,3384	19987	-2,359	-0,0201	-0,088	0,0018	1,0038	-0,02	0,930608	-0,019	-0,3764	0,007554	0,046993	2,265064	343
2,5369	20164	-2,379	0,1576	-0,083	-0,013	1,0034	0,1581	0,938433	0,148	-0,35523	-0,05597	-0,34821	-16,7836	344
2,7505	20330	-2,399	0,3515	-0,078	-0,027	1,003	0,3525	0,945806	0,332	-0,33389	-0,11735	-0,73005	-35,1885	345
2,9791	20487	-2,417	0,5617	-0,073	-0,041	1,0026	0,5632	0,952725	0,535	-0,31238	-0,17546	-1,09155	-52,6125	346
3,2227	20633	-2,435	0,788	-0,067	-0,053	1,0023	0,7898	0,959184	0,756	-0,29072	-0,22909	-1,42519	-68,694	347
3,4807	20769	-2,451	1,03	-0,062	-0,064	1,0019	1,032	0,965179	0,994	-0,26891	-0,27697	-1,72309	-83,0528	348
3,7523	20894	-2,466	1,2868	-0,057	-0,074	1,0016	1,2889	0,970708	1,249	-0,24698	-0,31781	-1,97712	-95,2974	349

Продолжение таблицы В1

4,0365	21009	-2,479	1,5574	-0,052	-0,081	1,0014	1,5595	0,975767	1,52	-0,22491	-0,35028	-2,17914	-105,034	350
4,3317	21114	-2,491	1,8403	-0,047	-0,086	1,0011	1,8423	0,980353	1,804	-0,20274	-0,3731	-2,32113	-111,878	351
4,6361	21207	-2,502	2,1337	-0,042	-0,089	1,0009	2,1355	0,984464	2,101	-0,18047	-0,38506	-2,39554	-115,465	352
4,9476	21290	-2,512	2,4354	-0,037	-0,089	1,0007	2,4371	0,988097	2,406	-0,15811	-0,38506	-2,3955	-115,463	353
5,2637	21361	-2,521	2,743	-0,031	-0,086	1,0005	2,7444	0,991249	2,719	-0,13567	-0,37214	-2,3151	-111,588	354
5,5815	21422	-2,528	3,0537	-0,026	-0,08	1,0003	3,0547	0,99392	3,035	-0,11316	-0,34555	-2,14969	-103,615	355
5,8980	21472	-2,534	3,3643	-0,021	-0,07	1,0002	3,365	0,996107	3,351	-0,09059	-0,30478	-1,89609	-91,3915	356
6,2099	21511	-2,538	3,6716	-0,016	-0,058	1,0001	3,672	0,997809	3,664	-0,06798	-0,24961	-1,55286	-74,8481	357
6,5137	21539	-2,542	3,9722	-0,01	-0,042	1,0001	3,9724	0,999026	3,968	-0,04534	-0,18011	-1,12046	-54,0064	358
6,8061	21555	-2,544	4,2626	-0,005	-0,022	1	4,2627	0,999757	4,262	-0,02268	-0,09666	-0,60134	-28,9847	359
7,0836	21561	-2,544	4,5394	-7E-17	-3E-16	1	4,5394	1	4,539	-2,5E-16	-1,1E-15	-6,9E-15	-3,3E-13	360
7,3429	21556	-2,544	4,7993	0,0052	0,0251	1	4,7994	0,999757	4,798	0,022677	0,108832	0,677062	32,63439	361
7,5809	21539	-2,542	5,0392	0,0104	0,0527	1,0001	5,0395	0,999026	5,034	0,045342	0,228489	1,421462	68,51445	362
7,7947	21511	-2,538	5,2564	0,0157	0,0824	1,0001	5,257	0,997809	5,245	0,067985	0,357352	2,223139	107,1553	363
7,9821	21473	-2,534	5,4483	0,0209	0,1138	1,0002	5,4495	0,996107	5,427	0,090594	0,49358	3,070631	148,0044	364
8,1409	21423	-2,528	5,613	0,0261	0,1465	1,0003	5,6149	0,99392	5,579	0,113158	0,635157	3,951401	190,4575	365
8,2698	21362	-2,521	5,7491	0,0313	0,18	1,0005	5,7519	0,991249	5,699	0,135666	0,779956	4,852214	233,8767	366
8,3678	21291	-2,512	5,8555	0,0365	0,2138	1,0007	5,8594	0,988097	5,786	0,158107	0,9258	5,759534	277,6095	367
8,4345	21208	-2,503	5,9319	0,0417	0,2474	1,0009	5,9371	0,984464	5,84	0,180469	1,070531	6,659925	321,0084	368
8,4699	21115	-2,492	5,9784	0,0469	0,2803	1,0011	5,9849	0,980353	5,861	0,202742	1,212067	7,540437	363,4491	369
8,4747	21011	-2,479	5,9954	0,0521	0,3121	1,0014	6,0036	0,975767	5,85	0,224914	1,34846	8,388955	404,3476	370
8,4499	20896	-2,466	5,9842	0,0572	0,3424	1,0016	5,994	0,970708	5,809	0,246975	1,477946	9,194511	443,1754	371
8,3970	20771	-2,451	5,9461	0,0624	0,3708	1,0019	5,9576	0,965179	5,739	0,268914	1,598987	9,947523	479,4706	372
8,3179	20635	-2,435	5,883	0,0675	0,3971	1,0023	5,8963	0,959184	5,643	0,290719	1,710294	10,63998	512,8471	373
8,2146	20489	-2,418	5,7969	0,0726	0,421	1,0026	5,8122	0,952725	5,523	0,312381	1,810851	11,26555	542,9997	374
8,0895	20332	-2,399	5,6903	0,0777	0,4422	1,003	5,7074	0,945806	5,382	0,333888	1,899916	11,81964	569,7068	375
7,9451	20166	-2,38	5,5655	0,0828	0,4608	1,0034	5,5845	0,938433	5,223	0,35523	1,977026	12,29935	592,8289	376
7,7838	19989	-2,359	5,4251	0,0879	0,4767	1,0038	5,4459	0,930608	5,049	0,376397	2,041978	12,70343	612,3053	377
7,6084	19803	-2,337	5,2716	0,0929	0,4898	1,0043	5,2942	0,922337	4,862	0,397378	2,094813	13,03212	628,1484	378
7,4212	19607	-2,314	5,1076	0,0979	0,5002	1,0048	5,1319	0,913624	4,666	0,418162	2,13579	13,28705	640,4357	379
7,2248	19402	-2,289	4,9354	0,1029	0,508	1,0053	4,9614	0,904474	4,464	0,438741	2,165356	13,47099	649,3015	380

Продолжение таблицы В1

7,0214	19187	-2,264	4,7574	0,1079	0,5134	1,0058	4,7849	0,894894	4,257	0,459104	2,184116	13,58769	654,9268	381
6,8132	18963	-2,238	4,5756	0,1129	0,5164	1,0063	4,6045	0,884888	4,049	0,47924	2,192797	13,6417	657,5298	382
6,6021	18730	-2,21	4,392	0,1178	0,5173	1,0069	4,4222	0,874462	3,841	0,499141	2,192217	13,63809	657,3559	383
6,3898	18488	-2,182	4,2083	0,1227	0,5163	1,0075	4,2397	0,863622	3,634	0,518797	2,183256	13,58234	654,6689	384
6,1780	18237	-2,152	4,0261	0,1275	0,5135	1,0081	4,0586	0,852376	3,432	0,538198	2,166828	13,48014	649,7426	385
5,7377	17978	-2,121	3,6163	0,1324	0,4787	1,0087	3,6477	0,840729	3,04	0,557336	2,015511	12,53878	604,369	386
5,5463	17710	-2,09	3,4565	0,1372	0,4742	1,0093	3,4887	0,828688	2,864	0,576201	1,991636	12,39025	597,21	387
5,3605	17435	-2,057	3,3032	0,142	0,4689	1,01	3,3361	0,816261	2,696	0,594784	1,964675	12,22252	589,1253	388
5,1804	17152	-2,024	3,1565	0,1467	0,463	1,0106	3,1901	0,803455	2,536	0,613077	1,935164	12,03892	580,2761	389
5,0061	16861	-1,99	3,0165	0,1514	0,4566	1,0113	3,0506	0,790277	2,384	0,631072	1,903607	11,84261	570,8136	390
4,8376	16563	-1,954	2,8832	0,156	0,4499	1,012	2,9178	0,776735	2,239	0,648759	1,870477	11,6365	560,8792	391
4,6749	16257	-1,918	2,7565	0,1607	0,4429	1,0127	2,7917	0,762838	2,103	0,666131	1,836209	11,42331	550,6037	392
4,5180	15945	-1,881	2,6365	0,1653	0,4357	1,0135	2,672	0,748593	1,974	0,68318	1,801206	11,20555	540,1077	393
4,3668	15626	-1,844	2,523	0,1698	0,4284	1,0142	2,5588	0,734009	1,852	0,699899	1,765836	10,98551	529,5017	394
4,2213	15300	-1,805	2,4159	0,1743	0,4211	1,015	2,452	0,719094	1,737	0,716279	1,730434	10,76527	518,886	395
4,0813	14969	-1,766	2,315	0,1787	0,4138	1,0157	2,3514	0,703857	1,629	0,732315	1,695302	10,54671	508,3514	396
3,9467	14631	-1,726	2,2202	0,1831	0,4066	1,0165	2,2568	0,688308	1,528	0,747998	1,660712	10,33152	497,9795	397
3,8173	14288	-1,686	2,1314	0,1875	0,3996	1,0173	2,1682	0,672456	1,433	0,763322	1,626907	10,12122	487,8427	398
3,6930	13939	-1,645	2,0482	0,1918	0,3929	1,0181	2,0852	0,656309	1,344	0,778282	1,594101	9,917124	478,0054	399
3,5737	13585	-1,603	1,9707	0,1961	0,3864	1,0189	2,0078	0,639878	1,261	0,79287	1,56248	9,720406	468,5236	400
2,6161	9819	-1,159	1,4575	0,2355	0,3433	1,027	1,4968	0,462126	0,674	0,917162	1,336727	8,315968	400,8297	410
1,9822	5833	-0,688	1,2939	0,2683	0,3471	1,0348	1,3389	0,267354	0,346	0,999645	1,293456	8,046769	387,8543	420
1,5561	1895	-0,224	1,3325	0,2929	0,3903	1,0412	1,3874	0,066479	0,089	1,039078	1,384588	8,613719	415,1812	430
1,2631	-1757	0,2074	1,4704	0,3082	0,4532	1,0454	1,5372	-0,13008	-0,191	1,037314	1,52529	9,489044	457,3719	440
1,0569	-4934	0,5823	1,6392	0,3134	0,5138	1,0469	1,7161	-0,31342	-0,514	0,998899	1,637396	10,18647	490,9879	450
0,9091	-7513	0,8865	1,7956	0,3082	0,5535	1,0454	1,8772	-0,47701	-0,857	0,930268	1,670432	10,39199	500,894	460
0,8015	-9441	1,1141	1,9156	0,2929	0,5611	1,0412	1,9946	-0,61698	-1,182	0,838712	1,60666	9,995258	481,7714	470
0,7225	-10739	1,2672	1,9897	0,2683	0,5338	1,0348	2,0589	-0,73204	-1,457	0,731358	1,455213	9,053085	436,3587	480
0,6644	-11486	1,3553	2,0197	0,2355	0,4757	1,027	2,0743	-0,82298	-1,662	0,614368	1,240844	7,719462	372,0781	490
0,6220	-11805	1,393	2,015	0,1961	0,3951	1,0189	2,053	-0,89194	-1,797	0,492477	0,992319	6,173356	297,5558	500
0,5220	-11842	1,3974	1,9193	0,1514	0,2906	1,0113	1,9411	-0,94166	-1,807	0,368864	0,707975	4,404414	212,2928	510

Продолжение таблицы В1

0,4220	-11742	1,3856	1,8076	0,1029	0,1861	1,0053	1,8171	-0,97488	-1,762	0,24529	0,443378	2,758316	132,9508	520
0,4120	-11628	1,3721	1,7841	0,0521	0,0929	1,0014	1,7865	-0,99385	-1,773	0,122382	0,218336	1,358299	65,46999	530
0,3120	-11580	1,3664	1,6784	1E-16	2E-16	1	1,6784	-1	-1,678	3,68E-16	6,17E-16	3,84E-15	1,85E-13	540
0,2920	-11627	1,3719	1,6639	-0,052	-0,087	1,0014	1,6662	-0,99385	-1,654	-0,12238	-0,20363	-1,26682	-61,061	550
0,2920	-11740	1,3853	1,6773	-0,103	-0,173	1,0053	1,6861	-0,97488	-1,635	-0,24529	-0,41142	-2,55949	-123,368	560
0,2920	-11838	1,3969	1,6889	-0,151	-0,256	1,0113	1,708	-0,94166	-1,59	-0,36886	-0,62298	-3,87561	-186,805	570
0,2920	-11800	1,3924	1,6844	-0,196	-0,33	1,0189	1,7161	-0,89194	-1,502	-0,49248	-0,82951	-5,16052	-248,737	580
0,2920	-11480	1,3546	1,6466	-0,236	-0,388	1,027	1,6911	-0,82298	-1,355	-0,61437	-1,01161	-6,29335	-303,339	590
0,2920	-10732	1,2664	1,5583	-0,268	-0,418	1,0348	1,6125	-0,73204	-1,141	-0,73136	-1,13969	-7,09019	-341,747	600
0,2920	-9433	1,1131	1,405	-0,293	-0,412	1,0412	1,4629	-0,61698	-0,867	-0,83871	-1,17842	-7,33112	-353,36	610
0,2920	-7503	0,8854	1,1773	-0,308	-0,363	1,0454	1,2308	-0,47701	-0,562	-0,93027	-1,09522	-6,81352	-328,411	620
0,2920	-4923	0,5809	0,8729	-0,313	-0,274	1,0469	0,9139	-0,31342	-0,274	-0,9989	-0,87195	-5,4245	-261,461	630
0,2920	-1745	0,2059	0,4979	-0,308	-0,153	1,0454	0,5205	-0,13008	-0,065	-1,03731	-0,51645	-3,21289	-154,861	640
0,2920	1908	-0,225	0,0668	-0,293	-0,02	1,0412	0,0695	0,066479	0,004	-1,03908	-0,06939	-0,4317	-20,8079	650
0,2920	5848	-0,69	-0,3981	-0,268	0,1068	1,0348	-0,412	0,267354	-0,106	-0,99964	0,397942	2,475652	119,3264	660
0,2920	9835	-1,161	-0,8685	-0,236	0,2046	1,027	-0,892	0,462126	-0,401	-0,91716	0,796599	4,955753	238,8673	670
0,2920	13602	-1,605	-1,3131	-0,196	0,2575	1,0189	-1,338	0,639878	-0,84	-0,79287	1,041098	6,476815	312,1825	680
0,2920	16879	-1,992	-1,6998	-0,151	0,2573	1,0113	-1,719	0,790277	-1,343	-0,63107	1,072703	6,673435	321,6596	690
0,2920	19421	-2,292	-1,9998	-0,103	0,2058	1,0053	-2,01	0,904474	-1,809	-0,43874	0,877379	5,458295	263,0898	700
0,2920	21032	-2,482	-2,1898	-0,052	0,114	1,0014	-2,193	0,975767	-2,137	-0,22491	0,492509	3,063967	147,6832	710
0,2920	21583	-2,547	-2,2549	-1E-16	3E-16	1	-2,255	1	-2,255	-4,9E-16	1,11E-15	6,87E-15	3,31E-13	720

Таблица В2 – Суммирование значений крутящих моментов всех четырех цилиндров.

Цилиндры								М _{кр,} Нм	φ°
1-й		2-й		3-й		4-й			
φ° кровошипа	М _{кр.ц,} Нм	φ° кровошипа	М _{кр.ц,} Нм	φ° кровошипа	М _{кр.ц,} Нм	φ° кровошипа	М _{кр.ц,} Нм		
0	0	180	2,45E-14	360	-2,6E-13	540	9,37E-14	-1,4E-13	0
10	-86,99	190	-24,0093	370	306,0837	550	-28,1017	166,9828	10
20	-156,566	200	-48,9528	380	296,3678	560	-54,6868	36,16206	20
30	-195,275	210	-75,0583	390	269,8129	570	-79,9261	-80,447	30
40	-197,041	220	-101,153	400	230,9234	580	-106,592	-173,863	40
50	-163,855	230	-124,468	410	211,5652	590	-129,926	-206,683	50
60	-105,045	240	-141,81	420	216,574	600	-146,193	-176,475	60
70	-34,2617	250	-147,23	430	237,5378	610	-149,403	-93,3568	70
80	34,5387	260	-136,012	440	261,8503	620	-134,359	26,01842	80
90	90,27973	270	-105,584	450	278,3765	630	-98,0441	165,0278	90
100	126,0628	280	-57,5476	460	280,4093	640	-41,7612	307,1633	100
110	141,091	290	1,144014	470	266,3025	650	28,30338	436,8409	110
120	138,2249	300	58,52271	480	227,3327	660	100,7564	524,8366	120
130	122,631	310	99,91824	490	191,1672	670	161,2523	574,9687	130
140	99,87167	320	112,2583	500	151,0124	680	195,4589	558,6013	140
150	74,31305	330	80,61009	510	110,5007	690	194,5489	459,9727	150
160	48,67182	340	-9,14229	520	71,71513	700	156,3419	267,5865	160
170	23,93926	350	-100,219	530	32,9495	710	87,01919	43,68847	170
180	2,45E-14	360	-2,6E-13	540	9,37E-14	720	1,92E-13	5,33E-14	180

ПРИЛОЖЕНИЕ Г Силы, действующие в КШМ

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

Сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа, Н	Полная тангенциальная сила, Н	Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа, Н	Результирующая сила, действующая на шатунную шейку, Н	Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа, Н	Результирующая сила, действующая на колено вала, Н	φ, ° ПКВ
0	-10,1632	-15,9567	15,9567	-26,8536	26,85356	0
-2,259479	-9,65813	-15,4516	15,6159	-26,3485	26,44516	10
-4,066652	-8,24724	-14,0407	14,6178	-24,9376	25,26698	20
-5,072089	-6,22917	-12,0227	13,0488	-22,9195	23,47402	30
-5,117959	-4,02721	-9,82069	11,0743	-20,7175	21,34033	40
-4,255968	-2,0659	-7,85939	8,9377	-18,7562	19,23303	50
-2,728447	-0,68053	-6,47402	7,0255	-17,3709	17,58384	60
-0,889913	-0,04046	-5,83394	5,9014	-16,7308	16,75444	70
0,897109	-0,13025	-5,92374	5,9913	-16,8206	16,84449	80
2,344928	-0,78701	-6,5805	6,9858	-17,4773	17,63395	90
3,274359	-1,76019	-7,55368	8,2328	-18,4505	18,73882	100
3,664701	-2,80159	-8,59507	9,3437	-19,4919	19,83343	110
3,590256	-3,71717	-9,51066	10,1658	-20,4075	20,72091	120
3,18522	-4,40142	-10,1949	10,6809	-21,0917	21,3309	130
2,594069	-4,83824	-10,6317	10,9436	-21,5286	21,6843	140
1,930209	-5,06908	-10,8626	11,0327	-21,7594	21,84486	150
1,264203	-5,16542	-10,9589	11,0316	-21,8558	21,89228	160
0,621799	-5,18937	-10,9829	11,0004	-21,8797	21,88854	170
6,36E-16	-5,1927	-10,9862	10,9862	-21,883	21,88303	180
-0,623617	-5,20455	-10,998	11,0157	-21,8949	21,90376	190
-1,271503	-5,19524	-10,9887	11,0621	-21,8856	21,92248	200
-1,949566	-5,11992	-10,9134	11,0862	-21,8102	21,89721	210
-2,627355	-4,90032	-10,6938	11,0118	-21,5907	21,74993	220
-3,232938	-4,46735	-10,2608	10,7581	-21,1577	21,40326	230
-3,683388	-3,81359	-9,60708	10,2890	-20,5039	20,83215	240
-3,824147	-2,92348	-8,71697	9,5189	-19,6138	19,98313	250
-3,532768	-1,89911	-7,6926	8,4650	-18,5894	18,92215	260
-2,74245	-0,92043	-6,71392	7,2524	-17,6108	17,82302	270
-1,494744	-0,21702	-6,01051	6,1936	-16,9074	16,9733	280
0,029715	-0,00135	-5,79484	5,7949	-16,6917	16,69171	290
1,52007	-0,37914	-6,17263	6,3570	-17,0695	17,13702	300
2,595279	-1,25978	-7,05327	7,5156	-17,9501	18,13676	310
2,9158	-2,29438	-8,08787	8,5974	-18,9847	19,20732	320
2,093769	-2,57141	-8,3649	8,6230	-19,2617	19,37521	330
-0,237462	0,481577	-5,31191	5,3172	-16,2088	16,21049	340
-2,603103	11,12695	5,333458	5,9348	-5,56339	6,142263	350
-6,67E-15	27,23655	21,44306	21,4431	10,54622	10,54622	360
7,950227	33,98319	28,1897	29,2893	17,29286	19,03284	363
9,675719	26,98799	21,1945	23,2986	10,29766	14,13015	370
7,697864	15,6114	9,81791	12,4759	-1,07893	7,773108	380
7,008126	8,60687	2,813382	7,5518	-8,08346	10,69842	390
5,998011	4,719698	-1,07379	6,0934	-11,9706	13,38926	400
5,495199	2,66744	-3,12605	6,3221	-14,0229	15,06117	410
5,625299	1,403066	-4,39042	7,1358	-15,2873	16,2894	420

Продолжение таблицы Г1

6,169814	0,280479	-5,51301	8,2740	-16,4099	17,5314	430
6,801307	-0,98749	-6,78098	9,6041	-17,6778	18,94104	440
7,230558	-2,42675	-8,22024	10,9478	-19,1171	20,43878	450
7,283359	-3,91531	-9,7088	12,1371	-20,6056	21,85497	460
6,916948	-5,28786	-11,0813	13,0629	-21,9782	23,04094	470
5,904745	-6,11348	-11,907	13,2907	-22,8038	23,55588	480
4,965382	-6,86129	-12,6548	13,5941	-23,5516	24,06935	490
3,9224	-7,31573	-13,1092	13,6835	-24,0061	24,3244	500
2,870147	-7,53753	-13,331	13,6365	-24,2279	24,39728	510
1,862731	-7,61095	-13,4044	13,5332	-24,3013	24,37257	520
0,855831	-7,14254	-12,936	12,9643	-23,8329	23,84824	530
2,43E-15	-6,62346	-12,4169	12,4169	-23,3138	23,31379	540
-0,729914	-6,09167	-11,8852	11,9076	-22,782	22,79369	550
-1,420435	-5,80377	-11,5973	11,6839	-22,4941	22,53891	560
-2,076003	-5,45197	-11,2455	11,4355	-22,1423	22,2394	570
-2,768628	-5,16382	-10,9573	11,3017	-21,8541	22,02882	580
-3,374692	-4,66323	-10,4567	10,9878	-21,3536	21,61859	590
-3,797222	-3,93145	-9,72494	10,4400	-20,6218	20,96847	600
-3,880605	-2,96664	-8,76013	9,5812	-19,657	20,03636	610
-3,489845	-1,87603	-7,66952	8,4262	-18,5664	18,8915	620
-2,5466	-0,8547	-6,64819	7,1192	-17,545	17,72888	630
-1,084707	-0,15749	-5,95098	6,0490	-16,8478	16,8827	640
0,735153	-0,03342	-5,82691	5,8731	-16,7238	16,7399	650
2,617049	-0,65275	-6,44623	6,9572	-17,3431	17,53942	660
4,18837	-2,03309	-7,82658	8,8768	-18,7234	19,18616	670
5,076855	-3,99486	-9,78835	11,0266	-20,6852	21,2991	680
5,053218	-6,20599	-11,9995	13,0201	-22,8963	23,44732	690
4,060828	-8,23543	-14,0289	14,6048	-24,9258	25,25438	700
2,260239	-9,66137	-15,4549	15,6193	-26,3517	26,44846	710
4,99E-15	-10,1777	-15,9712	15,9712	-26,868	26,86803	720

Таблица Г2 – Расчет сил, действующих на коренные шейки коленчатого вала.

Первый кривошип				Вторая коренная шейка			Второй кривошип			Третья коренная шейка			Третий кривошип			Первая коренная шейка
jкв, °	Rк1, Н	T1, Н	Kрк1, Н	Tк2, Н	Kк2, Н	Rк.ш2, Н	jкв, °	T2, Н	Kрк2, Н	Tк3, Н	Kк3, Н	Rк.ш3, Н	jкв, °	T3, Н	Kрк3, Н	Rк.ш1, Н
13,42678	0	26,85356	0	-26,8536	3,18E-16	2,485268	2,485268	180	6,36E-16	-21,883	1,54E-15	-22,5984	22,59841	540	2,43E-15	0
13,22258	10	26,44516	-2,25948	-26,3485	0,817931	2,22679	2,372258	190	-0,62362	-21,8949	-0,67677	-22,3384	22,34869	550	-0,72991	10
12,63349	20	25,26698	-4,06665	-24,9376	1,397575	1,525997	2,069271	200	-1,2715	-21,8856	-1,34597	-22,1898	22,23062	560	-1,42044	20
11,73701	30	23,47402	-5,07209	-22,9195	1,561262	0,554626	1,656849	210	-1,94957	-21,8102	-2,01278	-21,9763	22,06826	570	-2,076	30
10,67017	40	21,34033	-5,11796	-20,7175	1,245302	-0,43656	1,319606	220	-2,62735	-21,5907	-2,69799	-21,7224	21,88931	580	-2,76863	40
9,616517	50	19,23303	-4,25597	-18,7562	0,511515	-1,20073	1,30514	230	-3,23294	-21,1577	-3,30381	-21,2556	21,51085	590	-3,37469	50
8,791918	60	17,58384	-2,72845	-17,3709	-0,47747	-1,56653	1,637681	240	-3,68339	-20,5039	-3,7403	-20,5629	20,90026	600	-3,79722	60
8,377219	70	16,75444	-0,88991	-16,7308	-1,46712	-1,44151	2,05679	250	-3,82415	-19,6138	-3,85238	-19,6354	20,00973	610	-3,88061	70
8,422245	80	16,84449	0,897109	-16,8206	-2,21494	-0,88443	2,384988	260	-3,53277	-18,5894	-3,51131	-18,5779	18,90682	620	-3,48984	80
8,816977	90	17,63395	2,344928	-17,4773	-2,54369	-0,06671	2,544564	270	-2,74245	-17,6108	-2,64452	-17,5779	17,77571	630	-2,5466	90
9,36941	100	18,73882	3,274359	-18,4505	-2,38455	0,771586	2,506278	280	-1,49474	-16,9074	-1,28973	-16,8776	16,92679	640	-1,08471	100
9,916714	110	19,83343	3,664701	-19,4919	-1,81749	1,400117	2,294256	290	0,029715	-16,6917	0,382434	-16,7077	16,71209	650	0,735153	110
10,36045	120	20,72091	3,590256	-20,4075	-1,03509	1,669017	1,963933	300	1,52007	-17,0695	2,06856	-17,2063	17,33017	660	2,617049	120
10,66545	130	21,3309	3,18522	-21,0917	-0,29497	1,570817	1,598272	310	2,595279	-17,9501	3,391825	-18,3368	18,64783	670	4,18837	130
10,84215	140	21,6843	2,594069	-21,5286	0,160866	1,271933	1,282065	320	2,9158	-18,9847	3,996328	-19,835	20,23353	680	5,076855	140
10,92243	150	21,84486	1,930209	-21,7594	0,08178	1,248835	1,25151	330	2,093769	-19,2617	3,573493	-21,079	21,37979	690	5,053218	150
10,94614	160	21,89228	1,264203	-21,8558	-0,75083	2,823499	2,921625	340	-0,23746	-16,2088	1,911683	-20,5673	20,65591	700	4,060828	160
10,94427	170	21,88854	0,621799	-21,8797	-1,61245	8,158159	8,315982	350	-2,6031	-5,56339	-0,17143	-15,9575	15,95847	710	2,260239	170
10,94151	180	21,88303	6,36E-16	-21,883	-3,7E-15	16,21462	16,21462	360	-6,7E-15	10,54622	-8,4E-16	-8,16091	8,160905	720	4,99E-15	180
10,95188	190	21,90376	-0,62362	-21,8949	5,149668	16,09627	16,89997	370	9,675719	10,29766	3,70812	-8,0254	8,840658	10	-2,25948	190
10,96124	200	21,92248	-1,2715	-21,8856	4,484683	10,40332	11,32879	380	7,697864	-1,07893	1,815606	-13,0083	13,13435	20	-4,06665	200
10,9486	210	21,89721	-1,94957	-21,8102	4,478846	6,863394	8,195501	390	7,008126	-8,08346	0,968019	-15,5015	15,53168	30	-5,07209	210
10,87496	220	21,74993	-2,62735	-21,5907	4,312683	4,810011	6,460297	400	5,998011	-11,9706	0,440026	-16,3441	16,35001	40	-5,11796	220
10,70163	230	21,40326	-3,23294	-21,1577	4,364068	3,567397	5,636614	410	5,495199	-14,0229	0,619615	-16,3896	16,40127	50	-4,25597	230

Продолжение таблицы Г2

10,41607	240	20,83215	-3,68339	-20,5039	4,654343	2,60833	5,335382	420	5,625299	-15,2873	1,448426	-16,3291	16,39318	60	-2,72845	240
9,991567	250	19,98313	-3,82415	-19,6138	4,99698	1,601978	5,247489	430	6,169814	-16,4099	2,63995	-16,5703	16,7793	70	-0,88991	250
9,461074	260	18,92215	-3,53277	-18,5894	5,167038	0,455809	5,187103	440	6,801307	-17,6778	3,849208	-17,2492	17,67347	80	0,897109	260
8,91151	270	17,82302	-2,74245	-17,6108	4,986504	-0,75316	5,043062	450	7,230558	-19,1171	4,787743	-18,2972	18,91324	90	2,344928	270
8,48665	280	16,9733	-1,49474	-16,9074	4,389052	-1,84914	4,762678	460	7,283359	-20,6056	5,278859	-19,5281	20,229	100	3,274359	280
8,345855	290	16,69171	0,029715	-16,6917	3,443617	-2,64325	4,341116	470	6,916948	-21,9782	5,290825	-20,7351	21,39942	110	3,664701	290
8,568509	300	17,13702	1,52007	-17,0695	2,192337	-2,86717	3,609294	480	5,904745	-22,8038	4,747501	-21,6057	22,1211	120	3,590256	300
9,06838	310	18,13676	2,595279	-17,9501	1,185051	-2,80075	3,041145	490	4,965382	-23,5516	4,075301	-22,3217	22,69065	130	3,18522	310
9,603659	320	19,20732	2,9158	-18,9847	0,5033	-2,51068	2,560628	500	3,9224	-24,0061	3,258235	-22,7673	22,99928	140	2,594069	320
9,687604	330	19,37521	2,093769	-19,2617	0,388189	-2,48306	2,51322	510	2,870147	-24,2279	2,400178	-22,9936	23,11857	150	1,930209	330
8,105247	340	16,21049	-0,23746	-16,2088	1,050096	-4,04626	4,180305	520	1,862731	-24,3013	1,563467	-23,0785	23,13141	160	1,264203	340
3,071132	350	6,142263	-2,6031	-5,56339	1,729467	-9,13474	9,297022	530	0,855831	-23,8329	0,738815	-22,8563	22,86823	170	0,621799	350
5,273109	360	10,54622	-6,7E-15	10,54622	4,55E-15	-16,93	16,93	540	2,43E-15	-23,3138	1,54E-15	-22,5984	22,59841	180	6,36E-16	360
7,065077	370	14,13015	9,675719	10,29766	-5,20282	-16,5398	17,33884	550	-0,72991	-22,782	-0,67677	-22,3384	22,34869	190	-0,62362	370
3,886554	380	7,773108	7,697864	-1,07893	-4,55915	-10,7076	11,63779	560	-1,42044	-22,4941	-1,34597	-22,1898	22,23062	200	-1,2715	380
5,34921	390	10,69842	7,008126	-8,08346	-4,54206	-7,02942	8,369174	570	-2,076	-22,1423	-2,01278	-21,9763	22,06826	210	-1,94957	390
6,694628	400	13,38926	5,998011	-11,9706	-4,38332	-4,94176	6,605638	580	-2,76863	-21,8541	-2,69799	-21,7224	21,88931	220	-2,62735	400
7,530583	410	15,06117	5,495199	-14,0229	-4,43495	-3,66534	5,753558	590	-3,37469	-21,3536	-3,30381	-21,2556	21,51085	230	-3,23294	410
8,144699	420	16,2894	5,625299	-15,2873	-4,71126	-2,66726	5,413893	600	-3,79722	-20,6218	-3,7403	-20,5629	20,90026	240	-3,68339	420
8,765698	430	17,5314	6,169814	-16,4099	-5,02521	-1,62356	5,280973	610	-3,88061	-19,657	-3,85238	-19,6354	20,00973	250	-3,82415	430
9,470522	440	18,94104	6,801307	-17,6778	-5,14558	-0,44427	5,16472	620	-3,48984	-18,5664	-3,51131	-18,5779	18,90682	260	-3,53277	440
10,21939	450	20,43878	7,230558	-19,1171	-4,88858	0,786025	4,951367	630	-2,5466	-17,545	-2,64452	-17,5779	17,77571	270	-2,74245	450
10,92749	460	21,85497	7,283359	-20,6056	-4,18403	1,87891	4,586549	640	-1,08471	-16,8478	-1,28973	-16,8776	16,92679	280	-1,49474	460
11,52047	470	23,04094	6,916948	-21,9782	-3,0909	2,627219	4,056591	650	0,735153	-16,7238	0,382434	-16,7077	16,71209	290	0,029715	470
11,77794	480	23,55588	5,904745	-22,8038	-1,64385	2,730365	3,187025	660	2,617049	-17,3431	2,06856	-17,2063	17,33017	300	1,52007	480
12,03468	490	24,06935	4,965382	-23,5516	-0,38851	2,4141	2,445161	670	4,18837	-18,7234	3,391825	-18,3368	18,64783	310	2,595279	490
12,1622	500	24,3244	3,9224	-24,0061	0,577228	1,660436	1,757908	680	5,076855	-20,6852	3,996328	-19,835	20,23353	320	2,9158	500

Продолжение таблицы Г2

12,19864	510	24,39728	2,870147	-24,2279	1,091536	0,665769	1,278553	690	5,053218	-22,8963	3,573493	-21,079	21,37979	330	2,093769	510
12,18628	520	24,37257	1,862731	-24,3013	1,099049	-0,31224	1,142542	700	4,060828	-24,9258	1,911683	-20,5673	20,65591	340	-0,23746	520
11,92412	530	23,84824	0,855831	-23,8329	0,702204	-1,25942	1,441949	710	2,260239	-26,3517	-0,17143	-15,9575	15,95847	350	-2,6031	530
11,6569	540	23,31379	2,43E-15	-23,3138	1,28E-15	-1,77712	1,777119	720	4,99E-15	-26,868	-8,4E-16	-8,16091	8,160905	360	-6,7E-15	540
11,39685	550	22,79369	-0,72991	-22,782	-0,76478	-1,78323	1,940309	10	-2,25948	-26,3485	3,70812	-8,0254	8,840658	370	9,675719	550
11,26945	560	22,53891	-1,42044	-22,4941	-1,32311	-1,22173	1,800902	20	-4,06665	-24,9376	1,815606	-13,0083	13,13435	380	7,697864	560
11,1197	570	22,2394	-2,076	-22,1423	-1,49804	-0,3886	1,547626	30	-5,07209	-22,9195	0,968019	-15,5015	15,53168	390	7,008126	570
11,01441	580	22,02882	-2,76863	-21,8541	-1,17467	0,568305	1,304917	40	-5,11796	-20,7175	0,440026	-16,3441	16,35001	400	5,998011	580
10,80929	590	21,61859	-3,37469	-21,3536	-0,44064	1,298666	1,371384	50	-4,25597	-18,7562	0,619615	-16,3896	16,40127	410	5,495199	590
10,48424	600	20,96847	-3,79722	-20,6218	0,534387	1,625461	1,71105	60	-2,72845	-17,3709	1,448426	-16,3291	16,39318	420	5,625299	600
10,01818	610	20,03636	-3,88061	-19,657	1,495346	1,463092	2,092056	70	-0,88991	-16,7308	2,63995	-16,5703	16,7793	430	6,169814	610
9,445752	620	18,8915	-3,48984	-18,5664	2,193477	0,872891	2,360779	80	0,897109	-16,8206	3,849208	-17,2492	17,67347	440	6,801307	620
8,864442	630	17,72888	-2,5466	-17,545	2,445764	0,033843	2,445998	90	2,344928	-17,4773	4,787743	-18,2972	18,91324	450	7,230558	630
8,441352	640	16,8827	-1,08471	-16,8478	2,179533	-0,80135	2,322182	100	3,274359	-18,4505	5,278859	-19,5281	20,229	460	7,283359	640
8,369951	650	16,7399	0,735153	-16,7238	1,464774	-1,38408	2,015254	110	3,664701	-19,4919	5,290825	-20,7351	21,39942	470	6,916948	650
8,76971	660	17,53942	2,617049	-17,3431	0,486604	-1,53221	1,607625	120	3,590256	-20,4075	4,747501	-21,6057	22,1211	480	5,904745	660
9,593082	670	19,18616	4,18837	-18,7234	-0,50158	-1,18416	1,28601	130	3,18522	-21,0917	4,075301	-22,3217	22,69065	490	4,965382	670
10,64955	680	21,2991	5,076855	-20,6852	-1,24139	-0,42169	1,31106	140	2,594069	-21,5286	3,258235	-22,7673	22,99928	500	3,9224	680
11,72366	690	23,44732	5,053218	-22,8963	-1,5615	0,568455	1,661757	150	1,930209	-21,7594	2,400178	-22,9936	23,11857	510	2,870147	690
12,62719	700	25,25438	4,060828	-24,9258	-1,39831	1,535004	2,076419	160	1,264203	-21,8558	1,563467	-23,0785	23,13141	520	1,862731	700
13,22423	710	26,44846	2,260239	-26,3517	-0,81922	2,236001	2,381349	170	0,621799	-21,8797	0,738815	-22,8563	22,86823	530	0,855831	710
13,43401	720	26,86803	4,99E-15	-26,868	-2,2E-15	2,4925	2,4925	180	6,36E-16	-21,883	1,54E-15	-22,5984	22,59841	540	2,43E-15	720