

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)
Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование кафедры)
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Двигатели внутреннего сгорания
(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Автомобильный бензиновый двигатель с двойным
турбонаддувом

Студент	<u>Д.К. Сунгатов</u> (И.О. Фамилия)	<u></u> (личная подпись)
Руководитель	<u>В.В. Смоленский</u> (И.О. Фамилия)	<u></u> (личная подпись)
Консультанты	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	<u></u> (личная подпись)
	<u></u> (И.О. Фамилия)	<u></u> (личная подпись)
Допустить к защите Заведующий кафедрой	<u>к.т.н., Д.А. Павлов</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u></u> (личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

АННОТАЦИЯ

Целью бакалаврской работы является расчет двигателя для легкового автомобиля, оборудованного системой распределенного впрыска топлива и турбонаддувом, мощностью 66 кВт при частоте вращения коленчатого вала $n=5600 \text{ мин}^{-1}$. Бакалаврская работа состоит из расчетной и графической части. В расчетной части производится тепловой, кинематический, динамический, прочностной расчет, расчет систем 4-цилиндрового 4-х тактного рядного двигателя при $n=5600 \text{ мин}^{-1}$. На основе теплового расчёта проводится расчет его рабочих и конструктивных параметров. В графической части работы приводятся продольный и поперечный разрезы двигателя, внешние скоростные характеристики и тепловой баланс, кинематические и динамические диаграммы, индикаторные диаграммы, турбокомпрессор с системой перепуска .	The aim of the bachelor's work is to calculate the engine for a passenger car equipped with a system of distributed fuel injection and a double turbocharger with a power of 66 kW at a cranking speed of $n = 5600 \text{ rpm}$. Bachelor's work consists of a calculated and graphical part. In the calculation part, the thermal, kinematic, dynamic, strength calculation, calculation of the systems of the 4-cylinder 4-stroke in-line engine at $n = 5600 \text{ min}^{-1}$ is performed. On the basis of thermal calculation, its working and design parameters are calculated. In the graphical part of the work, the longitudinal and transverse sections of the engine, external speed characteristics and heat balance, kinematic and dynamic diagrams, indicator diagrams, turbocharger with bypass system are shown.
---	--

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Тепловой расчет двигателя.....	7
2 Тепловой баланс двигателя.....	19
3 Кинематический расчет.....	21
4 Динамический расчет.....	22
5 Расчет турбокомпрессора.....	28
6 Обзор применяемых технологий турбонадува в ДВС	42
Заключение	51
Список использованных источников.....	52
Приложение А	54
Приложение Б	75
Приложение В	88

ВВЕДЕНИЕ

Цикл экспериментально-расчетных исследований показал, что при оптимизации степени сжатия, угла опережения зажигания и рабочего объема, замена безнаддувного двигателя на двигатель такой же мощности с наддувом улучшает эксплуатационную топливную экономичность легкового автомобиля на 10..15 %. Предпочтение, отдаваемое турбокомпрессорам, объясняется их малыми габаритами и массой, отсутствием механического привода с устройством отключения агрегата на частичных нагрузках, возможностью использования части энергии отработавших газов, небольшим внешним шумом и относительно невысокой стоимостью. Двигатели ВАЗ вполне могут рассматриваться как перспективные с точки зрения расширения мощностного ряда двигателей, а также для создания автомобилей с пониженными эксплуатационными расходами бензина (и выбросами CO_2).

Главная трудность при реализации наддува бензинового двигателя связана с возникновением детонации, для устранения которой раньше использовалось понижение степени сжатия и угла опережения зажигания, а также обогащение смеси. Сейчас возможности борьбы с детонацией значительно шире.

Поскольку новые технологии создают предпосылки для расширения применимости бензиновых двигателей с наддувом, следовательно, последние имеют будущее. Поэтому, исходя из всего вышесказанного, был спроектирован 4-х тактный бензиновый двигатель с двойным турбонаддувом для применения в составе с легковым автомобилем.

1 Тепловой расчет двигателя

Проведем тепловой расчет по методике Вибе [7] для частоты вращения коленчатого вала: $n_{\min} = 800 \text{ мин}^{-1}$, $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, $n_M = 3200 \text{ мин}^{-1}$, $n_N = 5000 \text{ мин}^{-1}$, $n_{\max} = 6000 \text{ мин}^{-1}$.

Топливо

Степень сжатия при использовании наддува понижается относительно базовой, и ее величина определяется по формуле:

$$\varepsilon_n = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{10 \cdot P_k}} = \frac{10,5}{\sqrt{10 \cdot 0,125}} = 10 \quad (1.1)$$

Средний элементарный состав и молекулярная масса топлива: $C = 0,855$; $H = 0,145$ и $M_T = 115 \text{ кг/кмоль}$.

Низшая теплота сгорания топлива:

$$H_u = 33,91C + 125,6H - 10,89(O - S) - 2,51 \cdot (9H + W); \text{ кДж/кг} \quad (1.2)$$
$$H_u = 33,91 \cdot 0,855 + 125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43930 \text{ кДж/кг}.$$

Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,516 \text{ кмоль возд/кг топл;} \quad (1.3)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) = 14,957 \text{ кг возд/кг топл.} \quad (1.4)$$

Коэффициент избытка воздуха на всех режимах $\alpha = 1$.

Количество горючей смеси:

$$M_1 = \alpha L_0 + l/m_T = 0,5247 \text{ кмоль гор. см/кг топл.} \quad (1.5)$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при $K = 0,5$:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 = 0,0713 \text{ кмоль } CO_2/\text{кг топл;} \quad (1.6)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 = 0,0725 \text{ кмоль } H_2O/\text{кг топл;} \quad (1.7)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 = 0,4087 \text{ кмоль } N_2/\text{кг топл.} \quad (1.8)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = 0,5524 \text{ кмоль пр.сг/кг топл.} \quad (1.9)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 = 1,05243 \quad (1.10)$$

Параметры окружающей среды и остаточные газы

Атмосферные условия:

$p_0 = 0,1 \text{ МПа}$ и $T_0 = 293 \text{ К}$.

Давление остаточных газов:

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

где $p_{rN} = 1,18p_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118 \text{ МПа}$; $A_p = (p_{rN} - p_0 \cdot 1,035) 10^8 / (n_N^2 p_0)$.

Результаты расчета параметров окружающей среды и остаточных газов приведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

Плотность воздуха на впуске, кг/м ³	Температура воздуха на впуске, К	Давление на впуске, Мпа	Температура остаточных газов, К	Давление остаточных газов, Мпа	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом					
2,189	293	0,24	1105	0,110	800
2,189	293	0,23	1210	0,113	2000
2,189	293	0,22	1300	0,115	3200
2,189	293	0,24	1330	0,118	5000
2,189	293	0,22	1370	0,120	6000
Двигатель ВАЗ					
1,189	293	0,1	1080	0,109	880
1,189	293	0,1	1161	0,112	2000
1,189	293	0,1	1245	0,114	3200
1,189	293	0,1	1265	0,116	5000
1,189	293	0,1	1305	0,118	5600

Расчет процесса впуска

Температура подогрева свежего заряда на всех скоростных режимах принимается $\Delta T_N = 8^\circ\text{C}$.

Плотность заряда на впуске:

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

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \beta^2 + \xi_{\text{вп}} \lambda_n^2 \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа.} \quad (1.12)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа.} \quad (1.13)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{oc} p_r}{\varepsilon \varphi_{oos} p_a - \varphi_{oc} p_r}, \quad (1.14)$$

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r); \text{ К.} \quad (1.15)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \left(\varphi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \varphi_{оч} \cdot p_r \right) \quad (1.16)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \left[\left(\alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_B} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / \left[1 + \alpha \cdot l_0 \cdot p_a \right] \quad (m^3), \quad (1.17)$$

Расчет процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_o + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (1.18)$$

Таблица 1.2 - Расчет процесса впуска

Дра, Мпа	ра, Мпа	Коэф эффи фици ци- ент очист ки	Ко- эффи- циент доза- рядки	Коэффи- циент остаточ- ных га- зов	Та, К	Коэф- фициент наполне- ния	Va, К	Частота враще- ния, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом								
0,020275	0,089725	0,99	0,9	0,041708	344,4699	0,728776	1,05061	800
0,026054	0,083946	0,94	0,96	0,036777	341,9252	0,736186	1,11679	2000
0,031231	0,078769	0,88	1,05	0,030947	334,8677	0,775829	1,16563	3200
0,0371313	0,072869	0,84	0,97	0,034421	331,3737	0,667776	1,24686	5000
0,041466	0,068534	0,8	0,92	0,03652	332,8754	0,591791	1,33173	6000
Двигатель ВАЗ								
0,005779	0,094221	1	0,85	0,043126	344,4703	0,721787	1,00049	880
0,010275	0,089725	0,94	0,93	0,036289	338,3532	0,770691	1,03394	2000
0,013588	0,086412	0,98	1	0,033797	336,4559	0,804532	1,06756	3200
0,016054	0,083946	0,81	0,95	0,029931	330,4714	0,758778	1,07938	5000
0,019425	0,080575	0,77	0,94	0,029751	330,0071	0,721778	1,12296	5600

Значение показателя политропы сжатия

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (1.19)$$

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{\eta_1} \quad \text{МПа} \quad (1.20)$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{\eta_1 - 1} \quad \text{К} \quad (1.21)$$

Текущий удельный объём, давление и температура рабочего тела при сжатии:

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{\lambda} \right\} - \left\langle \cos \Theta \right\rangle + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2} \left\langle \sin \Theta \right\rangle \right] \right]; \quad (1.22)$$

$$P_y = P_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{\eta_1}; \text{МПа} \quad ; \quad T_y = T_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{\eta_1 - 1}; \text{К} \quad (1.23)$$

Таблица 1.3 - Давление, температура и удельный объём в конце сжатия и воспламенения:

Коэф- фициент молеку- лярного измене- ния	Показа- тель политро- пы сжатия	P_c , МПа	T_c , К	Θ° ПК В	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К	Частота враще- ния, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом								
1,06057	1,3704	2,250885	822,9999	15	0,120855	2,73766	967,4028	900
1,050572	1,37167	2,112198	819,3635	22	0,153412	2,2780	915,0775	2000
1,050858	1,3728	1,987199	804,5864	26	0,179064	2,03085	873,2341	3200
1,050688	1,37517	1,848629	800,6406	29	0,2086996	1,85129	647,9795	5000
1,050585	1,37525	1,738991	804,6256	32	0,242999	1,71139	830,4833	6000
Двигатель ВАЗ								
1,060488	1,37058	2,364652	823,3493	15	0,115161	1,82387	767,5247	880
1,050596	1,372	2,259369	811,433	20	0,134725	1,46960	722,1175	2000
1,050718	1,3728	2,180028	808,4022	23	0,150917	1,26760	697,7188	3200
1,050909	1,37378	2,122703	795,8551	26	0,166039	1,09859	665,2796	5000
1,050917	1,3753	2,044748	797,5824	28	0,182916	0,97744	652,0824	5600

Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_U - 119950 \left(-\alpha \frac{L_o}{L_o} \right)}{H_U}, \quad (1.24)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

$$\xi = \delta * \Psi; \quad (1.25)$$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi * H_u}{\left(1 + \gamma_r \right) \left(\alpha * l_0 + 1 \right)}; \text{ кДж/кг.} \quad (1.26)$$

$$E_2 = \left(0.002 \frac{\varepsilon}{V_a} \right) q_z; \text{ МПа} \quad (1.27)$$

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi \varphi'_1 - \psi \varphi'_2)}{K_{1-2} \psi \varphi'_1 - \psi \varphi'_2}, \quad (1.28)$$

где

$$\psi \varphi'_1 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \varphi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi'} \right) \right]; \quad (1.29)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (1.30)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

$$\Delta\chi_{1-2} = \frac{1}{2} \left[\exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (1.31)$$

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[76.7 - \left(13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (1.32)$$

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} \quad (1.33)$$

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

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (1.34)$$

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

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi \Phi'_2}{P_y \psi \Phi'_2 \mu_{1-2}}, \quad (1.35)$$

где:

$$\Psi \Phi'_2 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (1.36)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos(\varphi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\varphi'))^2} \right]; \quad (1.37)$$

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} - \mu_1 = 1 + \frac{\mu_{0\max} - 1 \left[1 - \exp \left[-6.908 \left(\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right)^{m+1} \right] \right]}{1 + \gamma_r}. \quad (1.38)$$

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

$$\chi = 1 - \exp \left[-6.908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_z} \right)^{m+1} \right]. \quad (1.39)$$

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Коэффициенты термодинамического расчета:

δ	ψ	ξ	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	Продолжительность процесса сгорания, град, пкв	Показатель характера сгорания	Частота вра- щения, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом							
1	0,92	0,92	2098,549	41,946456	42	3.1	800
1	0,94	0,94	2310,212	43,440894	48	3.2	2000
1	0,96	0,96	2590,321	46,66714	54	3.3	3200
1	0,97	0,97	2555,006	43,03215	60	3.4	5000
1	0,99	0,99	2630,187	41,46473	70	3.5	6000
Двигатель ВАЗ							
1	0,81	0,81	2095,696	43,98798	40	3.1	880
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	5000
1	0,93	0,93	2646,799	49,49647	62	3.5	5600

Расчет процессов расширения и выпуска

Степень последующего расширения при V_z

$$\delta = V_a / V_z \quad (1.40)$$

Средний показатель политропы расширения:

$$n_2 = 1 + \frac{8.314}{23.7 + 0.0046 \left(\frac{1}{\delta^{n_1-1}} + 1 \right) \cdot T_z}; \quad (1.41)$$

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа}; \quad (1.42)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К}; \quad (1.43)$$

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры газов :

$$V_{PT} = \frac{V_a}{\varepsilon} \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{1} \cdot \left(\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos \varphi_{PT} \right] \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi_{PT}} \right) \right], \quad (1.44)$$

где φ_{PT} – текущее значение поворота коленчатого вала

$$P_{PT} = P_b \cdot \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2}; \quad (1.45)$$

$$T_{PT} = T_b \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2-1}; \quad (1.46)$$

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} \text{ К} \quad (1.47)$$

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100(T_r - T'_r)}{T_r} \% \quad (1.48)$$

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Расчет процесса расширения и выпуска

$V_z, \text{м}^3$	$T_z, \text{К}$	$P_z, \text{МПа}$	δ	n_2	$P_b, \text{МПа}$	$T_b, \text{К}$	$T_r, \text{К}$	$\Delta, \%$	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом									
0,16606	2605,3	4,553	6,3267	1,1888	0,507	1838	1104,2	-0,065	800
0,171561	2819,93	4,734	6,5096	1,1824	0,517	2004	1207	-0,194	2000
0,189587	3012,81	4,578	6,148	1,1752	0,541	2191	1307,5	0,579	3200
0,22103	2920,74	3,806	5,641	1,1774	0,496	2148	1331	0,081	5000
0,28784	2860,89	2,863	4,6278	1,1779	0,471	2178	1380,9	0,066	6000
Двигатель ВАЗ									
0,1494	2639,83	5,121	6,688	1,188	0,5354	1846,58	1086,178	0,572	880
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	5000
0,2052	2976,31	4,179	5,474	1,175	0,5669	2209,79	1309,556	0,349	5600

Индикаторные показатели рабочего цикла

Теоретическая индикаторная работа цикла рассчитывается по методу трапеций;

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} |V_{2i} - V_{1i}|; \quad (1.49)$$

Расчётное среднее индикаторное давление

$$P_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{V_a}, \quad \text{МПа} \quad (1.50)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_v \cdot H_u} \quad (1.51)$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u} \cdot 10^3, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч} \quad (1.52)$$

Таблица 1.6 - Индикаторные показатели рабочего цикла

Работа цикла, кДж	Индикаторное давление, Мпа	Индикаторная мощность, кВт	Индикаторный КПД	Удельный индикаторный расход топлива, г/кВт*ч	Частота вращения, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом					
1,9854048	2,0366619	21,662446	0,3982229	205,78797	800
2,1065808	2,095157	47,378926	0,4335122	189,03617	2000
2,2406601	2,1764051	1088,820254	0,4418794	185,45667	3200
2,187885	2,0529843	144,768588	0,4595196	178,3373	5000
2,1750886	1,9750105	137,501045	0,480124	170,68399	6000
Двигатель ВАЗ					
1,0012	1,1060343	12,442886	0,4289854	191,03093	880
1,09	1,1651984	37,868947	0,4405874	186,00051	2000
1,1957	1,2379594	57,255621	0,4484105	182,75552	3200
1,224	1,2533459	78,334121	0,4813589	170,24613	5000
1,2406	1,2210353	85,47247	0,4929888	166,22992	5600

Эффективные показатели и параметры двигателя

Средняя скорость поршня:

$$v_n = \frac{Sn}{30}, \text{ м/с} \quad (1.53)$$

Среднее давление механических потерь

$$P_M = 0.034 + 0.0113v, \text{ МПа} \quad (1.54)$$

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа} \quad (1.55)$$

Механический К.П.Д.

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}} \quad (1.56)$$

Эффективный К.П.Д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M \quad (1.57)$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (1.58)$$

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_L \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт} \quad (1.59)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч} \quad (1.60)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.61)$$

Таблица 1.7 - Эффективные показатели двигателя.

$V_{п.ср},$ м/с	$p_m,$ Мпа	$p_e,$ Мпа	η_m	η_e	$g_e,$ г/(кВт.ч)	$N_e,$ кВт	$M_e,$ Н.м	$G_T,$ кг/ч	Частота враще- ния, мин ⁻¹
Двигатель с двойным турбонаддувом									
2,9	0,061176	1,975486	0,940988	0,3747	235,4	30,7	150,2	8,81	800
6,4	0,08828	2,006877	0,919391	0,3985	229,3	81,3	197,3	12,88	2000
10,3	0,13756	2,038845	0,883067	0,3902	243,8	121,3	222,1	20,95	3200
16	0,216408	1,836576	0,794481	0,365	264,3	189,75	192,2	28,06	5000
18	0,23612	1,73889	0,757828	0,3638	278,8	206,4	138,8	32,7	6000
Двигатель с двойным турбонаддувом									
2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	273,3719	11,68	123,99	3,377	880
6,4	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	267,3998	33,96	124,72	9,043	2000
10,3	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	258,8332	50,11	129,3	12,464	3200
16	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	261,652	66,13	126,29	15,336	5000
13,25	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	271,5434	70,49	120,19	17,208	5600

2 Тепловой баланс двигателя

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом:

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (2.1)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (2.2)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{ciD^{1+2m}n^m(H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (2.3)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_o; \quad (2.4)$$

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) \left[M_2 \left[mc_V^{II} \tau_2 + 8.315 t_2 \right] - M_1 \left[mc_V^{II} \tau_1 + 8.315 t_1 \right] \right], \quad (2.5)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_o \quad (2.6)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_o - (Q_e + Q_B + Q_r + Q_{н.с.}), \quad (2.7)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_o \quad (2.8)$$

Таблица 2.1 - Тепловой баланс разрабатываемого двигателя:

Часо- со- вой рас- ход топ- лива, кг/ч	Q_0 , Дж/с	Q_e , Дж/с	q_e , %	Q_B , Дж/с	q_B , %	Q_T , Дж/с	q_T , %	$Q_{н.с.}$, Дж/с	$q_{н.с.}$, %	$Q_{ост.}$, Дж/с	$q_{ост.}$, %	Частота враще- ния, мин ⁻¹
2,4	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1	800
5,2	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5	2000
10,9	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0	3200
16,9	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5	5000
16,6	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6	6000

3 Кинематический расчет

Перемещение поршня:

$$\begin{aligned} S_x &= R \cdot \left(-\cos\varphi + \frac{\lambda}{4} \cdot (-\cos 2\varphi) \right) = \\ &= 35 \cdot \left(-\cos\varphi + \frac{0,285}{4} \cdot (-\cos 2\varphi) \right), \text{ мм.} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Скорость поршня:

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

Ускорение поршня:

$$j = \omega^2 \cdot R \cdot (-\cos\varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi), \text{ м}^2/\text{с} \quad (3.3)$$

4 Динамический расчет

Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма:

- масса поршневой группы (для поршня из алюминиевого сплава принято $m'_п = 100 \text{ кг/м}^2$):

$$m_п = m'_п \cdot F_п = 100 \cdot 0,00418539 = 0,419 \text{ кг} \quad (4.1)$$

- масса шатуна (для стального кованого шатуна принято $m'_ш = 120 \text{ кг/м}^2$

$$m_ш = m'_ш \cdot F_{шш} = 120 \cdot 0,00418539 = 0,502 \text{ кг} \quad (4.2)$$

- масса неуравновешенных частей одного колена вала без противовесов (для литого чугунного вала принято $m'_к = 140 \text{ кг/м}^2$

$$m_к = m'_к \cdot F_п = 140 \cdot 0,00418539 = 0,586 \text{ кг} \quad (4.3)$$

- масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш-п} = 0,275 \cdot m_ш = 0,275 \cdot 0,502 = 0,138 \text{ кг} \quad (4.4)$$

- масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш-к} = 0,725 \cdot m_ш = 0,725 \cdot 0,502 = 0,364 \text{ кг} \quad (4.5)$$

- массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_п + m_{ш-п} = 0,419 + 0,138 = 0,557 \text{ кг} \quad (4.6)$$

- массы, совершающие вращательное движение:

$$m_R = m_k + m_{ш-к} = 0,586 + 0,364 = 0,95 \text{ кг} \quad (4.7)$$

Удельные и полные силы инерции

Значения удельной силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс определяются по формуле:

$$p_j = -j \cdot m_j / F_n = -j \cdot 0,557 \cdot 10^6 / 0,00418539 = -j \cdot 133 \cdot 10^6 \text{ МПа} , \quad (4.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс:

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2 = -0,95 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -11,581 \text{ кН} . \quad (4.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна:

$$K_{Rш} = -m_{ш-к} \cdot R \cdot \omega^2 = -0,364 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -4,438 \text{ кН} \quad (4.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_{Rк} = -m_k \cdot R \cdot \omega^2 = -0,586 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -7,14 \text{ кН} . \quad (4.11)$$

Удельные суммарные силы

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца определяется по формуле:

$$p = \Delta p_r + p_j \quad (4.12)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p \cdot \cos \beta \quad (4.13)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа:

$$p_k = p \cdot \cos \varphi + \beta \cos \beta \quad (4.14)$$

Удельная тангенциальная сила:

$$p_T = p \cdot \sin \varphi + \beta \sin \beta \quad (4.15)$$

Полная тангенциальная сила:

$$T = p_T \cdot F_T = 0,039592 \cdot p_T \quad (4.16)$$

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \cdot \tau} \cdot p_i \cdot F_n = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,336 \cdot 0,0041854 = 890 \text{ Н}; \quad (4.17)$$

Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра рассчитывается по формуле:

$$M_{кр.ц} = T \cdot R = 0,0355 \cdot 10^3 \cdot T \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.18)$$

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

$$\theta = 720/i = 720/4 = 180^\circ. \quad (4.19)$$

Средний крутящий момент двигателя:

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 108,97 / 0,8624 = 126,37 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.20)$$

Действующие силы

Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_K = K + K_{Rш} = 4,438 \text{ кН} \quad (4.21)$$

где $K = p_k \cdot F_n = 0,0041854 \cdot p_k \text{ кН}$.

Результирующая сила $R_{ш.ш.}$, действующая на шатунную шейку, подсчитывается графическим сложением векторов сил T и P_K :

$$R_{ш.ш.} = \sqrt{T^2 + P_K^2} \quad (4.22)$$

Масштаб сил на полярной диаграмме для суммарных сил $M_p = 0,1 \text{ кН в мм}$.

$$R_{ш.ш.ср} = 8,849 \text{ кН}$$

$$R_{ш.ш.макс} = 17,162 \text{ кН}, \quad R_{ш.ш.мин} = 1,154 \text{ кН}$$

Силы, действующие на колено вала

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{P_K} = P_K + K_{R_K} = P_K - 7,14 \quad (4.23)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала

$$\bar{R}_K = \bar{R}_{ш.ш} + \bar{K}_{P_K} \quad (4.24)$$

Силы, действующие на коренные шейки

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2} \quad (4.25)$$

где

$$\begin{aligned} T_{к2} &= -0,5 \cdot \left(T_1 + T_2 \cdot \cos \gamma_{к(-2)} - K_{ркк} \cdot \sin \gamma_{к(-2)} \right) \\ &= -0,5 \cdot \left(T_1 + T_2 \cdot \cos 180 - K_{ркк} \cdot \sin 180 \right) = -0,5 \cdot \left(T_1 - T_2 \right); \\ K_{к2} &= -0,5 \cdot \left(K_{ркк} + T_2 \cdot \sin \gamma_{к(-2)} + K_{ркк} \cdot \cos \gamma_{к(-2)} \right) \\ &= -0,5 \cdot \left(K_{ркк} + T_2 \cdot \sin 180 + K_{ркк} \cdot \cos 180 \right) = -0,5 \cdot \left(K_{ркк} - K_{ркк} \right); \end{aligned} \quad (4.26)$$

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (4.27)$$

где

$$\begin{aligned} T_{к3} &= -0,5 \cdot \left(T_2 + T_3 \cdot \cos \gamma_{к(-3)} - K_{ркк} \cdot \sin \gamma_{к(-3)} \right) \\ &= -0,5 \cdot \left(T_2 + T_3 \cdot \cos 0 - K_{ркк} \cdot \sin 0 \right) = 0,5 \cdot \left(T_2 + T_3 \right); \\ K_{к2} &= -0,5 \cdot \left(K_{ркк} + T_3 \cdot \sin \gamma_{к(-3)} + K_{ркк} \cdot \cos \gamma_{к(-3)} \right) \cdot \cos \gamma_{к(-2)} = \\ &= -0,5 \cdot \left(K_{ркк} + T_3 \cdot \sin 0 + K_{ркк} \cdot \cos 0 \right) \cdot \cos 180 = 0,5 \cdot \left(K_{ркк} + K_{ркк} \right); \end{aligned} \quad (4.28)$$

Расчет сил $R_{к.ш1}$, $R_{к.ш2}$, $R_{к.ш3}$ приведен в таблице приложения.

Уравновешивание

Центробежные силы инерции и их моменты полностью уравновешены:
 $\Sigma K_R = 0; \Sigma K_R = 0.$

Силы инерции первого порядка и их моменты также уравновешены: $\Sigma P_{jI} = 0; \Sigma M_{jI} = 0.$

Силы инерции второго порядка для всех цилиндров направлены в одну сторону:

$$\Sigma P_{jII} = 4P_{jII} = 4 \cdot m_j \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi. \quad (4.29)$$

Установим противовесы на продолжении щек.

$m_R = 0,95$ кг - массы, совершающие вращательное движение.

$K_{Rш} = -4,438$ кН - центробежные силы инерции вращающихся масс шатуна;

$K_{Rк} = -7,14$ кН - центробежные силы инерции вращающихся масс кривошипа;

$$m_{прR} = \frac{- (K_{Rш} + K_{Rк})}{2 \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot N_n}{30}} = \frac{- (-4,438 - 7,14)}{2 \cdot 42 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 5600}{30}} = 0,235 \text{ кг} \quad (4.30)$$

Равномерность крутящего момента и равномерность хода двигателя

Равномерность крутящего момента

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{M_{кр \max} - M_{кр \min}}{M_{кр \text{ ср}}} = \\ &= \frac{110 - 82,47}{126,4} = 3,896. \end{aligned} \quad (4.31)$$

Равномерность хода двигателя принимается равной $\delta = 0,01$.

5 Расчет турбокомпрессора

Расчет компрессора

Рассчитывается радиально-осевой компрессор с лопаточным диффузором, одноступенчатый.

Массовый расход воздуха через двигатель

$$G_B = \frac{\alpha \cdot \varphi_{\Pi} \cdot l_0 \cdot N_e \cdot g_e}{36 \cdot 10^5}, \quad (5.1)$$

$$G_B = \frac{1 \cdot 1,18 \cdot 14,975 \cdot 45,0 \cdot 226}{36 \cdot 10^5} = 0,05 \text{ кг/с}. \quad (5.2)$$

Плотность воздуха на входе в компрессор

$$\rho_0 = \frac{p_0 \cdot 10^6}{R_B \cdot T_0} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{287 \cdot 293} = 1,19 \text{ кг/м}^3, \quad (5.3)$$

Объемный расход воздуха через компрессор

$$Q_B = \frac{G_B}{\rho_0} = \frac{0,05}{1,19} = 0,042 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.4)$$

Расчет входного устройства и рабочего колеса компрессора

Температура воздуха на входе в подводящий патрубок:

$$T_{авх} = T_0 = 293 \text{ К}$$

Давление воздуха в сечении $a_{вх} - a_{вх}$:

$$P_{авх} = p_0 - \Delta p_{вс}, \quad (5.5)$$

$$p_{авх} = 0,1 - 0,005 = 0,095 \text{ МПа}.$$

Степень повышения давления воздуха в компрессоре:

$$\pi_k = \frac{p_k}{p_{a_{BX}}} = \frac{0,2}{0,095} = 1,216. \quad (5.6)$$

Определим типоразмер турбокомпрессора – ТКР – 3,5 а также базовый диаметр колеса компрессора - $D_2 = 0,035 \text{ м} = 35 \text{ мм}$.

Коэффициент напора $H_{АД.К}$:

$$H_{АД.К} = L_{АД.К} / u_2^2, \quad (5.7)$$

Адиабатическая работа сжатия в компрессоре:

$$L_{АД.К} = \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot T_{a_{BX}} \left(\pi_K^{k-1/k} - 1 \right), \quad (5.8)$$

$$L_{АД.К} = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 \cdot 293 \cdot \left(1,316^{1,4-1/1,4} - 1 \right) = 24021 \text{ Дж/кг}. \quad (5.9)$$

Окружная скорость на наружном диаметре колеса компрессора:

$$u_2 = \sqrt{L_{АД.К} / H_{АД.К}} = \sqrt{24021 / 0,58} = 203,5 \text{ м/с}. \quad (5.10)$$

Частота вращения колеса компрессора:

$$n_K = 60 \cdot u_2 / (\pi \cdot D_2) = 60 \cdot 203,5 / (3,14 \cdot 0,035) = 70700 \text{ об/мин}. \quad (5.11)$$

Температура воздуха на входе в колесо компрессора:

$$T_1 = T_{a_{BX}} + \frac{c_{a_{BX}}^2 - c_1^2}{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R_B} = 293 + \frac{40^2 - 80^2}{2 \cdot \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287} = 290 \text{ К}. \quad (5.12)$$

Потери в воздухоподводящем патрубке компрессора:

$$L_{i_{BX}} = \xi_{BX} \cdot c_1^2 / 2 = 0,04 \cdot 80^2 / 2 = 128 \text{ Дж/кг} . \quad (5.13)$$

Показатель политропы n_{BX} на участке входа воздуха в компрессор:

$$\frac{n_{BX}}{n_{BX} - 1} = \frac{k}{k - 1} - \frac{L_{i_{BX}}}{R_B (T_1 - T_{a_{BX}})} = \frac{1,4}{1,4 - 1} - \frac{128}{287 (290 - 293)} = 3,65, \quad (5.14)$$

откуда $n_{BX} = 1,378$.

Давление перед колесом компрессора:

$$p_1 = p_{a_{BX}} (T_1 / T_{a_{BX}})^{n_{BX} / n_{BX} - 1} = 0,095 \cdot (290 / 293)^{1,378 / (1,378 - 1)} = 0,0915 \text{ МПа} \quad (5.15)$$

Плотность воздуха во входном сечении:

$$\rho_1 = p_1 \cdot 10^6 / (R_B \cdot T_1) = 0,0915 \cdot 10^6 / (287 \cdot 290) = 1,1 \text{ кг/м}^3 \quad (5.16)$$

Площадь входного сечения:

$$F_1 = G_B / (\rho_1 \cdot c_1) = 0,05 / (1,1 \cdot 80) = 0,0006 \text{ м}^2 \quad (5.17)$$

Диаметр рабочего колеса на входе в компрессор:

$$D_1 = \sqrt{F_1 / (0,785 \cdot (1 - (D_0 / D_1)^2))}, \quad (5.18)$$

$$D_1 = \sqrt{0,0006 / (0,785 \cdot (1 - 0,3^2))} = 0,03 \text{ м} = 30 \text{ мм} .$$

Диаметр втулки рабочего колеса компрессора:

$$D_0 = D_1 \cdot \frac{D_0}{D_1} = 0,03 \cdot 0,3 = 0,009 \text{ м} = 9 \text{ мм.} \quad (5.19)$$

Относительный диаметр втулки рабочего колеса:

$$\bar{D}_0 = D_0 / D_2 = 0,009 / 0,055 = 0,164. \quad (5.20)$$

Относительный диаметр колеса на входе:

$$\bar{D}_1 = D_1 / D_2 = 0,03 / 0,055 = 0,545. \quad (5.21)$$

Относительный средний диаметр на входе в колесо:

$$\bar{D}_{1cc} = \sqrt{(\bar{D}_0^2 + \bar{D}_1^2) / 2} = \sqrt{(0,164^2 + 0,545^2) / 2} = 0,4. \quad (5.22)$$

Коэффициент мощности:

$$\mu = 1 / \left[1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{z_K} \cdot \frac{1}{(1 - \bar{D}_{1cp}^2)} \right], \quad (5.23)$$

$$\mu = 1 / \left[1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{3,14}{12} \cdot \frac{1}{(1 - 0,4^2)} \right] = 0,828.$$

Окружная составляющая абсолютной скорости на выходе из колеса:

$$c_{2u} = \mu \cdot u_2 = 0,828 \cdot 203,5 = 168,5 \text{ м/с.} \quad (5.24)$$

Радиальная составляющая c_{2r} абсолютной скорости:

$$c_{2r} = 0,3 \cdot 203,5 = 61,05 \text{ м/с} \quad (5.25)$$

Абсолютная скорость воздуха на выходе из колеса; определяется из треугольника скоростей:

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2r}^2} = \sqrt{168,5^2 + 61,05^2} = 179 \text{ м/с}. \quad (5.26)$$

Температура воздуха на выходе из рабочего колеса:

$$T_2 = T_1 + \left(\eta + \alpha_f - \mu^2/2 \right) u_2^2 / c_p, \quad (5.27)$$

$$T_2 = 290 + \left(0,828 + 0,06 - 0,828^2/2 \right) 203,5^2 / 1004,5 = 312,5 \text{ К} \quad (5.28)$$

Давление на выходе из колеса:

$$p_2 = p_1 \cdot \left(T_2 / T_1 \right)^{n_k / n_k - 1} = 0,0915 \cdot \left(312,5 / 290 \right)^{4/1,4 - 1} = 0,119 \text{ МПа}. \quad (5.29)$$

Плотность воздуха за рабочим колесом:

$$\rho_2 = p_2 \cdot 10^6 / (R_B \cdot T_2) = 0,119 \cdot 10^6 / (287 \cdot 312,5) = 1,327 \text{ кг/м}^3 \quad (5.30)$$

Высота лопаток рабочего колеса на диаметре D_2 :

$$b_2 = G_B / (\pi \cdot D_2 \cdot c_{2r} \cdot \rho_2) = 0,05 / (3,14 \cdot 0,055 \cdot 61,05 \cdot 1,327) = 0,0035 \text{ м} = 3,5 \text{ мм} \quad (5.31)$$

Ширина колеса компрессора:

$$\bar{B} = B/D_2, \quad (5.32)$$

Принимается $\bar{B} = 0,35$ м.

$$B = 0,35 \cdot 0,055 = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм}.$$

Расчет диффузоров и воздухоборника

Ширина безлопаточной части диффузора:

$$b_3 = b_2 = 0,0035 \text{ м} = 3,5 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр безлопаточного диффузора:

$$D_3 = D_2 \cdot \bar{D}_3, \quad (5.33)$$

$$D_3 = 0,055 \cdot 1,14 = 0,063 \text{ м} = 63 \text{ мм}.$$

Абсолютная скорость на выходе из безлопаточного диффузора:

$$c_3 = \frac{c_2}{D_3} \cdot \frac{b_2}{b_3} = \frac{179}{1,14} \cdot \frac{0,0035}{0,0035} = 157 \text{ м/с}. \quad (5.34)$$

Давление за лопаточным диффузором:

$$p_4 = p_{a_{\text{вх}}} \cdot \pi_k = 0,095 \cdot 1,316 = 0,125 \text{ МПа}. \quad (5.35)$$

Температура воздуха за лопаточным диффузором:

$$T_4 = T_2 \cdot \left(\frac{p_4}{p_2} \right)^{\frac{1}{\gamma_{\text{д}} - 1}} = 312,5 \cdot \left(\frac{0,125}{0,119} \right)^{\frac{1}{1,8 - 1}} = 319,4 \text{ К}. \quad (5.36)$$

Скорость воздушного потока на выходе из лопаточного диффузора

$$c_4 = \sqrt{c_2^2 - (T_4 - T_2) \cdot 2 \cdot c_p} = \sqrt{179^2 - (19,4 - 312,5) \cdot 2 \cdot 1004,5} = 135 \text{ м/с}. \quad (5.37)$$

Ширина лопаточного диффузора на выходе:

$$b_4 = b_3 + (D_4 - D_3) \cdot \operatorname{tg} \nu / 2 = 0,0035 + (0,077 - 0,063) \cdot \operatorname{tg} 5^\circ / 2 = 0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм} \quad (5.38)$$

Потери в воздухооборнике (улитке):

$$L_{\text{рул}} = \xi_{\text{ул}} \cdot c_4^2 / 2, \quad (5.39)$$

где $\xi_{\text{ул}}$ – коэффициент потерь в улитке. $\xi_{\text{ул}} = 0,1 - 0,3$; в расчете принимается $\xi_{\text{ул}} = 0,25$

$$L_{\text{рул}} = 0,25 \cdot 135^2 / 2 = 2278 \text{ Дж/кг}. \quad (5.40)$$

Давление на выходе из улитки:

$$p_5 = p_4 \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{рул}}}{R_B \cdot T_5} \cdot \frac{k-1}{k} \right)^{k/k-1} = 0,125 \cdot \left(1 - \frac{2278}{287 \cdot 319,4} \cdot \frac{1,4-1}{1,4} \right)^{1,4/1,4-1} = 0,122 \text{ МПа} \quad (5.41)$$

Расчет основных параметров компрессора

Конечное давление $p_5 = 0,122$ МПа на выходе из компрессора отличается от принятого $p_k = 0,125$ на 2,5%, что допустимо.

Действительная степень повышения давления в компрессоре

$$\pi_k = p_5 / p_{a_{BX}} = 0,122 / 0,095 = 1,29. \quad (5.42)$$

Адиабатический к.п.д. компрессора

$$\begin{aligned} \eta_{\text{АД.К}} &= T_0 \cdot \left(\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) / (T_5 - T_0) = \\ &= 293 \cdot \left(1,29^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) / (319,4 - 293) = 0,838 \end{aligned} \quad (5.43)$$

Адиабатическая работа:

$$\begin{aligned} L_{\text{АД.К}} &= \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot T_{a_{BX}} \cdot \left(\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = \\ &= \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 \cdot 293 \cdot \left(1,29^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1 \right) = 22211 \text{ Дж/кг} \end{aligned} \quad (5.44)$$

Коэффициент напора

$$H_{\text{АД.К}} = L_{\text{АД.К}} / u_2^2 = 22211 / 203,5^2 = 0,55. \quad (5.45)$$

Мощность, затрачиваемая на привод компрессора

$$\begin{aligned} N_k &= L_{\text{АД.К}} \cdot G_B / 1000 \cdot \eta_{\text{АД.К}} = \\ &= 22211 \cdot 0,05 / 1000 \cdot 0,838 = 1,33 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (5.46)$$

Расчет газовой турбины

Количество отработавших газов, поступающих на турбину от двигателя:

$$G_{\Gamma} = G_B \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha \cdot \varphi_{\Pi} \cdot l_0}\right) = 0,05 \cdot \left(1 + \frac{1}{1,1,18 \cdot 14,957}\right) = 0,053 \text{ кг/с} . \quad (5.47)$$

Давление газа в выпускном патрубке принимается

$$p_p = 0,9 \cdot p_K = 0,9 \cdot 0,122 = 0,11 \text{ МПа} . \quad (5.48)$$

Температура газа перед турбиной; $T_r = 1080 \text{ К}$

Молекулярная масса газа перед турбиной

$$\mu_{\Gamma} = \mu_B \cdot \frac{1 + \alpha \cdot \varphi_{\Pi} \cdot l_0}{\mu_0 \cdot \alpha \cdot \varphi_{\Pi} \cdot l_0} = 28,96 \cdot \frac{1 + 1,1,18 \cdot 14,957}{1,0524 \cdot 1,1,18 \cdot 14,957} = 29,08 \text{ кг/кмоль} \quad (5.49)$$

Газовая постоянная выпускных газов:

$$R_{\Gamma} = R / \mu_{\Gamma} = 8315 / 29,08 = 285,94 \text{ Дж/}^{\circ}\text{К} . \quad (5.50)$$

Давление газа перед турбиной:

$$p_T = p_2 / \left(1 - \frac{\frac{k_{\Gamma} - 1}{k_{\Gamma}} \cdot L_{\text{АД.К}} \cdot G_B}{\eta_T \cdot \eta_{\text{АД.К}} \cdot R_{\Gamma} \cdot T_T \cdot G_{\Gamma}}\right)^{k_{\Gamma} / (k_{\Gamma} - 1)} = \quad (5.51)$$

$$= 0,103 / \left(1 - \frac{\frac{1,34 - 1}{1,34} \cdot 22211 \cdot 0,05}{0,76 \cdot 0,838 \cdot 285,94 \cdot 1080 \cdot 0,053}\right)^{1,34 / (1,34 - 1)} = 0,115 \text{ МПа} .$$

Отношение $p_K / p_T = 0,122 / 0,115 = 1,06$; для четырехтактных двигателей $p_K / p_T = 1,0 - 1,2$.

Расчет направляющего аппарата (сопла)

Полная адиабатическая работа расширения газа в турбине

$$\begin{aligned} L_{\text{АД.Т}} &= L_{\text{АД.К}} \cdot G_{\text{В}} / (\epsilon_{\text{Т}} \cdot \eta_{\text{АД.К}} \cdot G_{\text{Г}}) \\ &= 22211 \cdot 0,05 / (0,76 \cdot 0,838 \cdot 0,053) = 32900 \text{ Дж/кг} \end{aligned} \quad (5.52)$$

Адиабатическая работа расширения в направляющем аппарате

$$L_{\text{с}} = (\epsilon_{\text{Т}} - \rho_{\text{Т}}) L_{\text{АД.Т}} = (0,50) 32900 = 16450 \text{ Дж/кг} \quad (5.53)$$

Абсолютная скорость газа перед рабочим колесом

$$c_1 = \varphi_{\text{с}} \cdot \sqrt{2 \cdot L_{\text{с}}}, \quad (5.54)$$

$$c_1 = 0,94 \cdot \sqrt{2 \cdot 16450} = 170,5 \text{ м/с} \quad (5.55)$$

Температура газа за направляющим аппаратом

$$T_1 = T_{\text{Т}} - \frac{c_1^2}{2 \cdot k_{\text{Г}} \cdot R_{\text{Г}} / (\epsilon_{\text{Г}} - 1)} = 1080 - \frac{170,5^2}{2 \cdot 1,34 \cdot 285,94 / (1,34 - 1)} = 1067 \text{ К}. \quad (5.56)$$

Характер течения газа в проточной части направляющего аппарата турбины определяется числом Маха:

$$M_1 = c_1 / a_1 = c_1 / \sqrt{k_{\text{Г}} \cdot R_{\text{Г}} \cdot T_1}, \quad (5.57)$$

где a_1 – скорость звука.

$$M_1 = 170,5 / \sqrt{1,34 \cdot 285,94 \cdot 1067} = 0,267.$$

Зададимся величиной угла α_1 выхода газового потока из направляющего аппарата. В расчетах принимается $\alpha_1 = 20^\circ$.

$$c_{1r} = c_1 \cdot \sin \alpha_1 = 170,5 \cdot \sin 20^\circ = 58,3 \text{ м/с}$$

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 = 170,5 \cdot \cos 20^\circ = 160,2 \text{ м/с}$$

Окружная скорость на наружном диаметре колеса:

$$\chi = u_1 / c_{\text{АД}}, \quad (5.58)$$

где $c_{\text{АД}}$ – условная адиабатическая скорость истечения газа

$$c_{\text{АД}} = \sqrt{2 \cdot L_{\text{АД.Т}}} = \sqrt{2 \cdot 32900} = 256,5 \text{ м/с} \quad (5.59)$$

В расчете принимается $u_1 = 175 \text{ м/с}$. Параметр быстроходности при этом будет составлять

$$\chi = 175 / 256 = 0,684. \quad (5.60)$$

Угол входа потока на лопатки рабочего колеса:

$$\beta_1 = 90^\circ + \arctg \frac{u_1 - c_{1u}}{c_{1r}} = 90^\circ + \arctg \frac{175 - 160,2}{58,3} = 104^\circ \quad (5.61)$$

Относительная скорость потока

$$\omega_1 = c_{1r} / \sin \beta_1 = 58,3 / \sin 104^\circ = 60 \text{ м/с} \quad (5.62)$$

Наружный диаметр рабочего колеса:

$$D_1 = 60 \cdot u_1 / \pi \cdot n_T = 60 \cdot 175 / 3,14 \cdot 70700 = 0,05 \text{ м} = 50 \text{ мм} . \quad (5.63)$$

Входной диаметр направляющего аппарата в расчетах принимается равным $D_0 = 60 \text{ мм}$.

Потери энергии в направляющем аппарате:

$$\Delta L_c = \left(\frac{1}{\varphi_c^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2} = \left(\frac{1}{0,94^2} - 1 \right) \cdot \frac{170,5^2}{2} = 1914 \text{ Дж/кг} . \quad (5.64)$$

Показатель политропы расширения в направляющем аппарате:

$$\frac{n_c}{n_c - 1} = \frac{k}{k - 1} + \frac{L_c}{R_T \cdot (T_T - T_1)} = \frac{1,34}{1,34 - 1} + \frac{1914}{285,94 \cdot (1080 - 1067)} = 4,456$$

$$n_c = 1,29 \quad (5.65)$$

Давление газа на выходе из направляющего аппарата:

$$p_1 = p_T \cdot (T_1 / T_T)^{n_c / (n_c - 1)} = 0,115 \cdot (1067 / 1080)^{4,456} = 0,109 \text{ МПа} \quad (5.66)$$

Плотность газового потока на выходе из направляющего аппарата:

$$\rho_1 = p_1 \cdot 10^6 / (R_T \cdot T_1) = 0,109 \cdot 10^6 / (285,94 \cdot 1067) = 0,357 \text{ кг/м}^3 \quad (5.67)$$

Ширина лопаток направляющего аппарата:

$$b'_1 = \frac{G_T}{\pi \cdot D_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot \sin \alpha_1} = \frac{0,053}{3,14 \cdot 0,05 \cdot 0,357 \cdot 170,5 \cdot \sin 20^\circ} = 0,016 \text{ м} = 16 \text{ мм} \quad (5.68)$$

Расчет рабочего колеса

Величина адиабатической работы расширения газа в колесе турбины определяется степенью ее реактивности:

$$L_{pk} = \rho_T \cdot L_{Ad.T} = 0,5 \cdot 32900 = 16450 \text{ Дж/кг} . \quad (5.69)$$

Относительная средняя скорость газа на выходе из рабочего колеса

$$\omega_2 = \psi \cdot \sqrt{\omega_1^2 + 2 \cdot L_{pk} - u_1^2 \cdot (1 - \bar{D}_{2cp}^2)} , \quad (5.70)$$

$\bar{D}_{2cp}$ - относительный среднеквадратичный диаметр колеса на выходе:

$$\bar{D}_{2cp} = D_{2cp} / D_1 = 0,0258 / 0,05 = 0,516 . \quad (5.71)$$

$$\omega_2 = 0,82 \cdot \sqrt{60^2 + 2 \cdot 16450 - 175^2 \cdot (1 - 0,516^2)} = 97 \text{ м/с}$$

Окружная скорость на диаметре D_{2cp}

$$u_{2cp} = \pi \cdot D_{2cp} \cdot n_T / 60 = 3,14 \cdot 0,0258 \cdot 70700 / 60 = 95,5 \text{ м/с} . \quad (5.72)$$

Считая выход потока газа осевым ($c_2 = c_{2a}$), из треугольника скоростей находим величину абсолютной скорости на выходе из колеса:

$$c_2 = \sqrt{\omega_2^2 - u_{2cp}^2} = \sqrt{97^2 - 95,5^2} = 17 \text{ м/с} . \quad (5.73)$$

Температура газа на выходе из колеса:

$$T_2 = T_1 - \frac{1}{k_r \cdot R_{\Gamma} / (\kappa_r - 1)} \left[(\kappa - \alpha_f) u_1^2 - \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right] =$$

$$= 1067 - \frac{1}{1,34 \cdot 285,94 / (1,34 - 1)} \left[(1 - 0,06) 175^2 - \frac{170,5^2 - 17^2}{2} \right] = 1054 \text{ K} \quad (5.74)$$

Адиабатический к.п.д. турбины без учета потерь с выходной скоростью:

$$\eta'_{\text{АД.Т}} = \frac{T_T - T_2}{T_T \cdot (1 - (\kappa_2 / p_T)^{(\kappa - 1) / \kappa_r})} = \frac{1080 - 1054}{1080 \cdot (1 - (0,103 / 0,115)^{1,34 - 1})} = 0,87$$

Адиабатический к.п.д. турбины с учетом потерь с выходной скоростью:

$$\eta_{\text{АД.Т}} = \eta'_{\text{АД.Т}} - \frac{c_2^2}{2 \cdot L_{\text{АД.Т}}} = 0,87 - \frac{17^2}{2 \cdot 32900} = 0,865 \quad (5.75)$$

Общий к.п.д. турбины определяется с учетом всех гидравлических и механических потерь:

$$\eta_T = \eta_{\text{АД.Т}} \cdot \eta_{\text{ТК.МЕХ}}, \quad (5.76)$$

$$\eta_T = 0,865 \cdot 0,88 = 0,76$$

Мощность, развиваемая турбиной:

$$N_T = L_{\text{АД.Т}} \cdot G_{\Gamma} \cdot \eta_T / 1000 = 32900 \cdot 0,053 \cdot 0,76 / 1000 = 1,33 \text{ кВт}, \quad (5.77)$$

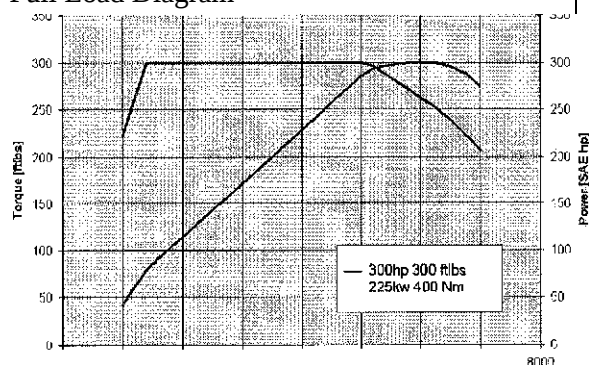
6 Обзор применяемых технологий турбонадува в ДВС

BMW High Precision Fuel Injection in Conjunction with Twin-Turbo Technology: a Combination for Maximum Dynamic and High Fuel Efficiency

1 Introduction

With the new model 335i BMW presented a totally new turbocharged six-cylinder engine. Developing maximum output of 300 hp and peak torque of 300 lb-ft, this new engine offers the highest standard of spontaneous and superior power and performance. The first straight-six with twin turbochargers, High Precision Fuel Injection and an all-aluminum crankcase offer a level of responsiveness never seen before on a turbocharged engine as well as supreme power and torque extending all the way to high engine speeds. A further benefit of this new turbocharged power unit is the running smoothness typical of a BMW straight-six. Particular efficiency in achieving this supreme power is ensured by the High Precision Fuel Injection, the second generation of direct gasoline injection making a significant contribution to the enhanced economy of the Twin-Turbo power unit. Fig. 1 gives an overview over the power and torque curves of the new Twin Turbo six-cylinder engine. [1]

Full Load Diagram



0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 Engine Speed [rpm]

Fig. 1: Engine data of the new Twin Turbo engine.

TURBO CHARGING SYSTEM

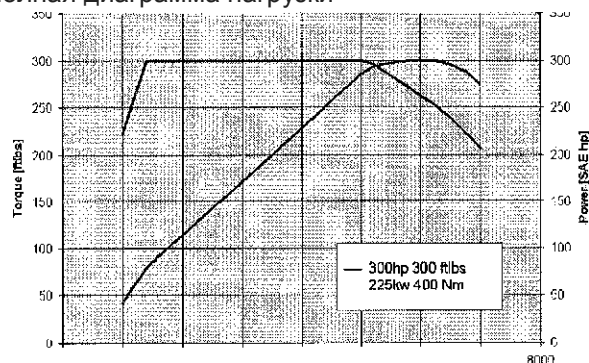
The development of the charging system was focused on an excellent power characteristic over a wide engine speed range and a brilliant re-

Превосходное впрыск топлива BMW в сочетании с технологией Twin Turbo: сочетание для максимальной динамической и высокой топливной эффективности

1. Введение

С новой моделью 335i BMW представил совершенно новый шестицилиндровый двигатель с турбонаддувом. Развивая максимальную мощность 300 л.с. и максимальный крутящий момент 300 фунтов на квадратный дюйм, этот новый двигатель предлагает самый высокий уровень спонтанной и превосходной мощности и производительности. Первые прямые шестерни с двойными турбокомпрессорами, высокоточным впрыском топлива и полностью алюминиевым картером обеспечивают уровень скорости реагирования, который никогда не наблюдался на двигателе с турбонаддувом, а также максимальная мощность и крутящий момент, вплоть до высоких оборотов двигателя. Еще одним преимуществом этого нового силового агрегата с турбонаддувом является плавность хода, характерная для BMW прямо-шесть. Особая эффективность в достижении этой верховной власти обеспечивается высокоточному впрыску топлива, второе поколение прямого впрыска бензина делает значительный вклад в улучшенную экономичность силового агрегата Twin Turbo. Инжир. 1 приведен обзор кривых мощности и крутящего момента нового шестицилиндрового двигателя Twin Turbo. [1]

Полная диаграмма нагрузки



0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 Частота вращения двигателя [об / мин]

ЗАРЯДНАЯ СИСТЕМА TURBO

Разработка системы зарядки была сфокусирована на превосходной характеристике мощности в широком диапазоне оборотов двигателя и блестящем ответе на водителя без ранее известного «турбо-зазора». Эти требования привели к разработке системы, кото-

sponse to the driver without the previously known "turbo gap." These demands led to a system design which bases on two small turbo charging units, each powered by the exhaust gas of a group of three cylinders. An intercooler reduces the temperature of the compressed gas which leads to an even higher charge mass and a further reduced knocking problem. Fig. 3 gives an overview over the system showing sensors and actors.

RESPONSE

The most important effect of using two small chargers instead of one larger one is the reduced moment of inertia of the smaller units. With the exhaust manifold being optimized regarding flow efficiency into the turbine the whole exhaust concept leads to a very high response. Fig. 4 shows a comparison of the new Twin Turbo with Mono Turbo concepts. It is obvious that only the Twin Turbo is able to combine high specific power output with the response comparable to a naturally aspirated engine.

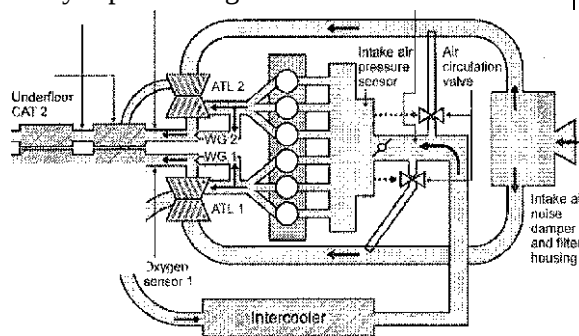


Fig.3: System overview of the charging system

WASTEGATE CONCEPT

To control the boost pressure in any operating condition the new Twin Turbo engine uses two wastegate valves actuated by vacuum (fig. 5). This is an important difference to other wastegate systems. Using vacuum it is possible to open and close the wastegate valves independently from the current boost pressure.

This feature is consequently used to improve the response and the fuel efficiency. At low engine speed and load the wastegates are predominantly closed to maintain a certain rotation of the turbine. This strategy ensures a spontaneous speedup of the turbine when higher torque is requested. Fig. 6 shows the effect of the wastegate position on the response. With closed wastegates

рая основывается на двух небольших турбонагнетательных устройствах, каждый из которых питается отработавшим газом группы из трех цилиндров. Интеркулер уменьшает температуру сжатого газа, что приводит к еще большей массе заряда и еще одной уменьшенной проблеме детонации. Инжир. 3 дается обзор системы, показывающей датчики и актеры. ОТВЕТ

Наиболее важным эффектом использования двух небольших зарядных устройств вместо одного большего является уменьшенный момент инерции меньших единиц. Благодаря тому, что выпускной коллектор оптимизирован в отношении эффективности потока в турбину, вся концепция выхлопа приводит к очень высокому отклику. Инжир. 4 показано сравнение новых концепций Twin Turbo с Mono Turbo. Очевидно, что только Twin Turbo способен сочетать высокую удельную мощность с ответом, сопоставимым с атмосферным двигателем.

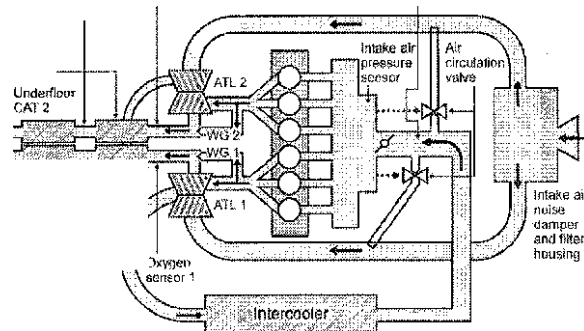


Рис.3: Обзор системы зарядки

КОНЦЕПЦИЯ ОТХОДОВ

Для управления давлением наддува в любых рабочих условиях новый двигатель Twin Turbo использует два клапана сброса давления, приводимые в действие вакуумом (рис.5). Это важное отличие от других систем канализации. Используя вакуум, можно открывать и закрывать клапаны для отработанных газов независимо от текущего давления наддува.

Эта функция, следовательно, используется для улучшения реакции и эффективности использования топлива. При низкой частоте вращения двигателя и нагрузке отработанные газы преимущественно закрыты для поддержания определенного вращения турбины. Эта стратегия обеспечивает спонтанное ускорение турбины при запросе более высокого крутящего момента. Инжир. На фиг.6 показано влияние положения отработанного газа на ответ. При закрытых шлангах давление наддува устанавливается значительно быстрее при открытии дроссельной заслонки. Поэтому двигатель способен быстрее запросить требуемый крутящий момент.

При средней нагрузке двигателя регулируется

the boost pressure is established significantly quicker when the throttle valve is opened. Therefore the engine is able to produce the requested torque more quickly.

At mid-range engine load a different wastegate position is adjusted: In order to reduce the fuel consumption the wastegates are partly opened to avoid undesired power loss by the turbine. Closing the wastegates at part load leads to a higher boost pressure, which has to be reduced by the throttle valve. Therefore the efficiency of the gas exchange process is reduced, when the wastegates are closed. The benefit of opening the wastegates partly is shown in fig. 7 for an engine running at 3000 rpm. At low engine load closed wastegates lead to only slightly higher fuel consumption of about one percent. This is accepted to improve the response. At higher load the losses lead to higher fuel consumption up to 3.5 percent, which is avoided by opening the wastegates partly. Of course in turbocharged engine operating points the wastegates are used to control the boost pressure. This makes sure that the engine torque is limited to the allowed maximum to prevent mechanical damage. This flexibility is achieved by the vacuum activation on the one hand and by a specific software on the other hand which controls the boost pressure.

BOOST PRESSURE AFTER GEAR SHIFT

The potential of software functions to optimize the response of the car can be shown with the following example: After a gear shift with a manual transmission the boost pressure is normally low. In order to realize a high torque as soon as possible after the gear shift it is necessary to increase the boost pressure quickly. The decrease of boost pressure however is caused by the driver, who has no torque demand during gear shift. So a software function has been developed which is not closing the throttle valve during a short gear shift but decreases the torque of the engine by shifting the ignition time. So the mass flow through the engine and therefore the speed of the turbine is still high even if the driver is changing the gear. This leads to a much better torque right after the gear shift, because the turbines are only losing a small part of their energy. The effect of this software function is shown in fig. 9.

INJECTION SYSTEM

другое положение отработанной муфты: для снижения расхода топлива отходы открыты частично, чтобы избежать нежелательных потерь мощности турбины. Закрытие отработанных газов при частичной нагрузке приводит к более высокому давлению наддува, которое должно быть уменьшено дроссельным клапаном. Поэтому эффективность процесса газообмена снижается, когда отходы закрыты. Преимущество открытия отработанных газов частично показано на рис. 7 для двигателя, работающего со скоростью 3000 об / мин. При низкой нагрузке на двигатель закрытые отработанные газы приводят лишь к немного более высокому потреблению топлива примерно на один процент. Это принято для улучшения ответа. При более высокой нагрузке потери приводят к более высокому расходу топлива до 3,5%, что можно избежать, частично открыв отходы. Конечно, в рабочих точках двигателя с турбонаддувом используются отработанные газы для контроля давления наддува. Это гарантирует, что крутящий момент двигателя ограничен допустимым максимумом для предотвращения механических повреждений. Эта гибкость достигается за счет активации вакуума, с одной стороны, и с помощью специального программного обеспечения, с другой стороны, которое контролирует давление наддува.

ДАВЛЕНИЕ В ЦИЛИНДРЕ ДВИГАТЕЛЯ

Потенциал программных функций для оптимизации реакции автомобиля можно показать в следующем примере: после переключения передач с ручной коробкой передач давление наддува обычно низкое. Чтобы как можно скорее реализовать высокий крутящий момент после переключения передач, необходимо быстро увеличить давление наддува. Однако снижение давления наддува вызвано водителем, у которого нет требования к крутящему моменту при переключении передач. Таким образом, была разработана программная функция, которая не закрывает дроссельную заслонку во время короткого переключения передач, но уменьшает крутящий момент двигателя, меняя время зажигания. Таким образом, массовый расход через двигатель и, следовательно, скорость турбины все еще высока, даже если водитель меняет шестерню. Это приводит к значительному крутящему моменту сразу после переключения передач, поскольку турбины теряют небольшую часть своей энергии. Эффект этой программной функции показан на рис. 9.

The most important innovation of the Twin Turbo engine's combustion system is the direct injection system. Its core component is a Piezo-activated fuel injector, which has a significantly higher potential to improve the combustion process than other direct injection systems. The most characteristic design attribute of the injection system is the central position of the injector right beside the spark plug. In combination with the symmetrical spray pattern of the injector this position leads to favourable spray propagation with a minimum impingement on the cylinder liner or the piston. Further more this configuration enables a spray-guided operation mode for lean burn combustion systems. Fig. 10 shows the concept of the centrally located injector and spark plug.

FUNCTIONAL POTENTIALS OF HIGH PRECISION INJECTION

Multiple injections for homogeneous combustion mode

Due to the $\lambda = 1$ - concept of the new Twin Turbo engine the most frequent operation mode is the homogeneous combustion. The High Precision Injection can improve also this combustion mode. The fuel system is able to vary the fuel pressure (up to 200 bar) and the number of injection pulses (up to three per cycle) in order to reduce the wall wetting. This is particularly important to avoid smoke emission and oil dilution. Fig.11 shows the calibration of the fuel pressure setpoint and the number of injection pulses which are used depending on the engine operating point. Starting with a single injection pulse per cylinder and cycle a double pulse strategy is used at mid load points. At even higher engine load a triple injection pattern is applied to reduce the penetration of the fuel spray. In combination with the variable fuel pressure the High Precision Injection is providing maximum flexibility to adapt the fuel injection to the specific operating conditions.

Catalyst heating with twin injection

Regarding emissions it is most important to reach the light-off temperature of the catalysts as soon as possible. Engines with turbochargers make great demand on the emission system because of the thermal inertia of the turbo charger units. So these engines need much more exhaust enthalpy to heat up the catalyst than engines without turbochargers. To realize the required en-

СИСТЕМА ВПРЫСКА

Наиболее важным новшеством системы сжигания двигателя Twin Turbo является система прямого впрыска. Основным компонентом является пьезо-активированный топливный инжектор, который имеет значительно более высокий потенциал для улучшения процесса сгорания, чем другие системы прямого впрыска. Самым характерным атрибутом конструкции системы впрыска является центральное положение инжектора рядом с свечой зажигания. В сочетании с симметричным рисунком распылителя инжектора это положение приводит к благоприятному распространению распыления с минимальным ударом на гильзе цилиндра или поршнем. Кроме того, эта конфигурация позволяет управлять режимом сжигания с помощью распылителя. Инжир. На фиг.10 показана концепция централизованного форсунки и свечи зажигания.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ВЫСОКОЙ ТОЧНОЙ ИНЪЕКЦИИ

Несколько инъекций для гомогенного режима горения

Из-за концепции $\lambda = 1$ нового двигателя Twin Turbo наиболее частым режимом работы является гомогенное сгорание. Высокоточная инъекция может также улучшить этот режим горения. Топливная система может изменять давление топлива (до 200 бар) и количество импульсов впрыска (до трех циклов), чтобы уменьшить смачивание стен. Это особенно важно для предотвращения выброса дыма и разбавления масла. На рис.11 показана калибровка заданного значения давления топлива и количество импульсов впрыска, которые используются в зависимости от рабочей точки двигателя. Начиная с одного импульса впрыска на цилиндр и цикла, в средней точке нагрузки используется стратегия двойного импульса. При еще большей нагрузке на двигатель применяется тройная схема впрыска для уменьшения проникновения топливного спрея. В сочетании с переменным давлением топлива High Precision Injection обеспечивает максимальную гибкость для адаптации впрыска топлива к конкретным условиям эксплуатации.

Что касается выбросов, то самое важное - как можно скорее достичь световой температуры катализаторов. Двигатели с турбоагнетателями пользуются большим спросом на эмиссионную систему из-за тепловой инерции турбокомпрессоров. Таким образом, эти двигатели нуждаются в гораздо большей энthalпии выхлопа, чтобы

thalpy the new Twin Turbo engine is using a special operation mode: During catalyst heating the engine is running at a very high load in order to increase the exhaust mass flow. For high exhaust temperatures the ignition time is retarded which is furthermore compensating the excessive torque of the high mass flow. The High Precision Injection is able to stabilize the combustion process even with very late ignition times. This is achieved using a double injection pattern with one early injection and a very small second injection right before ignition. Fig. 12 shows that this combustion produces the desired high exhaust enthalpy and very low hydrocarbon emission at the same time.

SOFTWARE FUNCTIONS OF HIGH PRECISION INJECTION

The new High Precision Injection is a mechanical system. So for the performance of the system the software components are as important as the mechanical ones. Many software functions of the High Precision Injection have been especially developed for the new Twin Turbo engine. The architecture of the software is shown in fig. 14. The first part of the software contains the calculation of the energy and injection time, which is required for the specific operating point. Several corrections regarding fuel pressure and temperature are added. In order to consider the individual flow properties of the injectors specific flow data for each injector are measured and coded into the ECU. This first software part makes sure that any injector is running properly even under changing conditions like temperature or pressure.

Additionally several adaptive functions have been developed to maintain the correct air/fuel ratio for each cylinder over lifetime. First the lambda control is correcting and adapting the fuel mass for a group of three cylinders. The adaptive function, which has been developed for the new Twin Turbo engine, is based on an artificial neural network and stores the required correction factor continuously. The next function controls the air/fuel ratio of each single cylinder. The High Precision Injection is able to adjust the fuel mass of each cylinder independently from the other cylinders. Based on the signals of the existing lambda sensors an observer model calculates the cylinder specific air/fuel ratio. Finally the en-

нагревать катализатор, чем двигатели без турбокомпрессоров. Чтобы реализовать требуемую энтальпию, новый двигатель Twin Turbo использует специальный режим работы: во время нагрева катализатора двигатель работает с очень высокой нагрузкой, чтобы увеличить поток массы выхлопных газов. При высоких температурах выхлопа время зажигания замедляется, что, кроме того, компенсирует чрезмерный крутящий момент большого массового расхода. Высокоточная ињекция способна стабилизировать процесс горения даже при очень позднем времени зажигания. Это достигается с помощью двойной ињекции с одной ранней ињекцией и очень маленькой второй ињекцией непосредственно перед зажиганием. Инжир. 12 показывает, что это сгорание дает желаемую высокую энтальпию выхлопа и очень низкое выделение углеводородов одновременно.

ФУНКЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОЙ ТОЧНОЙ ИЊЕКЦИИ

Новая высокоточная ињекция - это механическая система. Поэтому для производительности системы компоненты программного обеспечения так же важны, как и механические. Многие программные функции высокоточного впрыска были специально разработаны для нового двигателя Twin Turbo. Архитектура программного обеспечения показана на рис. 14. Первая часть программного обеспечения содержит расчет времени энергии и впрыска, который требуется для конкретной рабочей точки. Добавлены несколько поправок относительно давления топлива и температуры. Для того чтобы рассмотреть индивидуальные свойства потока ињекторов, конкретные данные потока для каждого ињектора измеряются и кодируются в ЭБУ. Эта первая часть программного обеспечения гарантирует, что любой ињектор работает нормально даже при изменяющихся условиях, таких как температура или давление.

Кроме того, были разработаны несколько адаптивных функций для поддержания правильного соотношения воздух / топливо для каждого цилиндра в течение всего срока службы. Сначала лямбда-контроль корректирует и адаптирует топливную массу для группы из трех цилиндров. Адаптивная функция, разработанная для нового двигателя Twin Turbo, основана на искусственной нейронной сети и постоянно сохраняет требуемый поправочный коэффициент. Следующая функция управляет соотношением воздух / топ-

ergy levels of the injectors are corrected until all cylinders are running at the same air/fuel ratio. To achieve an excellent engine stability at idle the engine speed is analyzed and used to modify the injection time in order to optimize the engine smoothness. Finally there is an adaptive function which is used especially for very short injection pulses. The numerous software functions of the High Precision Injection show the complexity of the system. It is furthermore obvious that such a system could not be realized without sophisticated software components. CONCLUSION The new BMW Twin Turbo engine with High Precision injection is able to combine excellent performance and good fuel efficiency. The combination of an innovative turbo charging systems and the new High Precision Injection leads to an impressive response and takes the "Efficient Dynamics" to a next step.	ливо для каждого отдельного цилиндра. Высокоточная инъекция способна регулировать топливную массу каждого цилиндра независимо от других цилиндров. Основываясь на сигналах существующих лямбда-датчиков, модель наблюдателя рассчитывает отношение воздуха / топлива к цилиндру. Наконец, уровни энергии инжекторов корректируются до тех пор, пока все цилиндры не будут работать при одинаковом соотношении воздух / топливо. Для достижения превосходной стабильности двигателя на холостом ходу частота вращения двигателя анализируется и используется для изменения времени впрыска, чтобы оптимизировать плавность двигателя. Наконец, существует адаптивная функция, которая используется, в частности, для очень коротких импульсов впрыска. Многочисленные программные функции высокоточного инжектора показывают сложность системы. Кроме того, очевидно, что такая система не может быть реализована без сложных программных компонентов. ВЫВОД Новый двигатель BMW Twin Turbo с высокой точностью впрыска способен сочетать отличную производительность и хорошую топливную экономичность. Комбинация инновационных систем зарядки турбонаддувом и новой высокоточной инъекции приводит к впечатляющему отклику и позволяет перейти к «Эффективной динамике» на следующем этапе.
Co-Surge in Bi-Turbo Engines - Measurements, Analysis and Control	Совместное увеличение в би-турбомоторах - измерения, анализ и контроль
1. Introduction The automotive industry constantly strives to reduce fuel consumption and emissions of the internal combustion engine. One strategy that has proved to be successful over the years is to replace naturally aspirated engines with smaller turbocharged engines, Emmenthal et al. (1979); Watson and Janota (1982). Turbocharging increases air density in the intake which increase power density and thus allows the turbocharged engine to produce the same maximum power as a comparatively larger naturally aspirated engine. This is beneficial in low- to mid-load operating points where the engine usually operates, since pumping and friction losses are reduced, Guzzella et al. (2000). More advanced turbocharging concepts are being developed to further increase power density, Petitjean et al. (2004). A configu-	1. Введение Автомобильная промышленность постоянно стремится снизить расход топлива и выбросы двигателя внутреннего сгорания. Одной из стратегий, которая на протяжении многих лет оказалась успешной, является замена двигателей с наддувом с меньшими двигателями с турбонаддувом, Emmenthal et al. (1979); Уотсон и Янота (1982). Турбонагнетание увеличивает плотность воздуха на входе, что увеличивает плотность мощности и, таким образом, позволяет двигателю с турбонаддувом вырабатывать ту же максимальную мощность, что и сравнительно больший атмосферный двигатель. Это выгодно в рабочих местах с низкой и средней нагрузкой, где двигатель обычно работает, поскольку потери насосов и трения снижаются, Guzzella et al. (2000). Более продвинутые концепции турбонаддува разрабатываются для дальнейшего увеличения плотно-

ration that has increased in popularity is the use of two parallel identical turbochargers for V-type engines, one powered by each bank of cylinders. This allows the turbines to be mounted closer to the exhaust ports than if a single turbocharger were to be used, which reduces heat losses and makes better use of the pulsating flow from the exhaust, allowing more energy to be extracted through the turbine.

In the most common parallel turbocharged configuration, the two air paths are connected before the throttle and a single throttle and intake manifold are used. This introduces an interesting balancing problem, since the same total mass flow can be realized with different flows from each air path. For balanced operation these should always be equal, but if the flow from one air path should drop for some reason, the other will start to take over, providing more flow. This interaction between the compressors is remarkable when operating close to the surge line, if the balance between the compressors is disturbed and one compressor enters surge. That mass flow will then drop to zero or below, while the other compressor will produce approximately twice the flow, depending on the shape of the compressor speed line as the pressure ratio drops. When the surging compressor recovers it will have a higher speed than the first compressor and risks pushing that compressor into surge instead, starting an oscillation between the air paths called co-surge. Failing to quell this oscillation will result in unwanted sound, drop in torque and in worst case, compressor damage.

2. Test setup

The test vehicle is equipped with a spark ignited gasoline V6-engine with two parallel turbochargers, each powered from one bank of cylinders. A sketch of the engine is shown in Fig. 1, that also defines the nomenclature which is also available in Appendix A. The engine is equipped with three hot film mass flow sensors. The total flow is measured 10 cm after the air filter, 30 cm before the air path is divided. The two other, that measure the flow in each path, are placed 10 cm after the division of the air path, approximately 80 cm before the compressors. Hot film mass flow sensors are fast with time constants of around 10 ms Westbrook and Turner (1994). Pressures are measured before and after each

сти мощности, Petitjean et al. (2004). Наиболее популярной конфигурацией является использование двух параллельных идентичных турбокомпрессоров для двигателей V-типа, один из которых оснащен каждым банком цилиндров. Это позволяет устанавливать турбины ближе к выхлопным портам, чем если бы использовался один турбонагнетатель, который уменьшает потери тепла и улучшает использование пульсирующего потока из выхлопных газов, позволяя извлекать больше энергии через турбину.

В наиболее распространенной параллельной конфигурации с турбонаддувом оба воздушных канала соединены перед дросселем, а один дроссель и впускной коллектор используются. Это представляет интересную проблему балансировки, поскольку такой же общий массовый расход может быть реализован с различными потоками от каждого воздушного пути. Для сбалансированной работы они всегда должны быть равны, но если поток из одного воздушного пути по какой-то причине должен упасть, другой начнет захватывать, обеспечивая больше потока. Это взаимодействие между компрессорами замечательно при работе вблизи линии всплеска, если баланс между компрессорами нарушен и один компрессор входит в волну. Этот массовый расход затем опустится до нуля или ниже, в то время как другой компрессор произведет примерно в два раза больше потока, в зависимости от формы линии скорости компрессора, поскольку коэффициент давления падает. Когда восстанавливающий компрессор восстанавливается, он будет иметь более высокую скорость, чем первый компрессор, и рискует вместо этого нагнать этот компрессор на волну, начав колебание между воздушными путями, называемыми сопутствующими. Невыполнение этого колебания приведет к нежелательному звуку, снижению крутящего момента и, в худшем случае, повреждению компрессора.

compressor, before the throttle and in the intake manifold. Approximately 3 m of pipe connects the pressure sensors with the measurement point, which reduces the measured in-cycle variations and introduces a time delay of about 10 ms. The exception is the pim sensor that is mounted directly at the intake manifold. The turbochargers are equipped with speed sensors.

The measurement and control system is a dSpace Micro- AutoBox and a RapidPro system, connected to a computer running ControlDesk. Most measurements are sampled in 100 Hz, however the total mass flow and intake manifold pressure are received from the CAN bus and only updates in 12.5 Hz. The actuators used by the control algorithm are the throttle, the bypass valves and the wastegates. The throttle and wastegate are continuously actuated while the bypass valves are of ON/OFF type. For the tests the vehicle is mounted in a vehicle dynamometer with one electric motor connected to each wheel on the rear axle. Although the test vehicle is equipped with the mass flow, pressure, temperature and turbo speed sensors in Fig. 1 for modeling purposes, the detection algorithm only uses either pair of pac, MAF or Ntc sensors. The proposed controller uses pic and pim, and in the controller with balancing also the two turbo speed sensors are utilized.

2. Настройка тестирования

Испытательное транспортное средство оснащено бензиновым двигателем V6 с искровым зажиганием с двумя параллельными турбонагнетателями, каждый из которых питается от одного банка цилиндров. Эскиз двигателя показан на рис. 1, который также определяет номенклатуру, которая также доступна в Приложении А. Двигатель оснащен тремя датчиками массового расхода горячей пленки. Общий расход измеряется 10 см после воздушного фильтра, 30 см до того, как воздушный путь будет разделен. Два других, которые измеряют поток в каждом пути, размещаются на расстоянии 10 см после разделения воздушного пути, примерно на 80 см перед компрессорами. Датчики массового расхода горячей пленки быстрые с постоянными времени около 10 мс Westbrook и Turner (1994). Давления измеряются до и после каждого компрессора перед дросселем и во впускном коллекторе. Приблизительно 3 м трубы соединяют датчики давления с точкой измерения, что уменьшает измеренные изменения в цикле и вводит задержку времени около 10 мс. Исключением является датчик проводов, который монтируется непосредственно на впускном коллекторе. Турбокомпрессоры оснащены датчиками скорости.

Система измерения и управления представляет собой систему dSpace Micro-AutoBox и RapidPro, подключенную к компьютеру ControlDesk. Большинство измерений выбраны в 100 Гц, однако общий массовый расход и давление впускного коллектора поступают с шины CAN и обновляются только в 12,5 Гц. Приводами, используемыми алгоритмом управления, являются дроссельная заслонка, запорные клапаны и муфты. Дроссельная заслонка и ручная муфта постоянно включаются, а байпасные клапаны имеют тип ВКЛ / ВЫКЛ. Для испытаний автомобиль устанавливается в динамометр автомобиля с одним электродвигателем, подключенным к каждому колесу на задней оси. Хотя испытательное транспортное средство оснащено датчиками массового расхода, давления, температуры и турбонаддува на рис. 1 для целей моделирования, алгоритм обнаружения использует только пару датчиков рас, MAF или Ntc. Предлагаемый контроллер использует pic и pim, а в контроллере с балансировкой также используются два датчика скорости турбонаддува.

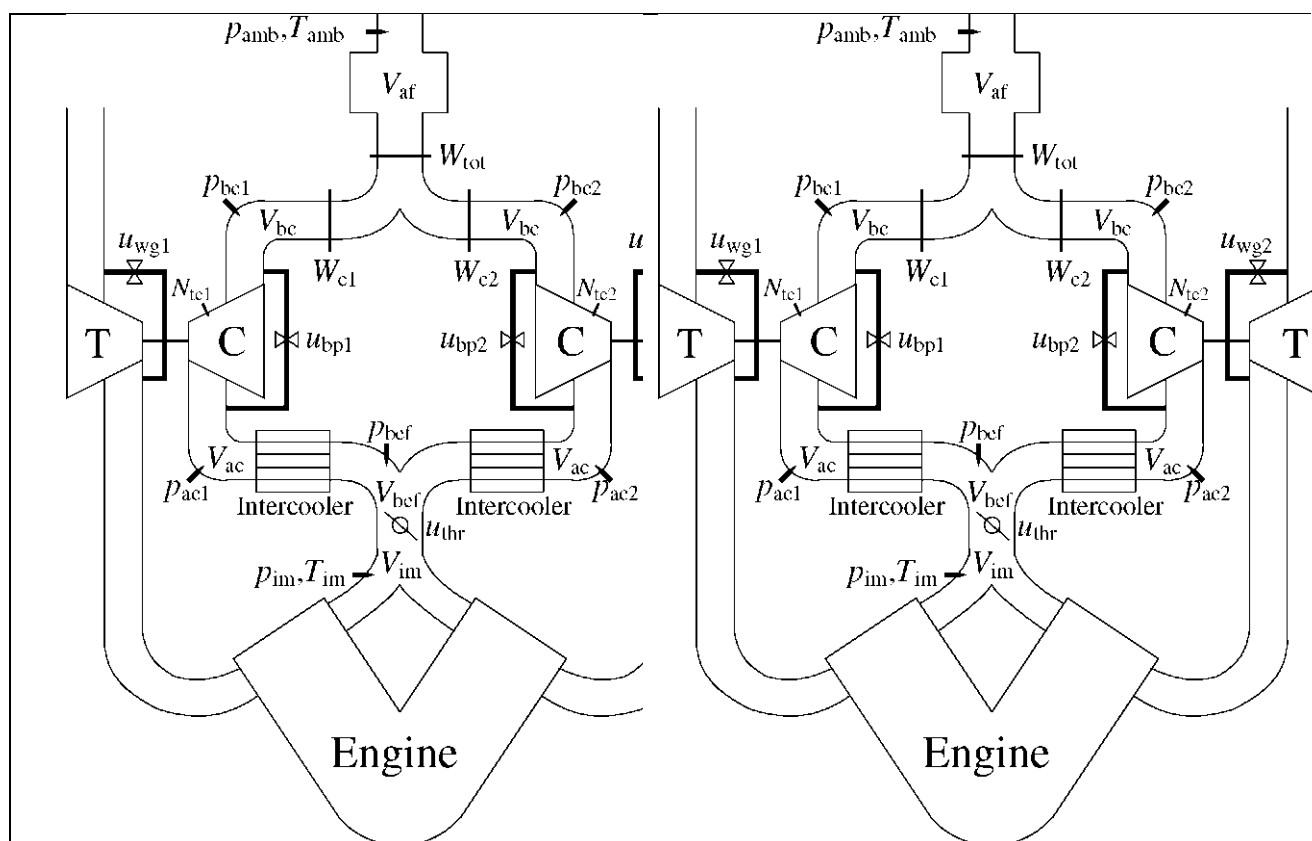


Figure 1: A sketch of the bi-turbocharged engine configuration. A mass flow sensor, W_{tot} , is positioned after the air filter and two more, W_{c1} and W_{c2} , directly after the air path split up. The actuators used in the control section are the throttle, M_{thr} , the bypass valves, «bp1. "bp2. and the wastegates, M_{wg1} . u_{wg2} . Pressures are measured before and after each compressor, before the throttle and in the intake manifold.

Рисунок 1: Эскиз конфигурации двигателя с двумя турбонаддувом. Датчик массового расхода W_{tot} позиционируется после воздушного фильтра и еще двух, W_{c1} и W_{c2} , непосредственно после разделения воздушного пути. Приводы, используемые в секции управления, представляют собой дроссель, M_{thr} . Байпасные клапаны, «bp1. «bp2» и «отходы», M_{wg1} . u_{wg2} . Давления измеряются до и после каждого компрессора перед дросселем и во впускном коллекторе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы в соответствии с исходными данными эффективной мощности и номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя были выполнены:

1 Тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, расчеты кинематики и динамики двигателя;

2 На основании результатов расчетов выбраны конструктивные параметры двигателя, и в соответствии с ними выполнен сборочный чертеж;

3 Выбор конструктивных параметров и расчет турбокомпрессора, в соответствии с ним выполнен сборочный чертеж турбокомпрессора для низкой частоты вращения и для высокой частоты вращения двигателя;

2. В соответствии с проведенным анализом, можно отметить, что применение турбокомпрессора позволяет существенно улучшить технико-экономические показатели базового двигателя. Минимальный эффективный удельный расход топлива составляет $g_e = 226 \text{ г/(кВт·ч)}$, часовой расход топлива на номинальном режиме – $G_T = 16,14 \text{ кг/ч}$. Для улучшения приемистости двигателя применяется система регулирования давления наддува.

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. Bysveen, M. Engine Characteristics of Emissions and Performance Using Mixtures Natural Gas and Hydrogen [Text] / Bysveen, International Journal Hydrogen Energy. 2007 – pp. 482-489.
5. Kato, K. Development of Engine for Natural Gas Vehicle [Text] / K.Kato, K. Igrahashi, M. Masuda, K. Otsubo, A.Yasuda, K. Takeda, T.Sato// Society of Automotive Engineers, Paper No. 01-0574 (1999)
6. Huang, Z. Measurements of laminar burning velocities for natural gas-hydrogen-air mixtures [Text] / Z. Huang, Y.Zhang, K.Zeng, B.Liu, Q.Wang, D.Jiang // Combustion and Flame 2006;146(1–2):302–11
7. Sierens, R. Variable composition hydrogen/natural gas mixtures for increased engine efficiency and decreased emissions [Text] / R.Sierens, E.Rosseel// Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 122, 135–140, (2000).
8. Shamekhi, A.H. A Comprehensive Comparative Investigation of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel in a Bi-Fuel Spark Ignition Engine [Text] / A.H. Shamekhi, N. Khatibzadeh, A. Shamekhi // Iran. J. Chem. Chem. Eng. Vol. 27, No.1, 2008. - С. 73-83.
9. Jones P., et al, Full Cycle Computational Fluid Dynamics Calculations in a Motored Four Valve Pent Roof Combustion Chamber and Comparison with Experiment [Text], SAE, SP 1101, №950286, 131-146, 2001.
10. Naha, S, Briones, A. M, Aggarwa. Effect of Fuel Blends on Pollutant Emis-

- sions in Flames [Text] / Naha, S, Briones, A. M, Aggarwa. Combustion Sciences and Technology. [Thermal Science](#). 2005 – pp. 183- 220.
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. Koroll, G.W. Burning Velocities oh Hydrogen-Air Mixtures [Text] / G.W. Koroll, R.K. Kumar, E.M. Bowles // Combustion and Flame 99, 1999, p. 330
15. CHUNG, K. LAW. Combustion physics [Text] / Princeton University. cambridge university press. 2006. 722 с.
16. Bauer, C.G. Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles [Text] / C.G. Bauer, T.W.Forest // Part I: effect on S.I. engine performance. International Journal of Hydrogen Energy 2001;26(1):55–70.
17. Das, L. A comparative evaluation of the performance characteristics of a spark ignition engine using hydrogen and compressed natural gas as alternative fuels [Text] / L.Das, R. Gulati, P. Gupta //. Int. J. Hydrogen Energy, 2000. 25(8): 783-793.
18. Luttermann C., Mahrle W. BMW High Precision Fuel Injectionin Conjunction with Twin-Turbo Technology: a Combination for Maximum Dynamic and High Fuel Efficiency [Text] / SAE 2007-01-1560. 2007
19. Thomasson A, Eriksson L. Co-Surge in Bi-Turbo Engines - Measurements, Analysis and Control [Text] / 2014, Control Engineering Practice, (32), 113-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2014.08.001> Copyright: Elsevier.
20. Chryssakis, A. C. Effect of multiple injections on fuel-air mixing and soot formation in diesel combustion using direct flame visualization and cfd techniques [Text] / A. C. Chryssakis, N. D. Assanis // ASME Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference. - 2005.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Исходные данные для теплового расчета

Угол опережения зажигания	Продолжительность процесса сгорания	Коэффициент избытка воздуха	Степень сжатия	Коэффициент молекулярного излучения смеси	P_y	T_y	V_a	Полнота сгорания топлива	E_2	Коэффициент остаточных газов	λ	Показатель характера сгорания	Частота вращения КВ
С двойным турбо наддувом													
15	40	1	10	1,0524	3,492	863,458	0,566	0,8100	76,8602	0,0251	0,2930	3,2	850
20	50	1	10	1,05243	2,860332	820,3515	0,583057	0,86	79,53093	0,021174	0,293	3	2000
30	60	1	10	1,0524	1,9159	735,4048	0,5951	0,96	87,1304	0,0195	0,293	3,4	3700
40	70	1	10	1,052	1,286	653,989	0,599	0,97	87,641	0,017	0,293	3,4	5600
45	70	1	10	1,0524	1,0428	623,2705	0,6180	0,8	56,0689	0,0170	0,293	3	6000
Без наддува													
15	40	1	10,5	1,0524	2,473	866,137	0,769	0,8100	53,1679	0,0363	0,2930	3,2	900
30	60	1	10,5	1,0524	1,3849	743,1535	0,8098	0,96	60,3080	0,0282	0,2930	3,4	3400
40	70	1	10,5	1,052	0,939	660,512	0,813	0,97	60,936	0,025	0,293	3,4	5600
45	70	1	10,5	1,0524	0,7650	630,5445	0,8387	0,8	38,9651	0,0244	0,2933884	3	6000

Таблица А2 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с двойным турбонаддувом при $n = 800 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред- няя на участке темпе- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кoeffи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
863,4583	863,4583	0,06779	0,0439	1,1976	6,5E-07	867,8836			1,3E-06	3,49247	1	1	0	0	-15
872,3089	869,9385	0,06636	0,0383	1,1723	1,1E-05	875,3677	1,3474	6,7575	2,2E-05	3,59449	1	1	1,29E-06	1	-14
878,4264	876,3786	0,06502	0,0331	1,1487	5,3E-05	881,6078	1,3466	6,77	0,00011	3,6954	1	1	2,37E-05	2	-13
884,7893	883,0662	0,06379	0,0282	1,1269	0,00015	888,3093	1,346	6,7805	0,00031	3,79588	1	1	0,00013	3	-12
891,8294	890,4387	0,06264	0,0237	1,1067	0,00034	895,9816	1,3453	6,7916	0,00068	3,89735	1	1	0,000436	4	-11
900,1338	899,0914	0,0616	0,0196	1,0883	0,00064	905,2895	1,3446	6,8042	0,00128	4,002	1,0001	1	0,001112	5	-10
910,4451	909,778	0,06065	0,0159	1,0715	0,00109	917,0498	1,3437	6,8194	0,00217	4,11294	1,0001	1,0001	0,00239	6	-9
923,6544	923,4032	0,05981	0,0126	1,0566	0,00171	932,2201	1,3426	6,8383	0,00342	4,23408	1,0002	1,0002	0,004562	7	-8
940,7858	941,0063	0,05906	0,0096	1,0433	0,00254	951,8774	1,3412	6,8621	0,00507	4,37014	1,0004	1,0003	0,007979	8	-7
962,969	963,7332	0,05841	0,0071	1,0319	0,0036	977,1841	1,3394	6,8923	0,00719	4,52646	1,0007	1,0005	0,013052	9	-6
991,3992	992,7948	0,05786	0,0049	1,0221	0,00491	1009,341	1,3373	6,9297	0,00981	4,7088	1,001	1,0009	0,020243	10	-5
1027,284	1029,412	0,05741	0,0031	1,0142	0,00649	1049,53	1,3347	6,9751	0,01297	4,92294	1,0015	1,0013	0,030057	11	-4
1071,776	1074,747	0,05706	0,0018	1,008	0,00834	1098,839	1,3317	7,0289	0,01667	5,17436	1,0022	1,0019	0,043028	12	-3
1125,901	1129,83	0,05681	0,0008	1,0035	0,01045	1158,187	1,3284	7,0907	0,0209	5,46769	1,0031	1,0026	0,059699	13	-2
1190,472	1195,473	0,05665	0,0002	1,0009	0,0128	1228,242	1,3247	7,1597	0,0256	5,80628	1,0041	1,0036	0,080597	14	-1
1266,012	1272,189	0,0566	0	1	0,01535	1309,341	1,3208	7,2342	0,03071	6,19169	1,0054	1,0048	0,106202	15	0
1352,67	1360,116	0,05665	0,0002	1,0009	0,01804	1401,414	1,3168	7,3125	0,03607	6,62324	1,007	1,0062	0,136907	16	1
1450,158	1458,943	0,05681	0,0008	1,0035	0,02077	1503,923	1,3129	7,3925	0,04154	7,0977	1,0088	1,0079	0,17298	17	2
1557,689	1567,86	0,05706	0,0018	1,008	0,02345	1615,82	1,309	7,472	0,04689	7,60902	1,011	1,0099	0,21452	18	3
1673,951	1685,526	0,05741	0,0031	1,0142	0,02594	1735,526	1,3054	7,549	0,05189	8,14829	1,0134	1,0122	0,261413	19	4
1797,101	1810,065	0,05786	0,0049	1,0221	0,02813	1860,952	1,302	7,622	0,05626	8,70385	1,016	1,0147	0,313302	20	5
1924,802	1939,106	0,05841	0,0071	1,0319	0,02987	1989,554	1,299	7,6896	0,05974	9,26166	1,0189	1,0175	0,369562	21	6
2054,306	2069,865	0,05906	0,0096	1,0433	0,03103	2118,442	1,2963	7,7509	0,06206	9,80592	1,022	1,0204	0,429298	22	7
2182,578	2199,274	0,05981	0,0126	1,0566	0,03152	2244,523	1,2939	7,8052	0,06304	10,3199	1,0251	1,0235	0,491361	23	8
2306,469	2324,151	0,06065	0,0159	1,0715	0,03126	2364,691	1,2919	7,8524	0,06252	10,7871	1,0284	1,0267	0,554397	24	9
2422,913	2441,402	0,0616	0,0196	1,0883	0,03024	2476,028	1,2902	7,8924	0,06048	11,1922	1,0316	1,03	0,616919	25	10

Продолжение таблицы А2

2529,142	2548,237	0,06264	0,0237	1,1067	0,02849	2576,012	1,2888	7,9255	0,05697	11,5223	1,0346	1,0331	0,677395	26	11
2622,882	2642,371	0,06379	0,0282	1,1269	0,0261	2662,702	1,2877	7,9521	0,05219	11,7683	1,0376	1,0361	0,734369	27	12
2702,522	2722,186	0,06502	0,0331	1,1487	0,02321	2734,868	1,2868	7,9726	0,04642	11,925	1,0402	1,0389	0,786563	28	13
2767,215	2786,842	0,06636	0,0383	1,1723	0,02001	2792,062	1,2862	7,9879	0,04001	11,9918	1,0426	1,0414	0,832984	29	14
2816,909	2836,299	0,06779	0,0439	1,1976	0,01668	2834,601	1,2858	7,9985	0,03336	11,9726	1,0447	1,0436	0,872994	30	15
2852,294	2871,267	0,06931	0,0499	1,2245	0,01342	2863,484	1,2855	8,0053	0,02685	11,8749	1,0464	1,0455	0,906351	31	16
2874,673	2893,076	0,07093	0,0562	1,2531	0,01041	2880,229	1,2854	8,0089	0,02081	11,7093	1,0477	1,047	0,933198	32	17
2885,786	2903,493	0,07264	0,063	1,2833	0,00775	2886,691	1,2853	8,01	0,01551	11,4879	1,0488	1,0483	0,954011	33	18
2887,595	2904,513	0,07445	0,07	1,3152	0,00554	2884,843	1,2853	8,0092	0,01108	11,2234	1,0496	1,0492	0,96952	34	19
2882,092	2898,151	0,07634	0,0775	1,3487	0,00379	2876,605	1,2854	8,007	0,00758	10,9278	1,0502	1,0499	0,980603	35	20
2871,119	2886,279	0,07833	0,0853	1,3838	0,00247	2863,691	1,2856	8,0038	0,00494	10,6118	1,0505	1,0503	0,988178	36	21
2856,264	2870,503	0,08041	0,0934	1,4205	0,00153	2847,53	1,2857	7,9999	0,00307	10,2844	1,0508	1,0507	0,993119	37	22
2838,795	2852,109	0,08257	0,1019	1,4587	0,0009	2829,231	1,2859	7,9955	0,00181	9,95259	1,051	1,0509	0,996186	38	23
2819,666	2832,062	0,08482	0,1108	1,4985	0,0005	2809,605	1,2861	7,9908	0,00101	9,62136	1,051	1,051	0,997993	39	24
2799,545	2811,039	0,08716	0,12	1,5398	0,00026	2789,21	1,2863	7,986	0,00053	9,29432	1,0511	1,0511	0,999	40	25

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

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участке темпе- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
820,3515	820,3515	0,0786	0,0775	1,3487	0,0000	782,1368			0,0000	2,8603	1,0000	1,0000	0,0000	0	-20
743,9220	827,8021	0,0767	0,0700	1,3152	0,0000	747,4085	1,3571	6,6012	0,0000	2,9598	1,0000	1,0000	0,0000	1	-19
750,8951	835,4007	0,0748	0,0630	1,2833	0,0000	754,4755	1,3616	6,5307	0,0001	3,0612	1,0000	1,0000	0,0000	2	-18
758,0560	843,2083	0,0731	0,0562	1,2531	0,0001	761,8443	1,3607	6,5454	0,0002	3,1644	1,0000	1,0000	0,0001	3	-17
765,6327	851,4784	0,0714	0,0499	1,2245	0,0002	769,7772	1,3597	6,5607	0,0004	3,2700	1,0000	1,0000	0,0003	4	-16
773,9218	860,5403	0,0698	0,0439	1,1976	0,0004	778,6041	1,3586	6,5769	0,0007	3,3792	1,0000	1,0000	0,0007	5	-15
783,2864	870,7967	0,0684	0,0383	1,1723	0,0006	788,7190	1,3575	6,5946	0,0012	3,4933	1,0001	1,0001	0,0014	6	-14
794,1516	882,7192	0,0670	0,0331	1,1487	0,0009	800,5755	1,3562	6,6147	0,0019	3,6139	1,0001	1,0001	0,0027	7	-13
806,9993	896,8412	0,0657	0,0282	1,1269	0,0014	814,6789	1,3548	6,6378	0,0027	3,7433	1,0002	1,0002	0,0045	8	-12

Продолжение таблицы А3

822,3585	913,7487	0,0645	0,0237	1,1067	0,0019	831,5765	1,3531	6,6646	0,0038	3,8838	1,0004	1,0003	0,0072	9	-11
840,7946	934,0666	0,0635	0,0196	1,0883	0,0025	851,8444	1,3511	6,6959	0,0051	4,0381	1,0006	1,0005	0,0110	10	-10
862,8942	958,4425	0,0625	0,0159	1,0715	0,0033	876,0710	1,3489	6,7322	0,0066	4,2091	1,0008	1,0007	0,0161	11	-9
889,2479	987,5264	0,0616	0,0126	1,0566	0,0042	904,8388	1,3464	6,7741	0,0084	4,3996	1,0012	1,0010	0,0227	12	-8
920,4298	1021,9483	0,0608	0,0096	1,0433	0,0052	938,7028	1,3435	6,8216	0,0105	4,6125	1,0016	1,0014	0,0311	13	-7
956,9759	1062,2925	0,0602	0,0071	1,0319	0,0064	978,1683	1,3404	6,8747	0,0128	4,8503	1,0021	1,0019	0,0416	14	-6
999,3608	1109,0721	0,0596	0,0049	1,0221	0,0077	1023,6678	1,3371	6,9331	0,0155	5,1151	1,0028	1,0025	0,0544	15	-5
1047,9749	1162,7023	0,0591	0,0031	1,0142	0,0092	1075,5378	1,3335	6,9961	0,0183	5,4084	1,0036	1,0032	0,0699	16	-4
1103,1008	1223,4750	0,0588	0,0018	1,0080	0,0107	1133,9965	1,3299	7,0630	0,0214	5,7311	1,0045	1,0041	0,0882	17	-3
1164,8923	1291,5347	0,0585	0,0008	1,0035	0,0123	1199,1231	1,3261	7,1326	0,0246	6,0827	1,0056	1,0051	0,1095	18	-2
1233,3540	1366,8570	0,0584	0,0002	1,0009	0,0140	1270,8389	1,3224	7,2038	0,0279	6,4622	1,0069	1,0063	0,1341	19	-1
1308,3239	1449,2298	0,0583	0,0000	1,0000	0,0157	1348,8914	1,3187	7,2754	0,0313	6,8669	1,0083	1,0076	0,1621	20	0
1389,4589	1538,2395	0,0584	0,0002	1,0009	0,0173	1432,8423	1,3151	7,3464	0,0347	7,2932	1,0099	1,0091	0,1934	21	1
1476,2256	1633,2619	0,0585	0,0008	1,0035	0,0190	1522,0607	1,3117	7,4156	0,0379	7,7361	1,0117	1,0108	0,2281	22	2
1567,8958	1733,4604	0,0588	0,0018	1,0080	0,0205	1615,7231	1,3085	7,4821	0,0409	8,1897	1,0137	1,0127	0,2660	23	3
1663,5503	1837,7926	0,0591	0,0031	1,0142	0,0218	1712,8206	1,3056	7,5453	0,0436	8,6469	1,0158	1,0147	0,3070	24	4
1762,0909	1945,0264	0,0596	0,0049	1,0221	0,0230	1812,1765	1,3028	7,6045	0,0459	9,0995	1,0180	1,0169	0,3506	25	5
1862,2621	2053,7673	0,0602	0,0071	1,0319	0,0238	1912,4726	1,3003	7,6593	0,0477	9,5392	1,0204	1,0192	0,3965	26	6
1962,6831	2162,4956	0,0608	0,0096	1,0433	0,0244	2012,2865	1,2981	7,7094	0,0488	9,9572	1,0228	1,0216	0,4442	27	7
2061,8898	2269,6153	0,0616	0,0126	1,0566	0,0247	2110,1373	1,2961	7,7548	0,0493	10,3445	1,0253	1,0241	0,4931	28	8
2158,3849	2373,5095	0,0625	0,0159	1,0715	0,0246	2204,5401	1,2943	7,7952	0,0491	10,6931	1,0278	1,0266	0,5424	29	9
2250,6954	2472,6037	0,0635	0,0196	1,0883	0,0241	2294,0639	1,2928	7,8309	0,0482	10,9955	1,0304	1,0291	0,5915	30	10
2337,4324	2565,4294	0,0645	0,0237	1,1067	0,0233	2377,3917	1,2915	7,8619	0,0465	11,2454	1,0328	1,0316	0,6397	31	11
2417,3510	2650,6872	0,0657	0,0282	1,1269	0,0221	2453,3782	1,2903	7,8885	0,0442	11,4381	1,0352	1,0340	0,6862	32	12
2489,4054	2727,3023	0,0670	0,0331	1,1487	0,0206	2521,0997	1,2894	7,9108	0,0413	11,5707	1,0375	1,0364	0,7304	33	13
2552,7940	2794,4696	0,0684	0,0383	1,1723	0,0190	2579,8932	1,2886	7,9292	0,0379	11,6419	1,0396	1,0386	0,7717	34	14
2606,9924	2851,6844	0,0698	0,0439	1,1976	0,0171	2629,3809	1,2880	7,9441	0,0342	11,6524	1,0416	1,0406	0,8096	35	15
2651,7694	2898,7547	0,0714	0,0499	1,2245	0,0151	2669,4776	1,2875	7,9556	0,0302	11,6049	1,0433	1,0424	0,8438	36	16
2687,1858	2935,7961	0,0731	0,0562	1,2531	0,0131	2700,3801	1,2872	7,9642	0,0262	11,5032	1,0449	1,0441	0,8740	37	17
2713,5743	2963,2078	0,0748	0,0630	1,2833	0,0111	2722,5394	1,2869	7,9701	0,0223	11,3527	1,0462	1,0455	0,9002	38	18
2731,5046	2981,6319	0,0767	0,0700	1,3152	0,0092	2736,6193	1,2868	7,9738	0,0185	11,1597	1,0474	1,0468	0,9225	39	19
2741,7341	2991,9014	0,0786	0,0775	1,3487	0,0075	2743,4428	1,2867	7,9756	0,0150	10,9310	1,0483	1,0478	0,9410	40	20

Продолжение таблицы А3

2745,1516	2994,9790	0,0807	0,0853	1,3838	0,0060	2743,9343	1,2867	7,9757	0,0119	10,6735	1,0491	1,0487	0,9560	41	21
2742,7171	2991,8950	0,0828	0,0934	1,4205	0,0046	2739,0608	1,2868	7,9745	0,0092	10,3940	1,0497	1,0494	0,9679	42	22
2735,4045	2983,6873	0,0851	0,1019	1,4587	0,0035	2729,7779	1,2869	7,9721	0,0070	10,0990	1,0502	1,0499	0,9771	43	23
2724,1514	2971,3499	0,0874	0,1108	1,4985	0,0026	2716,9854	1,2870	7,9689	0,0051	9,7940	1,0505	1,0504	0,9841	44	24
2709,8195	2955,7925	0,0898	0,1200	1,5398	0,0018	2701,4935	1,2872	7,9649	0,0037	9,4841	1,0508	1,0507	0,9892	45	25
2693,1675	2937,8137	0,0923	0,1295	1,5826	0,0013	2684,0025	1,2873	7,9604	0,0025	9,1734	1,0510	1,0509	0,9929	46	26
2674,8375	2918,0870	0,0949	0,1393	1,6270	0,0009	2665,0946	1,2875	7,9555	0,0017	8,8649	1,0511	1,0510	0,9955	47	27
2655,3518	2897,1596	0,0975	0,1495	1,6727	0,0006	2645,2361	1,2878	7,9503	0,0011	8,5614	1,0512	1,0512	0,9972	48	28
2635,1204	2875,4595	0,1003	0,1600	1,7200	0,0004	2624,7871	1,2880	7,9449	0,0007	8,2645	1,0513	1,0512	0,9983	49	29
2614,4537	2853,3107	0,1031	0,1708	1,7686	0,0002	2604,0163	1,2882	7,9393	0,0004	7,9757	1,0513	1,0513	0,9990	50	30

Таблица А4 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с двойным турбонаддувом при $n = 3200 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Средняя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от нача-ла горе- ния	Теку- щий угол ПКВ
735,4048	735,4048	0,1052	0,1708	1,7686	5,2E-08	701,2347			1,04E-07	1,91593	1	1	0	0	-30
667,0646	743,0076	0,1023	0,16	1,72	1E-06	670,6386	1,36838	6,4292	2,08E-06	1,99048	1	1	1,04E-07	1	-29
674,2125	750,8108	0,0995	0,1495	1,6727	5,4E-06	677,8383	1,37337	6,35664	1,08E-05	2,06817	1	1	2,19E-06	2	-28
681,4641	758,723	0,0968	0,1393	1,627	1,7E-05	685,1719	1,37215	6,37413	3,32E-05	2,14877	1	1	1,3E-05	3	-27
688,8796	766,8073	0,0942	0,1295	1,5826	3,9E-05	692,7133	1,37094	6,39169	7,71E-05	2,23247	1	1	4,62E-05	4	-26
696,547	775,1564	0,0916	0,12	1,5398	7,6E-05	700,5659	1,36972	6,40949	0,000152	2,31955	1,00001	1	0,000123	5	-25
704,5849	783,8955	0,0892	0,1108	1,4985	0,00013	708,8646	1,36848	6,42774	0,000267	2,41039	1,00001	1,00001	0,000275	6	-24
713,1443	793,1839	0,0868	0,1019	1,4587	0,00022	717,7772	1,36719	6,44674	0,000433	2,50551	1,00003	1,00002	0,000542	7	-23
722,41	803,2166	0,0845	0,0934	1,4205	0,00033	727,5055	1,36584	6,46681	0,000661	2,60556	1,00005	1,00004	0,000975	8	-22
732,601	814,2248	0,0823	0,0853	1,3838	0,00048	738,2858	1,36441	6,48834	0,000964	2,71135	1,00008	1,00007	0,001636	9	-21
743,9706	826,4757	0,0803	0,0775	1,3487	0,00068	750,3879	1,36286	6,51175	0,001352	2,82387	1,00013	1,00011	0,0026	10	-20
756,8051	840,2719	0,0783	0,07	1,3152	0,00092	764,1138	1,36118	6,53747	0,001838	2,9443	1,0002	1,00017	0,003951	11	-19
771,4224	855,9484	0,0764	0,063	1,2833	0,00122	779,795	1,35933	6,56595	0,002434	3,07397	1,0003	1,00025	0,005789	12	-18

Продолжение таблицы А4

788,1677	873,8699	0,0746	0,0562	1,2531	0,00158	797,789	1,35729	6,59763	0,003152	3,21443	1,00042	1,00036	0,008223	13	-17
807,4102	894,4252	0,0729	0,0499	1,2245	0,002	818,4732	1,35506	6,63288	0,004004	3,36735	1,00059	1,0005	0,011375	14	-16
829,5362	918,0217	0,0713	0,0439	1,1976	0,0025	842,2392	1,35261	6,67202	0,004999	3,53457	1,00079	1,00069	0,015379	15	-15
854,9423	945,0767	0,0698	0,0383	1,1723	0,00307	869,4845	1,34994	6,71527	0,006146	3,71799	1,00105	1,00092	0,020378	16	-14
884,0268	976,009	0,0684	0,0331	1,1487	0,00373	900,6037	1,34706	6,76271	0,007454	3,91959	1,00136	1,00121	0,026524	17	-13
917,1806	1011,228	0,0671	0,0282	1,1269	0,00446	935,9783	1,34398	6,81428	0,008927	4,14129	1,00175	1,00156	0,033978	18	-12
954,7759	1051,125	0,0659	0,0237	1,1067	0,00528	975,9659	1,34073	6,86979	0,010568	4,38495	1,00221	1,00198	0,042906	19	-11
997,1559	1096,055	0,0648	0,0196	1,0883	0,00619	1020,889	1,33733	6,92886	0,012375	4,65219	1,00275	1,00248	0,053474	20	-10
1044,623	1146,334	0,0638	0,0159	1,0715	0,00717	1071,023	1,33383	6,99101	0,014342	4,94439	1,00339	1,00307	0,065848	21	-9
1097,424	1202,215	0,0629	0,0126	1,0566	0,00823	1126,585	1,33027	7,0556	0,01646	5,26252	1,00412	1,00376	0,08019	22	-8
1155,745	1263,884	0,0621	0,0096	1,0433	0,00936	1187,717	1,32669	7,12194	0,018714	5,60706	1,00497	1,00455	0,096651	23	-7
1219,69	1331,444	0,0614	0,0071	1,0319	0,01054	1254,482	1,32314	7,18926	0,021081	5,97787	1,00593	1,00545	0,115364	24	-6
1289,275	1404,9	0,0608	0,0049	1,0221	0,01177	1326,845	1,31965	7,2568	0,023535	6,37416	1,00702	1,00648	0,136445	25	-5
1364,415	1484,152	0,0603	0,0031	1,0142	0,01302	1404,664	1,31627	7,3238	0,026041	6,79434	1,00823	1,00762	0,159979	26	-4
1444,913	1568,979	0,06	0,0018	1,008	0,01428	1487,682	1,31301	7,38957	0,028559	7,23597	1,00957	1,0089	0,18602	27	-3
1530,452	1659,036	0,0597	0,0008	1,0035	0,01552	1575,52	1,30991	7,45346	0,031043	7,69576	1,01104	1,0103	0,21458	28	-2
1620,588	1753,84	0,0596	0,0002	1,0009	0,01672	1667,668	1,30699	7,51495	0,033441	8,16951	1,01263	1,01183	0,245623	29	-1
1714,748	1852,778	0,0595	0	1	0,01785	1763,489	1,30425	7,57356	0,035697	8,65218	1,01435	1,01349	0,279064	30	0
1812,229	1955,097	0,0596	0,0002	1,0009	0,01888	1862,216	1,30171	7,62895	0,037752	9,13791	1,01619	1,01527	0,314761	31	1
1912,204	2059,919	0,0597	0,0008	1,0035	0,01977	1962,968	1,29936	7,68084	0,039546	9,6202	1,01813	1,01716	0,352513	32	2
2013,732	2166,248	0,06	0,0018	1,008	0,02051	2064,755	1,29722	7,72906	0,041021	10,092	1,02016	1,01915	0,392059	33	3
2115,778	2272,993	0,0603	0,0031	1,0142	0,02106	2166,503	1,29527	7,77349	0,042122	10,546	1,02227	1,02122	0,43308	34	4
2217,229	2378,985	0,0608	0,0049	1,0221	0,0214	2267,078	1,29351	7,81408	0,042804	10,9747	1,02444	1,02336	0,475202	35	5
2316,927	2483,013	0,0614	0,0071	1,0319	0,02151	2365,314	1,29193	7,85086	0,043027	11,3709	1,02664	1,02554	0,518006	36	6
2413,7	2583,856	0,0621	0,0096	1,0433	0,02138	2460,047	1,29053	7,88387	0,042768	11,7277	1,02885	1,02775	0,561033	37	7
2506,394	2680,318	0,0629	0,0126	1,0566	0,02101	2550,156	1,2893	7,91321	0,042015	12,0389	1,03105	1,02995	0,6038	38	8
2593,918	2771,273	0,0638	0,0159	1,0715	0,02039	2634,596	1,28823	7,93902	0,040776	12,2995	1,03321	1,03213	0,645815	39	9
2675,274	2855,697	0,0648	0,0196	1,0883	0,01954	2712,436	1,2873	7,96145	0,039074	12,5053	1,03531	1,03426	0,686592	40	10
2749,598	2932,709	0,0659	0,0237	1,1067	0,01848	2782,895	1,28651	7,98067	0,036951	12,6536	1,03732	1,03632	0,725666	41	11
2816,191	3001,601	0,0671	0,0282	1,1269	0,01723	2845,365	1,28584	7,99689	0,034465	12,7431	1,03922	1,03827	0,762617	42	12
2874,539	3061,863	0,0684	0,0331	1,1487	0,01584	2899,438	1,28529	8,01031	0,031685	12,774	1,04099	1,04011	0,797082	43	13
2924,337	3113,197	0,0698	0,0383	1,1723	0,01435	2944,913	1,28485	8,02115	0,028695	12,7478	1,04262	1,04181	0,828767	44	14

Продолжение таблицы А4

2965,488	3155,526	0,0713	0,0439	1,1976	0,01279	2981,797	1,28451	8,02962	0,025582	12,6675	1,0441	1,04336	0,857462	45	15
2998,106	3188,984	0,0729	0,0499	1,2245	0,01122	3010,301	1,28425	8,03596	0,022436	12,537	1,04541	1,04476	0,883044	46	16
3022,497	3213,906	0,0746	0,0562	1,2531	0,00967	3030,818	1,28407	8,0404	0,019343	12,3612	1,04657	1,04599	0,90548	47	17
3039,138	3230,8	0,0764	0,063	1,2833	0,00819	3043,893	1,28396	8,04314	0,016381	12,1458	1,04756	1,04707	0,924823	48	18
3048,647	3240,317	0,0783	0,07	1,3152	0,00681	3050,195	1,28391	8,0444	0,013616	11,8968	1,04841	1,04798	0,941203	49	19
3051,744	3243,208	0,0803	0,0775	1,3487	0,00555	3050,478	1,28391	8,04439	0,011101	11,6203	1,04911	1,04876	0,95482	50	20
3049,212	3240,291	0,0823	0,0853	1,3838	0,00443	3045,537	1,28396	8,04329	0,008868	11,3223	1,04968	1,04939	0,96592	51	21
3041,862	3232,405	0,0845	0,0934	1,4205	0,00347	3036,176	1,28404	8,04128	0,006936	11,0085	1,05013	1,0499	0,974789	52	22
3030,49	3220,375	0,0868	0,1019	1,4587	0,00265	3023,172	1,28415	8,03851	0,005307	10,6841	1,05049	1,05031	0,981725	53	23
3015,853	3204,985	0,0892	0,1108	1,4985	0,00198	3007,249	1,28429	8,03513	0,003969	10,3538	1,05076	1,05063	0,987032	54	24
2998,644	3186,946	0,0916	0,12	1,5398	0,00145	2989,057	1,28444	8,03125	0,002898	10,0215	1,05097	1,05086	0,991001	55	25
2979,471	3166,89	0,0942	0,1295	1,5826	0,00103	2969,164	1,28462	8,02698	0,002064	9,69062	1,05112	1,05104	0,993899	56	26
2958,858	3145,351	0,0968	0,1393	1,627	0,00072	2948,046	1,2848	8,02242	0,001433	9,36371	1,05122	1,05117	0,995963	57	27
2937,235	3122,775	0,0995	0,1495	1,6727	0,00048	2926,092	1,285	8,01762	0,000968	9,04286	1,0513	1,05126	0,997396	58	28
2914,949	3099,519	0,1023	0,16	1,72	0,00032	2903,61	1,2852	8,01264	0,000636	8,72961	1,05134	1,05132	0,998364	59	29
2892,271	3075,859	0,1052	0,1708	1,7686	0,0002	2880,838	1,28541	8,00754	0,000406	8,42505	1,05138	1,05136	0,999	60	30

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

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
653,989	653,989	0,1394	0,295	2,3276	2,6E-08	660,496			5,26E-08	1,28588	1	1	0	0	-40
667,002	660,591	0,1358	0,2814	2,2662	5,3E-07	670,301	1,37512	6,331558	1,06E-06	1,33409	1	1	5,26E-08	1	-39
673,599	667,298	0,1322	0,268	2,2059	2,8E-06	676,961	1,37343	6,355811	5,5E-06	1,38446	1	1	1,11E-06	2	-38
680,323	674,141	0,1286	0,2548	2,1468	8,4E-06	683,766	1,3723	6,372009	1,68E-05	1,43717	1	1	6,61E-06	3	-37
687,209	681,157	0,1251	0,242	2,0889	2E-05	690,759	1,37117	6,388336	3,91E-05	1,49237	1	1,000001	2,34E-05	4	-36
694,309	688,397	0,1218	0,2294	2,0323	3,8E-05	697,999	1,37004	6,404884	7,7E-05	1,55028	1	1,000002	6,26E-05	5	-35
701,688	695,928	0,1184	0,2171	1,9769	6,8E-05	705,561	1,36888	6,421776	0,000135	1,61114	1,00001	1,000005	0,00014	6	-34

Продолжение таблицы А5

709,433	703,838	0,1152	0,2051	1,9228	0,00011	713,54	1,3677	6,439168	0,00022	1,6753	1,00001	1,000011	0,000275	7	-33
717,647	712,231	0,112	0,1933	1,87	0,00017	722,05	1,36649	6,457245	0,000336	1,74312	1,00003	1,00002	0,000495	8	-32
726,452	721,231	0,109	0,1819	1,8186	0,00024	731,221	1,36522	6,476222	0,00049	1,81507	1,00004	1,000034	0,000831	9	-31
735,991	730,982	0,106	0,1708	1,7686	0,00034	741,208	1,36388	6,496335	0,000687	1,8917	1,00007	1,000055	0,00132	10	-30
746,425	741,649	0,103	0,16	1,72	0,00047	752,18	1,36246	6,517842	0,000935	1,97364	1,0001	1,000086	0,002007	11	-29
757,935	753,414	0,1002	0,1495	1,6727	0,00062	764,328	1,36094	6,541014	0,00124	2,06163	1,00015	1,000128	0,002942	12	-28
770,72	766,48	0,0975	0,1393	1,627	0,0008	777,859	1,35932	6,566123	0,001607	2,15652	1,00022	1,000184	0,004182	13	-27
784,998	781,066	0,0948	0,1295	1,5826	0,00102	793	1,35756	6,593439	0,002045	2,25925	1,0003	1,000257	0,005789	14	-26
801,001	797,408	0,0922	0,12	1,5398	0,00128	809,988	1,35567	6,623213	0,002559	2,37089	1,0004	1,000351	0,007835	15	-25
818,974	815,754	0,0898	0,1108	1,4985	0,00158	829,074	1,35363	6,655665	0,003156	2,49261	1,00054	1,00047	0,010394	16	-24
839,173	836,364	0,0874	0,1019	1,4587	0,00192	850,518	1,35143	6,690975	0,003841	2,62568	1,0007	1,000617	0,01355	17	-23
861,863	859,505	0,0851	0,0934	1,4205	0,00231	874,586	1,34908	6,729264	0,004619	2,77148	1,0009	1,000797	0,017391	18	-22
887,309	885,447	0,0829	0,0853	1,3838	0,00275	901,544	1,34659	6,770588	0,005495	2,93144	1,00113	1,001015	0,02201	19	-21
915,778	914,46	0,0808	0,0775	1,3487	0,00324	931,654	1,34394	6,814925	0,006473	3,10708	1,00142	1,001276	0,027505	20	-20
947,531	946,806	0,0788	0,07	1,3152	0,00378	965,173	1,34117	6,862173	0,007556	3,29992	1,00175	1,001585	0,033978	21	-19
982,816	982,738	0,0769	0,063	1,2833	0,00437	1002,34	1,33829	6,912145	0,008743	3,5115	1,00214	1,001946	0,041534	22	-18
1021,87	1022,49	0,0751	0,0562	1,2531	0,00502	1043,38	1,33531	6,964575	0,010036	3,74328	1,00259	1,002366	0,050277	23	-17
1064,9	1066,27	0,0734	0,0499	1,2245	0,00572	1088,49	1,33227	7,019125	0,011432	3,99666	1,00311	1,00285	0,060313	24	-16
1112,08	1114,27	0,0717	0,0439	1,1976	0,00646	1137,83	1,3292	7,075395	0,012926	4,27286	1,0037	1,003403	0,071745	25	-15
1163,58	1166,64	0,0702	0,0383	1,1723	0,00726	1191,54	1,32611	7,132941	0,014512	4,57289	1,00436	1,004031	0,084671	26	-14
1219,5	1223,47	0,0688	0,0331	1,1487	0,00809	1249,7	1,32303	7,191286	0,016181	4,8975	1,00511	1,004738	0,099183	27	-13
1279,9	1284,82	0,0675	0,0282	1,1269	0,00896	1312,34	1,32	7,249945	0,017921	5,24707	1,00595	1,005529	0,115364	28	-12
1344,78	1350,71	0,0663	0,0237	1,1067	0,00986	1379,44	1,31704	7,308436	0,019716	5,62155	1,00687	1,006408	0,133285	29	-11
1414,1	1421,08	0,0652	0,0196	1,0883	0,01078	1450,92	1,31415	7,366296	0,02155	6,02041	1,00789	1,007378	0,153001	30	-10
1487,74	1495,79	0,0642	0,0159	1,0715	0,0117	1526,63	1,31138	7,423094	0,023401	6,44256	1,009	1,008442	0,174551	31	-9
1565,52	1574,65	0,0633	0,0126	1,0566	0,01262	1606,34	1,30872	7,478441	0,025246	6,88628	1,0102	1,0096	0,197953	32	-8
1647,17	1657,41	0,0625	0,0096	1,0433	0,01353	1689,76	1,30619	7,531996	0,027058	7,34921	1,0115	1,010854	0,223198	33	-7
1732,36	1743,7	0,0618	0,0071	1,0319	0,0144	1776,51	1,30379	7,58347	0,028808	7,82829	1,0129	1,012202	0,250256	34	-6
1820,67	1833,1	0,0612	0,0049	1,0221	0,01523	1866,14	1,30154	7,632623	0,030466	8,31978	1,01438	1,013642	0,279064	35	-5
1911,62	1925,12	0,0608	0,0031	1,0142	0,016	1958,13	1,29943	7,67927	0,032001	8,81927	1,01595	1,015169	0,309531	36	-4
2004,63	2019,17	0,0604	0,0018	1,008	0,01669	2051,86	1,29747	7,723271	0,033379	9,32175	1,0176	1,016779	0,341531	37	-3
2099,09	2114,6	0,0601	0,0008	1,0035	0,01728	2146,68	1,29566	7,764531	0,034569	9,82167	1,01932	1,018464	0,37491	38	-2

Продолжение таблицы А5

2194,28	2210,72	0,06	0,0002	1,0009	0,01777	2241,87	1,29399	7,802995	0,035541	10,3131	1,02111	1,020215	0,409479	39	-1
2289,47	2306,76	0,0599	0	1	0,01813	2336,67	1,29246	7,838642	0,036266	10,7897	1,02294	1,022022	0,44502	40	0
2383,88	2401,93	0,06	0,0002	1,0009	0,01836	2430,29	1,29106	7,871482	0,03672	11,2452	1,02481	1,023873	0,481286	41	1
2476,7	2495,42	0,0601	0,0008	1,0035	0,01844	2521,91	1,28979	7,901548	0,036885	11,6734	1,0267	1,025754	0,518006	42	2
2567,12	2586,41	0,0604	0,0018	1,008	0,01837	2610,74	1,28865	7,928898	0,036746	12,0682	1,0286	1,027651	0,554891	43	3
2654,36	2674,09	0,0608	0,0031	1,0142	0,01815	2696	1,28762	7,953605	0,036296	12,424	1,0305	1,029548	0,591636	44	4
2737,64	2757,71	0,0612	0,0049	1,0221	0,01777	2776,95	1,28671	7,975757	0,035538	12,7359	1,03237	1,031431	0,627933	45	5
2816,26	2836,55	0,0618	0,0071	1,0319	0,01724	2852,92	1,2859	7,995455	0,034478	12,9998	1,0342	1,033282	0,66347	46	6
2889,58	2909,96	0,0625	0,0096	1,0433	0,01657	2923,31	1,28519	8,012811	0,033135	13,2126	1,03598	1,035087	0,697949	47	7
2957,05	2977,39	0,0633	0,0126	1,0566	0,01577	2987,62	1,28458	8,027941	0,031534	13,3719	1,03768	1,036829	0,731084	48	8
3018,2	3038,4	0,0642	0,0159	1,0715	0,01485	3045,46	1,28405	8,040971	0,029705	13,4768	1,03931	1,038496	0,762617	49	9
3072,71	3092,63	0,0652	0,0196	1,0883	0,01384	3096,53	1,28361	8,052029	0,027689	13,5272	1,04084	1,040074	0,792323	50	10
3120,35	3139,89	0,0663	0,0237	1,1067	0,01276	3140,69	1,28324	8,061248	0,025529	13,5243	1,04227	1,041553	0,820012	51	11
3161,02	3180,08	0,0675	0,0282	1,1269	0,01164	3177,89	1,28293	8,068762	0,023271	13,47	1,04358	1,042925	0,84554	52	12
3194,76	3213,23	0,0688	0,0331	1,1487	0,01048	3208,23	1,2827	8,074706	0,020964	13,3674	1,04478	1,044182	0,868811	53	13
3221,69	3239,5	0,0702	0,0383	1,1723	0,00933	3231,89	1,28252	8,079213	0,018656	13,2201	1,04586	1,045323	0,889775	54	14
3242,09	3259,14	0,0717	0,0439	1,1976	0,0082	3249,18	1,28239	8,082416	0,016392	13,0325	1,04682	1,046344	0,90843	55	15
3256,28	3272,52	0,0734	0,0499	1,2245	0,00711	3260,49	1,28231	8,084443	0,014215	12,8093	1,04767	1,047247	0,924823	56	16
3264,7	3280,08	0,0751	0,0562	1,2531	0,00608	3266,27	1,28227	8,085419	0,01216	12,5553	1,0484	1,048036	0,939038	57	17
3267,83	3282,3	0,0769	0,063	1,2833	0,00513	3267,02	1,28227	8,085464	0,010256	12,2757	1,04903	1,048715	0,951198	58	18
3266,2	3279,73	0,0788	0,07	1,3152	0,00426	3263,29	1,2823	8,08469	0,008524	11,9754	1,04956	1,049293	0,961454	59	19
3260,37	3272,93	0,0808	0,0775	1,3487	0,00349	3255,62	1,28236	8,083205	0,006977	11,6592	1,05	1,049777	0,969977	60	20
3250,87	3262,45	0,0829	0,0853	1,3838	0,00281	3244,57	1,28244	8,081107	0,005622	11,3314	1,05036	1,050177	0,976954	61	21
3238,27	3248,86	0,0851	0,0934	1,4205	0,00223	3230,66	1,28255	8,078485	0,004456	10,9962	1,05065	1,050501	0,982576	62	22
3223,06	3232,66	0,0874	0,1019	1,4587	0,00174	3214,39	1,28267	8,075422	0,003473	10,6572	1,05088	1,050761	0,987032	63	23
3205,73	3214,35	0,0898	0,1108	1,4985	0,00133	3196,21	1,28281	8,071991	0,00266	10,3175	1,05105	1,050965	0,990506	64	24
3186,7	3194,36	0,0922	0,12	1,5398	0,001	3176,53	1,28296	8,068254	0,002001	9,97969	1,05119	1,051123	0,993166	65	25
3166,36	3173,08	0,0948	0,1295	1,5826	0,00074	3155,7	1,28311	8,064268	0,001477	9,64605	1,0513	1,051244	0,995167	66	26
3145,04	3150,83	0,0975	0,1393	1,627	0,00053	3134,02	1,28328	8,060081	0,001069	9,31833	1,05137	1,051333	0,996644	67	27
3123	3127,9	0,1002	0,1495	1,6727	0,00038	3111,74	1,28346	8,055731	0,000759	8,99791	1,05143	1,051399	0,997714	68	28
3100,48	3104,51	0,103	0,16	1,72	0,00026	3089,07	1,28364	8,051252	0,000528	8,68583	1,05147	1,051446	0,998473	69	29
3077,67	3080,86	0,106	0,1708	1,7686	0,00018	#3HAY!	1,28382	8,046672	0,000359	8,38286	1,05149	1,051479	0,999	70	30

Таблица А6 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с двойным турбонаддувом при $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред-няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
623,27	623,27	0,1639	0,36705	2,6517	1,44E-07	587,55			2,88E-07	1,04279	1	1	0	0	-45
551,82	629,51	0,1597	0,3522	2,5849	2,16E-06	554,75	1,390	6,13	4,32E-06	1,080455	1	1	2,88E-07	1	-44
557,67	636,04	0,1557	0,33757	2,5191	9,35E-06	560,69	1,397	6,03	1,87E-05	1,120183	1	1	4,6E-06	2	-43
563,70	642,76	0,1517	0,32318	2,4543	2,52E-05	566,84	1,396	6,05	5,03E-05	1,16189	1,000001	1,000001	2,33E-05	3	-42
569,97	649,72	0,1477	0,30903	2,3906	5,31E-05	573,26	1,394	6,07	0,000106	1,205778	1,000004	1,000002	7,37E-05	4	-41
576,55	657,01	0,1439	0,29511	2,328	9,65E-05	580,05	1,393	6,09	0,000193	1,252093	1,000009	1,000007	0,00018	5	-40
583,54	664,71	0,1401	0,28146	2,2665	0,000159	587,29	1,391	6,11	0,000318	1,301132	1,000019	1,000014	0,000373	6	-39
591,03	672,93	0,1363	0,26805	2,2062	0,000244	595,10	1,390	6,13	0,000487	1,353245	1,000036	1,000027	0,000691	7	-38
599,16	681,79	0,1327	0,25492	2,1471	0,000354	603,60	1,388	6,16	0,000708	1,408843	1,000061	1,000048	0,001178	8	-37
608,05	691,43	0,1291	0,24205	2,0892	0,000494	612,95	1,386	6,18	0,000987	1,468398	1,000097	1,000079	0,001886	9	-36
617,85	701,98	0,1256	0,22946	2,0325	0,000665	623,29	1,384	6,21	0,001331	1,532449	1,000148	1,000123	0,002873	10	-35
628,72	713,63	0,1222	0,21715	1,9772	0,000872	634,78	1,382	6,24	0,001745	1,601604	1,000217	1,000182	0,004204	11	-34
640,83	726,52	0,1188	0,20512	1,9231	0,001118	647,60	1,380	6,27	0,002235	1,676544	1,000307	1,000262	0,005948	12	-33
654,36	740,85	0,1156	0,1934	1,8703	0,001404	661,93	1,377	6,30	0,002808	1,758021	1,000422	1,000364	0,008184	13	-32
669,49	756,79	0,1124	0,18197	1,8189	0,001734	677,95	1,375	6,34	0,003468	1,846859	1,000567	1,000494	0,010992	14	-31
686,41	774,53	0,1093	0,17085	1,7688	0,00211	695,85	1,372	6,38	0,004219	1,943951	1,000746	1,000656	0,01446	15	-30
705,30	794,25	0,1063	0,16004	1,7202	0,002532	715,82	1,369	6,42	0,005065	2,050254	1,000963	1,000854	0,018679	16	-29
726,34	816,15	0,1034	0,14954	1,6729	0,003004	738,03	1,366	6,46	0,006008	2,166782	1,001224	1,001094	0,023744	17	-28
749,72	840,40	0,1006	0,13936	1,6271	0,003525	762,65	1,363	6,51	0,007049	2,294595	1,001534	1,001379	0,029751	18	-27
775,59	867,16	0,0978	0,12951	1,5828	0,004095	789,85	1,359	6,56	0,00819	2,434785	1,001897	1,001716	0,036801	19	-26
804,12	896,59	0,0952	0,11999	1,54	0,004714	819,78	1,356	6,62	0,009427	2,588462	1,00232	1,002108	0,044991	20	-25
835,44	928,83	0,0926	0,11081	1,4986	0,00538	852,55	1,352	6,68	0,010759	2,756731	1,002806	1,002563	0,054418	21	-24
869,66	963,99	0,0902	0,10197	1,4588	0,00609	888,27	1,349	6,74	0,012181	2,940668	1,00336	1,003083	0,065177	22	-23
906,89	1002,16	0,0878	0,09346	1,4206	0,006842	927,03	1,345	6,80	0,013684	3,141295	1,003988	1,003674	0,077358	23	-22
947,18	1043,41	0,0855	0,08531	1,3839	0,00763	968,87	1,341	6,86	0,015261	3,359539	1,004694	1,004341	0,091042	24	-21
990,57	1087,78	0,0834	0,07751	1,3488	0,008449	1013,81	1,338	6,92	0,016899	3,596204	1,005481	1,005087	0,106303	25	-20

Продолжение таблицы А6

1037,06	1135,25	0,0813	0,07007	1,3153	0,009293	1061,84	1,334	6,98	0,018585	3,851925	1,006352	1,005916	0,123202	26	-19
1086,61	1185,80	0,0793	0,06298	1,2834	0,010152	1112,88	1,331	7,05	0,020303	4,127124	1,00731	1,006831	0,141787	27	-18
1139,15	1239,33	0,0774	0,05626	1,2532	0,011017	1166,85	1,327	7,11	0,022035	4,421962	1,008357	1,007833	0,16209	28	-17
1194,55	1295,72	0,0757	0,0499	1,2246	0,01188	1223,60	1,324	7,17	0,023759	4,736293	1,009493	1,008925	0,184125	29	-16
1252,65	1354,81	0,074	0,04392	1,1976	0,012727	1282,95	1,321	7,23	0,025454	5,069613	1,010718	1,010105	0,207884	30	-15
1313,24	1416,38	0,0725	0,0383	1,1724	0,013547	1344,65	1,318	7,28	0,027094	5,421015	1,01203	1,011374	0,233338	31	-14
1376,05	1480,16	0,071	0,03306	1,1488	0,014327	1408,42	1,315	7,34	0,028655	5,789149	1,013427	1,012729	0,260432	32	-13
1440,79	1545,85	0,0696	0,0282	1,1269	0,015055	1473,94	1,313	7,39	0,03011	6,17219	1,014904	1,014166	0,289087	33	-12
1507,09	1613,09	0,0684	0,02372	1,1067	0,015716	1540,83	1,310	7,44	0,031432	6,567816	1,016457	1,015681	0,319197	34	-11
1574,58	1681,48	0,0673	0,01962	1,0883	0,016297	1608,69	1,308	7,49	0,032595	6,973201	1,018077	1,017267	0,350628	35	-10
1642,80	1750,59	0,0662	0,0159	1,0716	0,016787	1677,06	1,306	7,54	0,033575	7,38503	1,019758	1,018918	0,383223	36	-9
1711,31	1819,96	0,0653	0,01257	1,0566	0,017174	1745,46	1,304	7,58	0,034348	7,799529	1,021489	1,020623	0,416798	37	-8
1779,61	1889,08	0,0645	0,00963	1,0433	0,017447	1813,41	1,302	7,62	0,034894	8,212514	1,02326	1,022374	0,451145	38	-7
1847,20	1957,45	0,0638	0,00708	1,0319	0,017598	1880,38	1,301	7,65	0,035196	8,619475	1,025059	1,024159	0,486039	39	-6
1913,55	2024,55	0,0632	0,00492	1,0221	0,017622	1945,85	1,299	7,69	0,035243	9,015666	1,026873	1,025966	0,521235	40	-5
1978,15	2089,87	0,0627	0,00315	1,0142	0,017513	2009,33	1,298	7,72	0,035027	9,396223	1,02869	1,027782	0,556479	41	-4
2040,51	2152,89	0,0623	0,00177	1,008	0,017273	2070,32	1,296	7,75	0,034545	9,756296	1,030496	1,029593	0,591505	42	-3
2100,12	2213,15	0,062	0,00079	1,0035	0,016901	2128,34	1,295	7,77	0,033802	10,09119	1,032277	1,031387	0,626051	43	-2
2156,56	2270,19	0,0619	0,0002	1,0009	0,016404	2182,99	1,294	7,79	0,032808	10,3965	1,03402	1,033149	0,659853	44	-1
2209,41	2323,61	0,0618	0	1	0,015789	2233,87	1,293	7,81	0,031579	10,66827	1,035711	1,034866	0,692661	45	0
2258,33	2373,05	0,0619	0,0002	1,0009	0,015068	2280,67	1,293	7,83	0,030135	10,90309	1,03734	1,036526	0,72424	46	1
2303,01	2418,23	0,062	0,00079	1,0035	0,014252	2323,12	1,292	7,85	0,028504	11,09823	1,038893	1,038116	0,754375	47	2
2343,24	2458,92	0,0623	0,00177	1,008	0,013359	2361,04	1,291	7,86	0,026717	11,25172	1,040363	1,039628	0,782879	48	3
2378,85	2494,95	0,0627	0,00315	1,0142	0,012404	2394,30	1,291	7,87	0,024808	11,36237	1,04174	1,041052	0,809597	49	4
2409,76	2526,26	0,0632	0,00492	1,0221	0,011407	2422,85	1,291	7,88	0,022814	11,42983	1,043019	1,04238	0,834405	50	5
2435,95	2552,81	0,0638	0,00708	1,0319	0,010386	2446,72	1,290	7,89	0,020771	11,45457	1,044196	1,043607	0,857218	51	6
2457,49	2574,67	0,0645	0,00963	1,0433	0,009359	2465,99	1,290	7,90	0,018718	11,4378	1,045266	1,044731	0,87799	52	7
2474,49	2591,95	0,0653	0,01257	1,0566	0,008345	2480,81	1,290	7,90	0,016691	11,38143	1,046232	1,045749	0,896708	53	8
2487,13	2604,84	0,0662	0,0159	1,0716	0,007361	2491,38	1,290	7,91	0,014721	11,28797	1,047092	1,046662	0,913399	54	9
2495,63	2613,56	0,0673	0,01962	1,0883	0,006419	2497,95	1,290	7,91	0,012839	11,1604	1,047851	1,047472	0,92812	55	10
2500,27	2618,38	0,0684	0,02372	1,1067	0,005534	2500,81	1,289	7,91	0,011068	11,00206	1,048513	1,048182	0,940959	56	11
2501,35	2619,60	0,0696	0,0282	1,1269	0,004714	2500,27	1,289	7,91	0,009428	10,81654	1,049084	1,048798	0,952026	57	12

Продолжение таблицы А6

2499,18	2617,53	0,071	0,03306	1,1488	0,003966	2496,64	1,290	7,91	0,007933	10,60753	1,04957	1,049327	0,961454	58	13
2494,10	2612,52	0,0725	0,0383	1,1724	0,003295	2490,28	1,290	7,91	0,006591	10,37874	1,049979	1,049774	0,969387	59	14
2486,45	2604,90	0,074	0,04392	1,1976	0,002702	2481,50	1,290	7,90	0,005405	10,13376	1,050318	1,050149	0,975978	60	15
2476,552	2595,00	0,0757	0,0499	1,2246	0,002186	2470,637	1,290	7,90	0,004373	9,876032	1,050597	1,050458	0,981382	61	16
2464,72	2583,12	0,0774	0,05626	1,2532	0,001745	2457,99	1,290	7,90	0,003489	9,608773	1,050822	1,05071	0,985755	62	17
2451,26	2569,58	0,0793	0,06298	1,2834	0,001373	2443,85	1,290	7,89	0,002745	9,334908	1,051002	1,050912	0,989245	63	18
2436,44	2554,65	0,0813	0,07007	1,3153	0,001064	2428,47	1,290	7,89	0,002128	9,057066	1,051144	1,051073	0,99199	64	19
2420,50	2538,57	0,0834	0,07751	1,3488	0,000813	2412,09	1,291	7,88	0,001625	8,777564	1,051254	1,051199	0,994118	65	20
2403,68	2521,57	0,0855	0,08531	1,3839	0,000611	2394,92	1,291	7,88	0,001222	8,498405	1,051337	1,051296	0,995743	66	21
2386,15	2503,84	0,0878	0,09346	1,4206	0,000452	2377,13	1,291	7,87	0,000905	8,221296	1,0514	1,051369	0,996966	67	22
2368,10	2485,56	0,0902	0,10197	1,4588	0,000329	2358,89	1,291	7,87	0,000659	7,94766	1,051447	1,051424	0,99787	68	23
2349,67	2466,85	0,0926	0,11081	1,4986	0,000236	2340,32	1,292	7,86	0,000472	7,678667	1,051481	1,051464	0,998529	69	24
2330,97	2447,86	0,0952	0,11999	1,54	0,000166	2321,53	1,292	7,85	0,000332	7,415256	1,051505	1,051493	0,999	70	25

Таблица А7 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя без наддува при $n = 880 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участке темпре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
866,1366	866,1366	0,09605	0,0439	1,1866	6,5E-07	869,2227			1,3E-06	2,47254	1	1	0	0	-15
872,3089	872,328	0,09412	0,0383	1,1627	1,1E-05	875,3677	1,3472	6,7597	2,2E-05	2,5413	1	1	1,29E-06	1	-14
878,4264	878,4833	0,09231	0,0331	1,1405	5,3E-05	881,6078	1,3466	6,77	0,00011	2,60919	1	1	2,37E-05	2	-13
884,7893	884,8865	0,09064	0,0282	1,1198	0,00015	888,3093	1,346	6,7805	0,00031	2,67669	1	1	0,00013	3	-12
891,8294	891,9723	0,0891	0,0237	1,1008	0,00034	895,9816	1,3453	6,7916	0,00068	2,74483	1	1	0,000436	4	-11
900,1338	900,3315	0,08769	0,0196	1,0834	0,00064	905,2895	1,3446	6,8042	0,00128	2,81516	1,0001	1	0,001112	5	-10
910,4451	910,7115	0,08641	0,0159	1,0676	0,00109	917,0498	1,3437	6,8194	0,00217	2,88987	1,0001	1,0001	0,00239	6	-9
923,6544	924,0091	0,08527	0,0126	1,0534	0,00171	932,2201	1,3426	6,8383	0,00342	2,97169	1,0002	1,0002	0,004562	7	-8
940,7858	941,2543	0,08426	0,0096	1,0409	0,00254	951,8774	1,3412	6,8621	0,00507	3,06392	1,0004	1,0003	0,007979	8	-7
962,969	963,5826	0,08338	0,0071	1,0301	0,0036	977,1841	1,3394	6,8923	0,00719	3,1703	1,0007	1,0005	0,013052	9	-6

Продолжение таблицы А7

991,3992	992,1938	0,08264	0,0049	1,0209	0,00491	1009,341	1,3373	6,9297	0,00981	3,29482	1,001	1,0008	0,020243	10	-5
1027,284	1028,298	0,08203	0,0031	1,0134	0,00649	1049,53	1,3347	6,9751	0,01297	3,44153	1,0015	1,0013	0,030057	11	-4
1071,776	1073,048	0,08155	0,0018	1,0075	0,00834	1098,839	1,3317	7,0289	0,01667	3,61424	1,0022	1,0018	0,043028	12	-3
1125,901	1127,464	0,08122	0,0008	1,0033	0,01045	1158,187	1,3284	7,0907	0,0209	3,81622	1,003	1,0026	0,059699	13	-2
1190,472	1192,356	0,08101	0,0002	1,0008	0,0128	1228,242	1,3247	7,1597	0,0256	4,04982	1,0041	1,0035	0,080597	14	-1
1266,012	1268,234	0,08094	0	1	0,01535	1309,341	1,3208	7,2342	0,03071	4,3162	1,0054	1,0047	0,106202	15	0
1352,67	1355,24	0,08101	0,0002	1,0008	0,01804	1401,414	1,3168	7,3125	0,03607	4,61498	1,0069	1,0061	0,136907	16	1
1450,158	1453,072	0,08122	0,0008	1,0033	0,02077	1503,923	1,3129	7,3925	0,04154	4,94403	1,0088	1,0078	0,17298	17	2
1557,689	1560,935	0,08155	0,0018	1,0075	0,02345	1615,82	1,309	7,472	0,04689	5,29929	1,0109	1,0098	0,21452	18	3
1673,951	1677,508	0,08203	0,0031	1,0134	0,02594	1735,526	1,3054	7,549	0,05189	5,6747	1,0132	1,012	0,261413	19	4
1797,101	1800,94	0,08264	0,0049	1,0209	0,02813	1860,952	1,302	7,622	0,05626	6,06231	1,0159	1,0145	0,313302	20	5
1924,802	1928,892	0,08338	0,0071	1,0301	0,02987	1989,554	1,299	7,6896	0,05974	6,45248	1,0187	1,0173	0,369562	21	6
2054,306	2058,611	0,08426	0,0096	1,0409	0,03103	2118,442	1,2963	7,7509	0,06206	6,83434	1,0217	1,0202	0,429298	22	7
2182,578	2187,064	0,08527	0,0126	1,0534	0,03152	2244,523	1,2939	7,8052	0,06304	7,19632	1,0249	1,0233	0,491361	23	8
2306,469	2311,101	0,08641	0,0159	1,0676	0,03126	2364,691	1,2919	7,8524	0,06252	7,52691	1,028	1,0265	0,554397	24	9
2422,913	2427,658	0,08769	0,0196	1,0834	0,03024	2476,028	1,2902	7,8924	0,06048	7,81544	1,0312	1,0296	0,616919	25	10
2529,142	2533,97	0,0891	0,0237	1,1008	0,02849	2576,012	1,2888	7,9255	0,05697	8,05287	1,0343	1,0327	0,677395	26	11
2622,882	2627,766	0,09064	0,0282	1,1198	0,0261	2662,702	1,2877	7,9521	0,05219	8,23257	1,0372	1,0357	0,734369	27	12
2702,522	2707,439	0,09231	0,0331	1,1405	0,02321	2734,868	1,2868	7,9726	0,04642	8,35076	1,0398	1,0385	0,786563	28	13
2767,215	2772,145	0,09412	0,0383	1,1627	0,02001	2792,062	1,2862	7,9879	0,04001	8,40679	1,0421	1,041	0,832984	29	14
2816,909	2821,837	0,09605	0,0439	1,1866	0,01668	2834,601	1,2858	7,9985	0,03336	8,40306	1,0442	1,0432	0,872994	30	15
2852,294	2857,207	0,09811	0,0499	1,212	0,01342	2863,484	1,2855	8,0053	0,02685	8,34464	1,0459	1,045	0,906351	31	16
2874,673	2879,562	0,10029	0,0562	1,239	0,01041	2880,229	1,2854	8,0089	0,02081	8,23862	1,0472	1,0465	0,933198	32	17
2885,786	2890,644	0,1026	0,063	1,2676	0,00775	2886,691	1,2853	8,01	0,01551	8,09329	1,0483	1,0477	0,954011	33	18
2887,595	2892,419	0,10504	0,07	1,2977	0,00554	2884,843	1,2853	8,0092	0,01108	7,91733	1,0491	1,0487	0,96952	34	19
2882,092	2886,877	0,1076	0,0775	1,3293	0,00379	2876,605	1,2854	8,007	0,00758	7,71907	1,0496	1,0493	0,980603	35	20
2871,119	2875,866	0,11028	0,0853	1,3625	0,00247	2863,691	1,2856	8,0038	0,00494	7,50595	1,05	1,0498	0,988178	36	21
2856,264	2860,972	0,11309	0,0934	1,3971	0,00153	2847,53	1,2857	7,9999	0,00307	7,28414	1,0502	1,0501	0,993119	37	22
2838,795	2843,466	0,11601	0,1019	1,4332	0,0009	2829,231	1,2859	7,9955	0,00181	7,05848	1,0504	1,0503	0,996186	38	23
2819,666	2824,299	0,11905	0,1108	1,4708	0,0005	2809,605	1,2861	7,9908	0,00101	6,83258	1,0505	1,0504	0,997993	39	24
2799,545	2804,141	0,12221	0,12	1,5098	0,00026	2789,21	1,2863	7,986	0,00053	6,60893	1,0505	1,0505	0,999	40	25

Таблица А8 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя без наддува при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
743,1535	743,1535	0,1471	0,1708	1,7259	5,2E-08	705,109			1,04E-07	1,38494	1	1	0	0	-30
667,0646	750,5723	0,1432	0,16	1,68	1E-06	670,6386	1,36778	6,43807	2,08E-06	1,43702	1	1	1,04E-07	1	-29
674,2125	758,1899	0,1394	0,1495	1,6354	5,4E-06	677,8383	1,37337	6,35664	1,08E-05	1,49119	1	1	2,19E-06	2	-28
681,4641	765,9052	0,1357	0,1393	1,5921	1,7E-05	685,1719	1,37215	6,37413	3,32E-05	1,54727	1	1	1,3E-05	3	-27
688,8796	773,7806	0,1322	0,1295	1,5503	3,9E-05	692,7133	1,37094	6,39169	7,71E-05	1,60538	1	1	4,62E-05	4	-26
696,547	781,9082	0,1287	0,12	1,5098	7,6E-05	700,5659	1,36972	6,40949	0,000152	1,6657	1,00001	1	0,000123	5	-25
704,5849	790,4121	0,1254	0,1108	1,4708	0,00013	708,8646	1,36848	6,42774	0,000267	1,7285	1,00001	1,00001	0,000275	6	-24
713,1443	799,4503	0,1222	0,1019	1,4332	0,00022	717,7772	1,36719	6,44674	0,000433	1,79413	1,00003	1,00002	0,000542	7	-23
722,41	809,2162	0,1191	0,0934	1,3971	0,00033	727,5055	1,36584	6,46681	0,000661	1,86302	1,00005	1,00004	0,000975	8	-22
732,601	819,9393	0,1161	0,0853	1,3625	0,00048	738,2858	1,36441	6,48834	0,000964	1,93576	1,00008	1,00007	0,001636	9	-21
743,9706	831,8851	0,1133	0,0775	1,3293	0,00068	750,3879	1,36286	6,51175	0,001352	2,01301	1,00013	1,00011	0,0026	10	-20
756,8051	845,3537	0,1106	0,07	1,2977	0,00092	764,1138	1,36118	6,53747	0,001838	2,09559	1,0002	1,00017	0,003951	11	-19
771,4224	860,678	0,1081	0,063	1,2676	0,00122	779,795	1,35933	6,56595	0,002434	2,18443	1,0003	1,00025	0,005789	12	-18
788,1677	878,22	0,1056	0,0562	1,239	0,00158	797,789	1,35729	6,59763	0,003152	2,28058	1,00042	1,00036	0,008223	13	-17
807,4102	898,3663	0,1033	0,0499	1,212	0,002	818,4732	1,35506	6,63288	0,004004	2,38521	1,00058	1,0005	0,011375	14	-16
829,5362	921,5214	0,1012	0,0439	1,1866	0,0025	842,2392	1,35261	6,67202	0,004999	2,4996	1,00078	1,00068	0,015379	15	-15
854,9423	948,1005	0,0991	0,0383	1,1627	0,00307	869,4845	1,34994	6,71527	0,006146	2,62505	1,00104	1,00091	0,020378	16	-14
884,0268	978,5201	0,0972	0,0331	1,1405	0,00373	900,6037	1,34706	6,76271	0,007454	2,76295	1,00135	1,0012	0,026524	17	-13
917,1806	1013,188	0,0955	0,0282	1,1198	0,00446	935,9783	1,34398	6,81428	0,008927	2,91461	1,00173	1,00154	0,033978	18	-12
954,7759	1052,493	0,0938	0,0237	1,1008	0,00528	975,9659	1,34073	6,86979	0,010568	3,08134	1,00219	1,00196	0,042906	19	-11
997,1559	1096,792	0,0924	0,0196	1,0834	0,00619	1020,889	1,33733	6,92886	0,012375	3,26428	1,00273	1,00246	0,053474	20	-10
1044,623	1146,399	0,091	0,0159	1,0676	0,00717	1071,023	1,33383	6,99101	0,014342	3,46438	1,00336	1,00304	0,065848	21	-9
1097,424	1201,568	0,0898	0,0126	1,0534	0,00823	1126,585	1,33027	7,0556	0,01646	3,68235	1,00409	1,00372	0,08019	22	-8
1155,745	1262,49	0,0887	0,0096	1,0409	0,00936	1187,717	1,32669	7,12194	0,018714	3,91857	1,00493	1,00451	0,096651	23	-7
1219,69	1329,268	0,0878	0,0071	1,0301	0,01054	1254,482	1,32314	7,18926	0,021081	4,17299	1,00588	1,00541	0,115364	24	-6
1289,275	1401,914	0,087	0,0049	1,0209	0,01177	1326,845	1,31965	7,2568	0,023535	4,44512	1,00696	1,00642	0,136445	25	-5
1364,415	1480,332	0,0864	0,0031	1,0134	0,01302	1404,664	1,31627	7,3238	0,026041	4,73394	1,00816	1,00756	0,159979	26	-4

Продолжение таблицы А8

1444,913	1564,31	0,0859	0,0018	1,0075	0,01428	1487,682	1,31301	7,38957	0,028559	5,03786	1,00949	1,00882	0,18602	27	-3
1530,452	1653,511	0,0855	0,0008	1,0033	0,01552	1575,52	1,30991	7,45346	0,031043	5,35471	1,01094	1,01021	0,21458	28	-2
1620,588	1747,463	0,0853	0,0002	1,0008	0,01672	1667,668	1,30699	7,51495	0,033441	5,68169	1,01253	1,01173	0,245623	29	-1
1714,748	1845,563	0,0852	0	1	0,01785	1763,489	1,30425	7,57356	0,035697	6,01543	1,01423	1,01338	0,279064	30	0
1812,229	1947,07	0,0853	0,0002	1,0008	0,01888	1862,216	1,30171	7,62895	0,037752	6,35201	1,01605	1,01514	0,314761	31	1
1912,204	2051,118	0,0855	0,0008	1,0033	0,01977	1962,968	1,29936	7,68084	0,039546	6,68702	1,01798	1,01701	0,352513	32	2
2013,732	2156,725	0,0859	0,0018	1,0075	0,02051	2064,755	1,29722	7,72906	0,041021	7,0157	1,01999	1,01898	0,392059	33	3
2115,778	2262,811	0,0864	0,0031	1,0134	0,02106	2166,503	1,29527	7,77349	0,042122	7,33303	1,02208	1,02104	0,43308	34	4
2217,229	2368,22	0,087	0,0049	1,0209	0,0214	2267,078	1,29351	7,81408	0,042804	7,63392	1,02423	1,02316	0,475202	35	5
2316,927	2471,752	0,0878	0,0071	1,0301	0,02151	2365,314	1,29193	7,85086	0,043027	7,91333	1,02642	1,02532	0,518006	36	6
2413,7	2572,195	0,0887	0,0096	1,0409	0,02138	2460,047	1,29053	7,88387	0,042768	8,16651	1,02861	1,02751	0,561033	37	7
2506,394	2668,362	0,0898	0,0126	1,0534	0,02101	2550,156	1,2893	7,91321	0,042015	8,38916	1,03079	1,0297	0,6038	38	8
2593,918	2759,133	0,091	0,0159	1,0676	0,02039	2634,596	1,28823	7,93902	0,040776	8,57758	1,03293	1,03186	0,645815	39	9
2675,274	2843,487	0,0924	0,0196	1,0834	0,01954	2712,436	1,2873	7,96145	0,039074	8,72885	1,03501	1,03397	0,686592	40	10
2749,598	2920,546	0,0938	0,0237	1,1008	0,01848	2782,895	1,28651	7,98067	0,036951	8,84092	1,03701	1,03601	0,725666	41	11
2816,191	2989,601	0,0955	0,0282	1,1198	0,01723	2845,365	1,28584	7,99689	0,034465	8,91272	1,03889	1,03795	0,762617	42	12
2874,539	3050,139	0,0972	0,0331	1,1405	0,01584	2899,438	1,28529	8,01031	0,031685	8,94416	1,04065	1,03977	0,797082	43	13
2924,337	3101,856	0,0991	0,0383	1,1627	0,01435	2944,913	1,28485	8,02115	0,028695	8,93615	1,04226	1,04146	0,828767	44	14
2965,488	3144,667	0,1012	0,0439	1,1866	0,01279	2981,797	1,28451	8,02962	0,025582	8,89048	1,04373	1,04299	0,857462	45	15
2998,106	3178,699	0,1033	0,0499	1,212	0,01122	3010,301	1,28425	8,03596	0,022436	8,80977	1,04503	1,04438	0,883044	46	16
3022,497	3204,277	0,1056	0,0562	1,239	0,00967	3030,818	1,28407	8,0404	0,019343	8,69728	1,04618	1,0456	0,90548	47	17
3039,138	3221,896	0,1081	0,063	1,2676	0,00819	3043,893	1,28396	8,04314	0,016381	8,55676	1,04716	1,04667	0,924823	48	18
3048,647	3232,195	0,1106	0,07	1,2977	0,00681	3050,195	1,28391	8,0444	0,013616	8,39227	1,048	1,04758	0,941203	49	19
3051,744	3235,914	0,1133	0,0775	1,3293	0,00555	3050,478	1,28391	8,04439	0,011101	8,20799	1,04869	1,04834	0,95482	50	20
3049,212	3233,859	0,1161	0,0853	1,3625	0,00443	3045,537	1,28396	8,04329	0,008868	8,00805	1,04926	1,04897	0,96592	51	21
3041,862	3226,857	0,1191	0,0934	1,3971	0,00347	3036,176	1,28404	8,04128	0,006936	7,79637	1,04971	1,04948	0,974789	52	22
3030,49	3215,724	0,1222	0,1019	1,4332	0,00265	3023,172	1,28415	8,03851	0,005307	7,57658	1,05006	1,04989	0,981725	53	23
3015,853	3201,233	0,1254	0,1108	1,4708	0,00198	3007,249	1,28429	8,03513	0,003969	7,35192	1,05033	1,0502	0,987032	54	24
2998,644	3184,088	0,1287	0,12	1,5098	0,00145	2989,057	1,28444	8,03125	0,002898	7,12515	1,05054	1,05044	0,991001	55	25
2979,471	3164,913	0,1322	0,1295	1,5503	0,00103	2969,164	1,28462	8,02698	0,002064	6,89862	1,05068	1,05061	0,993899	56	26
2958,858	3144,238	0,1357	0,1393	1,5921	0,00072	2948,046	1,2848	8,02242	0,001433	6,6742	1,05079	1,05074	0,995963	57	27
2937,235	3122,504	0,1394	0,1495	1,6354	0,00048	2926,092	1,285	8,01762	0,000968	6,45339	1,05086	1,05083	0,997396	58	28

Продолжение таблицы А8

2914,949	3100,063	0,1432	0,16	1,68	0,00032	2903,61	1,2852	8,01264	0,000636	6,23729	1,05091	1,05089	0,998364	59	29
2892,271	3077,191	0,1471	0,1708	1,7259	0,0002	2880,838	1,28541	8,00754	0,000406	6,02671	1,05094	1,05093	0,999	60	30

Таблица А9 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя без наддува при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
660,512	660,512	0,1928	0,295	2,2539	2,6E-08	663,757			5,26E-08	0,93945	1	1	0	0	-40
667,002	667,002	0,1878	0,2814	2,1958	5,3E-07	670,301	1,37455	6,33968	1,06E-06	0,97375	1	1	5,26E-08	1	-39
673,599	673,6	0,1829	0,268	2,1389	2,8E-06	676,961	1,37343	6,355811	5,5E-06	1,00956	1	1	1,11E-06	2	-38
680,323	680,326	0,1782	0,2548	2,0831	8,4E-06	683,766	1,3723	6,372009	1,68E-05	1,04697	1	1	6,61E-06	3	-37
687,209	687,215	0,1735	0,242	2,0284	2E-05	690,759	1,37117	6,388336	3,91E-05	1,08608	1	1,000001	2,34E-05	4	-36
694,309	694,318	0,1689	0,2294	1,9749	3,8E-05	697,999	1,37004	6,404884	7,7E-05	1,12703	1	1,000002	6,26E-05	5	-35
701,688	701,703	0,1644	0,2171	1,9226	6,8E-05	705,561	1,36888	6,421776	0,000135	1,17001	1,000001	1,000005	0,00014	6	-34
709,433	709,454	0,1601	0,2051	1,8715	0,00011	713,54	1,3677	6,439168	0,00022	1,21522	1,000001	1,000011	0,000275	7	-33
717,647	717,676	0,1558	0,1933	1,8217	0,00017	722,05	1,36649	6,457245	0,000336	1,26294	1,000003	1,000002	0,000495	8	-32
726,452	726,49	0,1517	0,1819	1,7732	0,00024	731,221	1,36522	6,476222	0,00049	1,31348	1,000004	1,000034	0,000831	9	-31
735,991	736,041	0,1476	0,1708	1,7259	0,00034	741,208	1,36388	6,496335	0,000687	1,36721	1,000007	1,000055	0,00132	10	-30
746,425	746,489	0,1437	0,16	1,68	0,00047	752,18	1,36246	6,517842	0,000935	1,42458	1,0001	1,000085	0,002007	11	-29
757,935	758,017	0,1399	0,1495	1,6354	0,00062	764,328	1,36094	6,541014	0,00124	1,48609	1,00015	1,000127	0,002942	12	-28
770,72	770,824	0,1362	0,1393	1,5921	0,0008	777,859	1,35932	6,566123	0,001607	1,55232	1,00021	1,000182	0,004182	13	-27
784,998	785,128	0,1326	0,1295	1,5503	0,00102	793	1,35756	6,593439	0,002045	1,62393	1,0003	1,000255	0,005789	14	-26
801,001	801,162	0,1291	0,12	1,5098	0,00128	809,988	1,35567	6,623213	0,002559	1,70164	1,0004	1,000349	0,007835	15	-25
818,974	819,174	0,1258	0,1108	1,4708	0,00158	829,074	1,35363	6,655665	0,003156	1,78627	1,00053	1,000466	0,010394	16	-24
839,173	839,419	0,1226	0,1019	1,4332	0,00192	850,518	1,35143	6,690975	0,003841	1,87869	1,00069	1,000613	0,01355	17	-23
861,863	862,164	0,1195	0,0934	1,3971	0,00231	874,586	1,34908	6,729264	0,004619	1,97983	1,00089	1,000792	0,017391	18	-22
887,309	887,675	0,1165	0,0853	1,3625	0,00275	901,544	1,34659	6,770588	0,005495	2,09069	1,00113	1,001008	0,02201	19	-21
915,778	916,221	0,1137	0,0775	1,3293	0,00324	931,654	1,34394	6,814925	0,006473	2,21229	1,00141	1,001267	0,027505	20	-20

Продолжение таблицы А9

947,531	948,062	0,111	0,07	1,2977	0,00378	965,173	1,34117	6,862173	0,007556	2,34569	1,00174	1,001573	0,033978	21	-19
982,816	983,449	0,1084	0,063	1,2676	0,00437	1002,34	1,33829	6,912145	0,008743	2,49193	1,00213	1,001932	0,041534	22	-18
1021,87	1022,61	0,106	0,0562	1,239	0,00502	1043,38	1,33531	6,964575	0,010036	2,652	1,00257	1,002349	0,050277	23	-17
1064,9	1065,77	0,1037	0,0499	1,212	0,00572	1088,49	1,33227	7,019125	0,011432	2,82686	1,00309	1,002829	0,060313	24	-16
1112,08	1113,1	0,1015	0,0439	1,1866	0,00646	1137,83	1,3292	7,075395	0,012926	3,01734	1,00367	1,003378	0,071745	25	-15
1163,58	1164,75	0,0994	0,0383	1,1627	0,00726	1191,54	1,32611	7,132941	0,014512	3,22413	1,00433	1,004001	0,084671	26	-14
1219,5	1220,83	0,0975	0,0331	1,1405	0,00809	1249,7	1,32303	7,191286	0,016181	3,44774	1,00507	1,004703	0,099183	27	-13
1279,9	1281,4	0,0958	0,0282	1,1198	0,00896	1312,34	1,32	7,249945	0,017921	3,68843	1,0059	1,005489	0,115364	28	-12
1344,78	1346,47	0,0941	0,0237	1,1008	0,00986	1379,44	1,31704	7,308436	0,019716	3,94618	1,00682	1,006361	0,133285	29	-11
1414,1	1415,98	0,0927	0,0196	1,0834	0,01078	1450,92	1,31415	7,366296	0,02155	4,22065	1,00783	1,007324	0,153001	30	-10
1487,74	1489,81	0,0913	0,0159	1,0676	0,0117	1526,63	1,31138	7,423094	0,023401	4,51111	1,00893	1,00838	0,174551	31	-9
1565,52	1567,78	0,0901	0,0126	1,0534	0,01262	1606,34	1,30872	7,478441	0,025246	4,81642	1,01013	1,009529	0,197953	32	-8
1647,17	1649,63	0,089	0,0096	1,0409	0,01353	1689,76	1,30619	7,531996	0,027058	5,13502	1,01142	1,010774	0,223198	33	-7
1732,36	1735,01	0,0881	0,0071	1,0301	0,0144	1776,51	1,30379	7,58347	0,028808	5,46488	1,0128	1,012112	0,250256	34	-6
1820,67	1823,51	0,0873	0,0049	1,0209	0,01523	1866,14	1,30154	7,632623	0,030466	5,8035	1,01428	1,013541	0,279064	35	-5
1911,62	1914,65	0,0867	0,0031	1,0134	0,016	1958,13	1,29943	7,67927	0,032001	6,14793	1,01584	1,015058	0,309531	36	-4
2004,63	2007,84	0,0862	0,0018	1,0075	0,01669	2051,86	1,29747	7,723271	0,033379	6,49483	1,01747	1,016656	0,341531	37	-3
2099,09	2102,46	0,0858	0,0008	1,0033	0,01728	2146,68	1,29566	7,764531	0,034569	6,84049	1,01918	1,018328	0,37491	38	-2
2194,28	2197,81	0,0856	0,0002	1,0008	0,01777	2241,87	1,29399	7,802995	0,035541	7,1809	1,02095	1,020066	0,409479	39	-1
2289,47	2293,15	0,0855	0	1	0,01813	2336,67	1,29246	7,838642	0,036266	7,51185	1,02277	1,02186	0,44502	40	0
2383,88	2387,69	0,0856	0,0002	1,0008	0,01836	2430,29	1,29106	7,871482	0,03672	7,82906	1,02462	1,023697	0,481286	41	1
2476,7	2480,64	0,0858	0,0008	1,0033	0,01844	2521,91	1,28979	7,901548	0,036885	8,12827	1,0265	1,025564	0,518006	42	2
2567,12	2571,17	0,0862	0,0018	1,0075	0,01837	2610,74	1,28865	7,928898	0,036746	8,40536	1,02839	1,027447	0,554891	43	3
2654,36	2658,51	0,0867	0,0031	1,0134	0,01815	2696	1,28762	7,953605	0,036296	8,65651	1,03027	1,029331	0,591636	44	4
2737,64	2741,88	0,0873	0,0049	1,0209	0,01777	2776,95	1,28671	7,975757	0,035538	8,87831	1,03213	1,031199	0,627933	45	5
2816,26	2820,58	0,0881	0,0071	1,0301	0,01724	2852,92	1,2859	7,995455	0,034478	9,06785	1,03395	1,033037	0,66347	46	6
2889,58	2893,97	0,089	0,0096	1,0409	0,01657	2923,31	1,28519	8,012811	0,033135	9,22282	1,03571	1,034828	0,697949	47	7
2957,05	2961,48	0,0901	0,0126	1,0534	0,01577	2987,62	1,28458	8,027941	0,031534	9,34163	1,03741	1,036558	0,731084	48	8
3018,2	3022,68	0,0913	0,0159	1,0676	0,01485	3045,46	1,28405	8,040971	0,029705	9,42336	1,03902	1,038212	0,762617	49	9
3072,71	3077,22	0,0927	0,0196	1,0834	0,01384	3096,53	1,28361	8,052029	0,027689	9,46789	1,04054	1,039779	0,792323	50	10
3120,35	3124,88	0,0941	0,0237	1,1008	0,01276	3140,69	1,28324	8,061248	0,025529	9,47576	1,04196	1,041247	0,820012	51	11
3161,02	3165,57	0,0958	0,0282	1,1198	0,01164	3177,89	1,28293	8,068762	0,023271	9,44826	1,04326	1,042609	0,84554	52	12

Продолжение таблицы А9

3194,76	3199,31	0,0975	0,0331	1,1405	0,01048	3208,23	1,2827	8,074706	0,020964	9,38723	1,04445	1,043857	0,868811	53	13
3221,69	3226,24	0,0994	0,0383	1,1627	0,00933	3231,89	1,28252	8,079213	0,018656	9,29509	1,04552	1,044989	0,889775	54	14
3242,09	3246,63	0,1015	0,0439	1,1866	0,0082	3249,18	1,28239	8,082416	0,016392	9,17466	1,04648	1,046002	0,90843	55	15
3256,28	3260,8	0,1037	0,0499	1,212	0,00711	3260,49	1,28231	8,084443	0,014215	9,02907	1,04732	1,046899	0,924823	56	16
3264,7	3269,2	0,106	0,0562	1,239	0,00608	3266,27	1,28227	8,085419	0,01216	8,86164	1,04805	1,047682	0,939038	57	17
3267,83	3272,31	0,1084	0,063	1,2676	0,00513	3267,02	1,28227	8,085464	0,010256	8,67578	1,04867	1,048356	0,951198	58	18
3266,2	3270,65	0,111	0,07	1,2977	0,00426	3263,29	1,2823	8,08469	0,008524	8,47485	1,04919	1,04893	0,961454	59	19
3260,37	3264,77	0,1137	0,0775	1,3293	0,00349	3255,62	1,28236	8,083205	0,006977	8,26211	1,04963	1,04941	0,969977	60	20
3250,87	3255,24	0,1165	0,0853	1,3625	0,00281	3244,57	1,28244	8,081107	0,005622	8,04063	1,04999	1,049807	0,976954	61	21
3238,27	3242,59	0,1195	0,0934	1,3971	0,00223	3230,66	1,28255	8,078485	0,004456	7,8132	1,05027	1,050129	0,982576	62	22
3223,06	3227,34	0,1226	0,1019	1,4332	0,00174	3214,39	1,28267	8,075422	0,003473	7,58234	1,0505	1,050387	0,987032	63	23
3205,73	3209,96	0,1258	0,1108	1,4708	0,00133	3196,21	1,28281	8,071991	0,00266	7,35025	1,05068	1,05059	0,990506	64	24
3186,7	3190,89	0,1291	0,12	1,5098	0,001	3176,53	1,28296	8,068254	0,002001	7,11879	1,05081	1,050747	0,993166	65	25
3166,36	3170,5	0,1326	0,1295	1,5503	0,00074	3155,7	1,28311	8,064268	0,001477	6,88955	1,05092	1,050866	0,995167	66	26
3145,04	3149,13	0,1362	0,1393	1,5921	0,00053	3134,02	1,28328	8,060081	0,001069	6,66379	1,05099	1,050955	0,996644	67	27
3123	3127,04	0,1399	0,1495	1,6354	0,00038	3111,74	1,28346	8,055731	0,000759	6,44252	1,05105	1,05102	0,997714	68	28
3100,48	3104,47	0,1437	0,16	1,68	0,00026	3089,07	1,28364	8,051252	0,000528	6,22651	1,05109	1,051067	0,998473	69	29
3077,67	3081,61	0,1476	0,1708	1,7259	0,00018	3034,52	1,28382	8,046672	0,000359	6,01633	1,05111	1,0511	0,999	70	30

Таблица А10 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя без наддува при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред-няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кэффи- циент моле- кулярного изменения смеси	m ₁₋₂	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
630,54	630,54	0,226	0,36705	2,5599	1,44E-07	591,18			2,88E-07	0,764991	1	1	0	0	-45
551,82	636,70	0,2204	0,3522	2,4968	2,16E-06	554,75	1,389	6,14	4,32E-06	0,791988	1	1	2,88E-07	1	-44
557,67	643,16	0,2149	0,33757	2,4347	9,35E-06	560,69	1,397	6,03	1,87E-05	0,820442	1	1	4,6E-06	2	-43
563,70	649,80	0,2095	0,32318	2,3735	2,52E-05	566,84	1,396	6,05	5,03E-05	0,850271	1,000001	1,000001	2,33E-05	3	-42
569,97	656,67	0,2042	0,30903	2,3134	5,31E-05	573,26	1,394	6,07	0,000106	0,881615	1,000004	1,000002	7,37E-05	4	-41
576,55	663,86	0,199	0,29511	2,2542	9,65E-05	580,05	1,393	6,09	0,000193	0,914644	1,000009	1,000006	0,00018	5	-40

Продолжение таблицы А10

583,54	671,45	0,1939	0,28146	2,1962	0,000159	587,29	1,391	6,11	0,000318	0,949563	1,000019	1,000014	0,000373	6	-39
591,03	679,55	0,1889	0,26805	2,1392	0,000244	595,10	1,390	6,13	0,000487	0,986617	1,000035	1,000027	0,000691	7	-38
599,16	688,28	0,1839	0,25492	2,0834	0,000354	603,60	1,388	6,16	0,000708	1,026089	1,000006	1,000048	0,001178	8	-37
608,05	697,76	0,1791	0,24205	2,0287	0,000494	612,95	1,386	6,18	0,000987	1,068308	1,000097	1,000078	0,001886	9	-36
617,85	708,16	0,1744	0,22946	1,9752	0,000665	623,29	1,384	6,21	0,001331	1,113647	1,000147	1,000122	0,002873	10	-35
628,72	719,62	0,1698	0,21715	1,9229	0,000872	634,78	1,382	6,24	0,001745	1,162527	1,000215	1,000181	0,004204	11	-34
640,83	732,31	0,1652	0,20512	1,8718	0,001118	647,60	1,380	6,27	0,002235	1,21542	1,000304	1,00026	0,005948	12	-33
654,36	746,42	0,1608	0,1934	1,8219	0,001404	661,93	1,377	6,30	0,002808	1,272845	1,000419	1,000362	0,008184	13	-32
669,49	762,11	0,1566	0,18197	1,7734	0,001734	677,95	1,375	6,34	0,003468	1,33537	1,000563	1,000491	0,010992	14	-31
686,41	779,58	0,1524	0,17085	1,7261	0,00211	695,85	1,372	6,38	0,004219	1,403611	1,00074	1,000651	0,01446	15	-30
705,30	799,00	0,1483	0,16004	1,6802	0,002532	715,82	1,369	6,42	0,005065	1,478224	1,000956	1,000848	0,018679	16	-29
726,34	820,57	0,1444	0,14954	1,6355	0,003004	738,03	1,366	6,46	0,006008	1,559903	1,001215	1,001086	0,023744	17	-28
749,72	844,45	0,1406	0,13936	1,5923	0,003525	762,65	1,363	6,51	0,007049	1,649371	1,001523	1,001369	0,029751	18	-27
775,59	870,82	0,1369	0,12951	1,5504	0,004095	789,85	1,359	6,56	0,00819	1,747372	1,001884	1,001703	0,036801	19	-26
804,12	899,82	0,1333	0,11999	1,51	0,004714	819,78	1,356	6,62	0,009427	1,854657	1,002303	1,002093	0,044991	20	-25
835,44	931,58	0,1299	0,11081	1,4709	0,00538	852,55	1,352	6,68	0,010759	1,971973	1,002785	1,002544	0,054418	21	-24
869,66	966,23	0,1265	0,10197	1,4334	0,00609	888,27	1,349	6,74	0,012181	2,100042	1,003336	1,003061	0,065177	22	-23
906,89	1003,86	0,1233	0,09346	1,3972	0,006842	927,03	1,345	6,80	0,013684	2,239544	1,003959	1,003648	0,077358	23	-22
947,18	1044,52	0,1203	0,08531	1,3626	0,00763	968,87	1,341	6,86	0,015261	2,391095	1,00466	1,00431	0,091042	24	-21
990,57	1088,26	0,1174	0,07751	1,3294	0,008449	1013,81	1,338	6,92	0,016899	2,55522	1,005441	1,00505	0,106303	25	-20
1037,06	1135,06	0,1146	0,07007	1,2978	0,009293	1061,84	1,334	6,98	0,018585	2,732328	1,006306	1,005873	0,123202	26	-19
1086,61	1184,89	0,1119	0,06298	1,2677	0,010152	1112,88	1,331	7,05	0,020303	2,922679	1,007257	1,006781	0,141787	27	-18
1139,15	1237,68	0,1094	0,05626	1,2391	0,011017	1166,85	1,327	7,11	0,022035	3,126358	1,008296	1,007776	0,16209	28	-17
1194,55	1293,29	0,107	0,0499	1,2121	0,01188	1223,60	1,324	7,17	0,023759	3,343238	1,009424	1,00886	0,184125	29	-16
1252,65	1351,57	0,1048	0,04392	1,1866	0,012727	1282,95	1,321	7,23	0,025454	3,57295	1,01064	1,010032	0,207884	30	-15
1313,24	1412,30	0,1027	0,0383	1,1628	0,013547	1344,65	1,318	7,28	0,027094	3,814855	1,011943	1,011291	0,233338	31	-14
1376,05	1475,22	0,1007	0,03306	1,1405	0,014327	1408,42	1,315	7,34	0,028655	4,068019	1,013329	1,012636	0,260432	32	-13
1440,79	1540,03	0,0989	0,0282	1,1198	0,015055	1473,94	1,313	7,39	0,03011	4,331189	1,014796	1,014063	0,289087	33	-12
1507,09	1606,38	0,0972	0,02372	1,1008	0,015716	1540,83	1,310	7,44	0,031432	4,602785	1,016337	1,015567	0,319197	34	-11
1574,58	1673,89	0,0956	0,01962	1,0834	0,016297	1608,69	1,308	7,49	0,032595	4,880895	1,017946	1,017141	0,350628	35	-10
1642,80	1742,12	0,0942	0,0159	1,0676	0,016787	1677,06	1,306	7,54	0,033575	5,163283	1,019614	1,01878	0,383223	36	-9
1711,31	1810,62	0,093	0,01257	1,0534	0,017174	1745,46	1,304	7,58	0,034348	5,447413	1,021332	1,020473	0,416798	37	-8

Продолжение таблицы А10

1779,61	1878,90	0,0919	0,00963	1,0409	0,017447	1813,41	1,302	7,62	0,034894	5,730482	1,02309	1,022211	0,451145	38	-7
1847,20	1946,48	0,0909	0,00708	1,0301	0,017598	1880,38	1,301	7,65	0,035196	6,009474	1,024876	1,023983	0,486039	39	-6
1913,55	2012,82	0,0901	0,00492	1,0209	0,017622	1945,85	1,299	7,69	0,035243	6,28122	1,026678	1,025777	0,521235	40	-5
1978,15	2077,45	0,0895	0,00315	1,0134	0,017513	2009,33	1,298	7,72	0,035027	6,542475	1,028482	1,02758	0,556479	41	-4
2040,51	2139,84	0,0889	0,00177	1,0075	0,017273	2070,32	1,296	7,75	0,034545	6,790004	1,030274	1,029378	0,591505	42	-3
2100,12	2199,55	0,0886	0,00079	1,0033	0,016901	2128,34	1,295	7,77	0,033802	7,020673	1,032042	1,031158	0,626051	43	-2
2156,56	2256,11	0,0884	0,0002	1,0008	0,016404	2182,99	1,294	7,79	0,032808	7,231541	1,033772	1,032907	0,659853	44	-1
2209,41	2309,15	0,0883	0	1	0,015789	2233,87	1,293	7,81	0,031579	7,419952	1,035452	1,034612	0,692661	45	0
2258,33	2358,30	0,0884	0,0002	1,0008	0,015068	2280,67	1,293	7,83	0,030135	7,583616	1,037068	1,03626	0,72424	46	1
2303,01	2403,28	0,0886	0,00079	1,0033	0,014252	2323,12	1,292	7,85	0,028504	7,72068	1,03861	1,037839	0,754375	47	2
2343,24	2443,88	0,0889	0,00177	1,0075	0,013359	2361,04	1,291	7,86	0,026717	7,829784	1,040069	1,03934	0,782879	48	3
2378,85	2479,92	0,0895	0,00315	1,0134	0,012404	2394,30	1,291	7,87	0,024808	7,910095	1,041437	1,040753	0,809597	49	4
2409,76	2511,32	0,0901	0,00492	1,0209	0,011407	2422,85	1,291	7,88	0,022814	7,961321	1,042706	1,042072	0,834405	50	5
2435,95	2538,08	0,0909	0,00708	1,0301	0,010386	2446,72	1,290	7,89	0,020771	7,983703	1,043874	1,04329	0,857218	51	6
2457,49	2560,23	0,0919	0,00963	1,0409	0,009359	2465,99	1,290	7,90	0,018718	7,977991	1,044937	1,044406	0,87799	52	7
2474,49	2577,89	0,093	0,01257	1,0534	0,008345	2480,81	1,290	7,90	0,016691	7,945393	1,045895	1,045416	0,896708	53	8
2487,13	2591,24	0,0942	0,0159	1,0676	0,007361	2491,38	1,290	7,91	0,014721	7,887517	1,046749	1,046322	0,913399	54	9
2495,63	2600,48	0,0956	0,01962	1,0834	0,006419	2497,95	1,290	7,91	0,012839	7,806299	1,047503	1,047126	0,92812	55	10
2500,27	2605,90	0,0972	0,02372	1,1008	0,005534	2500,81	1,289	7,91	0,011068	7,703922	1,04816	1,047831	0,940959	56	11
2501,35	2607,76	0,0989	0,0282	1,1198	0,004714	2500,27	1,289	7,91	0,009428	7,582737	1,048726	1,048443	0,952026	57	12
2499,18	2606,40	0,1007	0,03306	1,1405	0,003966	2496,64	1,290	7,91	0,007933	7,445184	1,049209	1,048968	0,961454	58	13
2494,10	2602,12	0,1027	0,0383	1,1628	0,003295	2490,28	1,290	7,91	0,006591	7,293718	1,049615	1,049412	0,969387	59	14
2486,45	2595,26	0,1048	0,04392	1,1866	0,002702	2481,50	1,290	7,90	0,005405	7,130746	1,049952	1,049784	0,975978	60	15
2476,552	2586,15	0,107	0,0499	1,2121	0,002186	2470,637	1,290	7,90	0,004373	6,958571	1,050229	1,050091	0,981382	61	16
2464,72	2575,08	0,1094	0,05626	1,2391	0,001745	2457,99	1,290	7,90	0,003489	6,779352	1,050453	1,050341	0,985755	62	17
2451,26	2562,35	0,1119	0,06298	1,2677	0,001373	2443,85	1,290	7,89	0,002745	6,595072	1,050631	1,050542	0,989245	63	18
2436,44	2548,24	0,1146	0,07007	1,2978	0,001064	2428,47	1,290	7,89	0,002128	6,407522	1,050772	1,050702	0,99199	64	19
2420,50	2532,97	0,1174	0,07751	1,3294	0,000813	2412,09	1,291	7,88	0,001625	6,218285	1,050881	1,050826	0,994118	65	20
2403,68	2516,77	0,1203	0,08531	1,3626	0,000611	2394,92	1,291	7,88	0,001222	6,028745	1,050964	1,050922	0,995743	66	21
2386,15	2499,84	0,1233	0,09346	1,3972	0,000452	2377,13	1,291	7,87	0,000905	5,840083	1,051027	1,050995	0,996966	67	22
2368,10	2482,33	0,1265	0,10197	1,4334	0,000329	2358,89	1,291	7,87	0,000659	5,6533	1,051073	1,05105	0,99787	68	23

Продолжение таблицы А10

2349,67	2464,39	0,1299	0,11081	1,4709	0,000236	2340,32	1,292	7,86	0,000472	5,469221	1,051107	1,05109	0,998529	69	24
2330,97	2446,13	0,1333	0,11999	1,51	0,000166	2321,53	1,292	7,85	0,000332	5,28852	1,051131	1,051119	0,999	70	25

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Параметры динамического расчета

Суммарные силы в КШМ, Н	Угол бета в, рад	Опрокидывающая сила, Н	Сила действующая вдоль оси шатуна, Н	Сила изгибающая шейку кривошипа, Н	Тангенциальная сила на оси кривошипа, Н	Крутящий момент 1-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 2-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 4-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 3-го цилиндра, Н*м	Индикаторное давление, МПа	Сила давления газов, Н	Pj2, Н	Сила инерции, Н	Суммарная сила, Н
-5496,83	0	0	-5496,8	-5496,83	0	0	2E-14	-151,28	-1412,5	0,256868	-5162,72	-1514,68	-6677,4	1180,57
-5373,01	0,051	-274,1	-5380	-5243,786	-1202,94	-42,7	-17,59	-134,57	-1494,1	0,246868	-5084,28	-1423,33	-6507,62	1134,61
-4923,03	0,1005	-496,5	-4948	-4456,321	-2150,34	-76,34	-35,59	-131,5	-1206,6	0,236868	-4851,37	-1160,31	-6011,68	1088,65
-4148,93	0,1472	-615,3	-4194,3	-3285,437	-2607,31	-92,56	-53,9	-128,26	-909,9	0,234868	-4471,04	-757,341	-5228,38	1079,46
-3152,22	0,1897	-605,3	-3209,8	-2025,646	-2489,92	-88,39	-71,68	-124,86	-686,12	0,231868	-3954,87	-263,022	-4217,89	1065,67
-2003,63	0,2267	-462,1	-2056,2	-933,8913	-1831,92	-65,03	-88,71	-121,3	-533,27	0,228868	-3318,53	263,022	-3055,51	1051,88
-785,926	0,2569	-206,5	-812,59	-214,1589	-783,864	-27,83	-91,88	-117,58	-430,45	0,225868	-2581,36	757,341	-1824,02	1038,09
418,864	0,2793	120,13	435,751	30,370424	434,692	15,432	-95,79	-113,7	-360,41	0,222868	-1765,75	1160,31	-605,44	1024,3
1541,95	0,2931	465,37	1610,64	-190,5386	1599,33	56,776	-100,8	-109,66	-311,66	0,220868	-896,496	1423,33	526,838	1015,11
2529,79	0,2978	776,38	2646,25	-776,3777	2529,79	89,808	-107,3	-105,47	-276,97	0,220868	-3,2E-13	1514,68	1514,68	1015,11
2632,47	0,2931	794,49	2749,75	-1239,542	2454,52	87,135	-116,2	-101,13	-251,76	0,068025	896,4962	1423,33	2319,83	312,641
3238,71	0,2793	928,89	3369,28	-1980,578	2725,69	96,762	-128,9	-96,646	-233,12	0,068025	1765,753	1160,31	2926,07	312,641
3651,34	0,2569	959,22	3775,23	-2656,377	2682,54	95,23	-147,7	-92,02	-219,16	0,068025	2581,358	757,341	3338,7	312,641
3894,19	0,2267	898,19	3996,43	-3191,194	2405,78	85,405	-176,5	-87,256	-208,63	0,068025	3318,53	263,022	3581,55	312,641
4009,08	0,1897	769,87	4082,34	-3566,002	1987,23	70,547	-221,9	-82,361	-200,69	0,069025	3954,87	-263,022	3691,85	317,237
4035,54	0,1472	598,46	4079,67	-3794,108	1499,48	53,232	-308,1	-77,339	-185,52	0,070025	4471,043	-757,341	3713,7	321,833
4017,48	0,1005	405,18	4037,86	-3913,777	993,317	35,263	-513	-73,875	-169,91	0,071025	4851,366	-1160,31	3691,05	326,429
3996,57	0,051	203,88	4001,77	-3971,254	493,219	17,509	-936,9	-70,306	-167,59	0,073025	5084,283	-1423,33	3660,95	335,621
3992,85	4E-17	1E-13	3992,85	-3992,848	4,9E-13	2E-14	-1413	-66,635	-151,28	0,075025	5162,716	-1514,68	3648,03	344,813
4014,95	-0,051	-204,8	4020,17	-3989,522	-495,488	-17,59	-1494	-42,704	-134,57	0,077025	5084,283	-1423,33	3660,95	354,005
4054,25	-0,101	-408,9	4074,82	-3949,596	-1002,41	-35,59	-1207	-76,337	-131,5	0,079025	4851,366	-1160,31	3691,05	363,197
4086,09	-0,147	-606	4130,78	-3841,64	-1518,27	-53,9	-909,9	-92,56	-128,26	0,081025	4471,043	-757,341	3713,7	372,389
4073,43	-0,19	-782,2	4147,86	-3623,235	-2019,13	-71,68	-686,1	-88,392	-124,86	0,083025	3954,87	-263,022	3691,85	381,581
4044,8	-0,227	-932,9	4150,99	-3314,61	-2498,82	-88,71	-533,3	-65,033	-121,3	0,100793	3318,53	263,022	3581,55	463,245
4109,89	-0,23	-962,4	4221,07	-3334,384	-2588,31	-91,88	-430,4	-27,827	-117,58	0,118792	3249,002	314,92	3563,92	545,967
4204,87	-0,233	-999,2	4321,96	-3376,16	-2698,31	-95,79	-360,4	15,4315	-113,7	0,143591	3178,485	366,435	3544,92	659,945
4342,26	-0,237	-1047	4466,6	-3449,063	-2838,04	-100,8	-311,7	56,7764	-109,66	0,177927	3107	417,503	3524,5	817,753
4541,65	-0,24	-1110	4675,26	-3567,284	-3022,01	-107,3	-277	89,8076	-105,47	0,226071	3034,568	468,062	3502,63	1039,02
4834,4	-0,243	-1197	4980,37	-3753,364	-3273,58	-116,2	-251,8	87,1354	-101,13	0,294851	2961,212	518,051	3479,26	1355,13
5271,91	-0,246	-1322	5435,13	-4043,989	-3631,36	-128,9	-233,1	96,7619	-96,646	0,395462	2886,954	567,41	3454,36	1817,54
5940,33	-0,249	-1508	6128,75	-4500,064	-4160,65	-147,7	-219,2	95,2303	-92,02	0,546657	2811,817	616,076	3427,89	2512,43

Продолжение таблицы Б1

6985,02	-0,251	-1794	7211,81	-5223,192	-4972,77	-176,5	-208,6	85,4051	-87,256	0,78007	2735,823	663,993	3399,82	3585,2
8642,9	-0,254	-2246	8929,89	-6376,375	-6251,78	-221,9	-200,7	70,5468	-82,361	1,147259	2658,995	711,1	3370,1	5272,8
11813,5	-0,257	-3103	12214,3	-8594,408	-8679,07	-308,1	-185,5	53,2316	-77,339	1,843951	2581,358	757,341	3338,7	8474,8
19374,1	-0,26	-5144	20045,3	-13891,55	-14451,3	-513	-169,9	35,2627	-73,875	3,496204	2502,934	802,659	3305,59	16068,6
34860	-0,262	-9350	36092	-24620,89	-26390,2	-936,9	-167,6	17,5093	-70,306	6,873201	2423,748	846,999	3270,75	31589,2
51805,9	-0,264	-14031	53672,2	-36020,66	-39789,7	-1413	-151,3	1,7E-14	-66,635	10,56827	2343,824	890,307	3234,13	48571,8
54029,3	-0,267	-14770	56011,8	-36960,14	-42086,4	-1494	-134,6	-17,59	-42,704	11,0604	2263,186	932,531	3195,72	50833,6
43037,6	-0,269	-11871	44644,7	-28947,28	-33988,4	-1207	-131,5	-35,585	-76,337	8,677564	2181,858	973,618	3155,48	39882,1
32023,2	-0,271	-8909	33239,3	-21163,71	-25631	-909,9	-128,3	-53,899	-92,56	6,290207	2099,866	1013,52	3113,39	28909,8
23834	-0,273	-6685	24753,8	-15466,38	-19327,2	-686,1	-124,9	-71,679	-88,392	4,517963	2017,234	1052,19	3069,42	20764,6
18290,5	-0,275	-5170	19007,2	-11645,68	-15021,7	-533,3	-121,3	-88,708	-65,033	3,321782	1933,987	1089,57	3023,56	15266,9
14582,1	-0,277	-4153	15162	-9102,83	-12125,3	-430,4	-117,6	-91,885	-27,827	2,525319	1850,152	1125,63	2975,78	11606,4
12063,2	-0,279	-3460	12549,5	-7377,028	-10152,3	-360,4	-113,7	-95,79	15,432	1,988054	1765,753	1160,31	2926,07	9137,09
10310,1	-0,281	-2977	10731,3	-6171,382	-8779,25	-311,7	-109,7	-100,75	56,776	1,617874	1680,816	1193,59	2874,4	7435,75
9058,61	-0,283	-2632	9433,28	-5302,596	-7801,87	-277	-105,5	-107,28	89,808	1,357233	1595,367	1225,4	2820,77	6237,84
8143,5	-0,284	-2380	8484,28	-4657,339	-7091,7	-251,8	-101,1	-116,21	87,135	1,170222	1509,432	1255,73	2765,16	5378,34
7460,18	-0,286	-2193	7775,82	-4164,315	-6566,73	-233,1	-96,65	-128,91	96,762	1,034078	1423,037	1284,52	2707,56	4752,62
6940,98	-0,287	-2051	7237,69	-3777,668	-6173,61	-219,2	-92,02	-147,7	95,23	0,934077	1336,209	1311,75	2647,96	4293,02
6541,24	-0,289	-1942	6823,57	-3467,259	-5877,01	-208,6	-87,26	-176,53	85,405	0,860506	1248,974	1337,38	2586,36	3954,88
6231,11	-0,29	-1859	6502,47	-3212,907	-5653,26	-200,7	-82,36	-221,94	70,547	0,806868	1161,358	1361,39	2522,74	3708,37
5705,89	-0,291	-1709	5956,43	-2858,326	-5225,8	-185,5	-77,34	-308,11	53,232	0,706868	1073,389	1383,73	2457,12	3248,77
5178,65	-0,292	-1557	5407,77	-2516,946	-4786,33	-169,9	-73,88	-513,02	35,263	0,606868	985,0927	1404,39	2389,48	2789,17
5063,04	-0,293	-1528	5288,6	-2384,014	-4720,78	-167,6	-70,31	-936,85	17,509	0,596868	896,4962	1423,33	2319,83	2743,21
4531,78	-0,294	-1372	4734,94	-2064,107	-4261,35	-151,3	-66,64	-1412,5	2E-14	0,496868	807,6267	1440,55	2248,17	2283,61
3998,52	-0,295	-1214	4178,78	-1758,745	-3790,64	-134,6	-42,7	-1494,1	-17,59	0,396868	718,5112	1456	2174,52	1824,01
3876,91	-0,295	-1180	4052,54	-1643,787	-3704,2	-131,5	-76,34	-1206,6	-35,585	0,386868	629,1768	1469,69	2098,87	1778,05
3753,32	-0,296	-1145	3924,08	-1531,028	-3613,08	-128,3	-92,56	-909,9	-53,899	0,376868	539,6508	1481,58	2021,23	1732,09
3627,76	-0,297	-1109	3793,4	-1420,664	-3517,32	-124,9	-88,39	-686,12	-71,679	0,366868	449,9604	1491,67	1941,63	1686,13
3500,24	-0,297	-1071	3660,53	-1312,895	-3416,98	-121,3	-65,03	-533,27	-88,708	0,356868	360,1329	1499,94	1860,07	1640,17
3370,79	-0,297	-1033	3525,5	-1207,92	-3312,11	-117,6	-27,83	-430,45	-91,885	0,346868	270,1957	1506,38	1776,58	1594,21
3239,42	-0,298	-993,5	3388,34	-1105,943	-3202,77	-113,7	15,432	-360,41	-95,79	0,336868	180,1762	1510,99	1691,17	1548,25
3106,15	-0,298	-953,1	3249,08	-1007,163	-3089,04	-109,7	56,776	-311,66	-100,75	0,326868	90,10182	1513,76	1603,86	1502,29
2971,01	-0,298	-911,8	3107,77	-911,7842	-2971,01	-105,5	89,808	-276,97	-107,28	0,316868	9,49E-13	1514,68	1514,68	1456,33
2834,02	-0,298	-869,6	2964,44	-820,0065	-2848,77	-101,1	87,135	-251,76	-116,21	0,306868	-90,1018	1513,76	1423,66	1410,37
2695,22	-0,298	-826,6	2819,13	-732,0304	-2722,43	-96,65	96,762	-233,12	-128,91	0,296868	-180,176	1510,99	1330,82	1364,41
2554,64	-0,297	-782,8	2671,89	-648,0542	-2592,1	-92,02	95,23	-219,16	-147,7	0,286868	-270,196	1506,38	1236,19	1318,45
2412,3	-0,297	-738,3	2522,76	-568,2741	-2457,92	-87,26	85,405	-208,63	-176,53	0,276868	-360,133	1499,94	1139,81	1272,49
2268,24	-0,297	-693,2	2371,8	-492,8833	-2320,02	-82,36	70,547	-200,69	-221,94	0,266868	-449,96	1491,67	1041,71	1226,53

Продолжение таблицы Б1

2122,5	-0,296	-647,5	2219,06	-422,0718	-2178,55	-77,34	53,232	-185,52	-308,11	0,256868	-539,651	1481,58	941,931	1180,57
2021,08	-0,295	-615,2	2112,64	-364,3101	-2080,99	-73,88	35,263	-169,91	-513,02	0,256868	-629,177	1469,69	840,512	1180,57
1918,06	-0,295	-582,4	2004,53	-309,7713	-1980,45	-70,31	17,509	-167,59	-936,85	0,256868	-718,511	1456	737,494	1180,57
1813,49	-0,294	-549,1	1894,79	-258,6119	-1877,05	-66,64	2Е-14	-151,28	-1412,5	0,256868	-807,627	1440,55	632,921	1180,57
991,08	-0,293	-299,1	1035,23	-122,4677	-1027,96	-36,49	-17,59	-134,57	-1494,1	0,10101	-896,496	1423,33	526,838	464,242
905,095	-0,292	-272,2	945,139	-94,49704	-940,404	-33,38	-35,59	-131,5	-1206,6	0,105701	-985,093	1404,39	419,295	485,8
818,618	-0,291	-245,2	854,563	-69,6808	-851,718	-30,24	-53,9	-128,26	-909,9	0,110591	-1073,39	1383,73	310,341	508,277
731,75	-0,29	-218,3	763,617	-48,09147	-762,101	-27,05	-71,68	-124,86	-686,12	0,115692	-1161,36	1361,39	200,028	531,722
644,596	-0,289	-191,4	672,418	-29,79163	-671,757	-23,85	-88,71	-121,3	-533,27	0,121015	-1248,97	1337,38	88,41	556,186

Таблица Б 2 - Нагрузки на коренные и шатунные шейки

1-я ко- реная шейка	Первый кривошип				Вторая кореная шейка			Второй кривошип			Третья кореная шейка			Третий кривошип					
Рк.ш1, Н	φ _{кв} , град	Рк1, Н	Т1, Н	Крк1, Н	Тк2, Н	Кк2, Н	Рк.ш2, Н	φ _{кв} , град	Т2, Н	Крк2, Н	Тк3, Н	Кк3, Н	Рк.ш3, Н	φ _{кв} , град	Т3, Н	Крк3, Н	Т1, Н	Ркшпр3	Рк.ш2,4 Н
9238,16	0	18476,32	0	-18476,32	2,4Е-13	751,99	751,991	180	4,9Е-13	-16972,34	-2130,67	-16007,97	16149,14	540	-4261,35	-15043,6	0	4949,144093	1503,982147
9131,47	10	18262,94	-1202,94	-18223,28	353,727	627,13	720,012	190	-495,49	-16969,01	-2143,07	-15853,63	15997,82	550	-3790,64	-14738,24	-601,4703	4797,817656	1348,587094
8783,96	20	17567,91	-2150,34	-17435,81	573,966	253,36	627,399	200	-1002,4	-16929,09	-2353,3	-15776,18	15950,74	560	-3704,2	-14623,28	-1075,17	4750,736761	1123,205885
8236,29	30	16472,58	-2607,31	-16264,93	544,522	-278,1	611,428	210	-1518,3	-16821,13	-2565,67	-15665,83	15874,53	570	-3613,08	-14510,52	-1303,656	4674,532293	1616,940901
7605,16	40	15210,32	-2489,92	-15005,14	235,396	-798,79	832,757	220	-2019,1	-16602,73	-2768,23	-15501,44	15746,67	580	-3517,32	-14400,16	-1244,959	4546,674678	2574,71644
7016,73	50	14033,47	-1831,92	-13913,38	-333,447	-1190,4	1236,18	230	-2498,8	-16294,1	-2957,9	-15293,24	15576,67	590	-3416,98	-14292,39	-915,9619	4376,665375	3451,364353
6608,46	60	13216,92	-783,864	-13193,65	-902,222	-1560,1	1802,21	240	-2588,3	-16313,88	-2950,21	-15250,64	15533,38	600	-3312,11	-14187,41	-391,9322	4333,379678	4054,028194
6478,21	70	12956,42	434,6915	-12949,12	-1566,5	-1703,3	2314,09	250	-2698,3	-16355,65	-2950,54	-15220,54	15503,89	610	-3202,77	-14085,43	217,34576	4303,89	4345,722049
6633,39	80	13266,78	1599,334	-13170,03	-2218,69	-1629,3	2752,65	260	-2838	-16428,56	-2963,54	-15207,61	15493,67	620	-3089,04	-13986,66	799,66708	4293,670469	4321,162131
6993,28	90	13986,56	2529,793	-13755,87	-2775,9	-1395,5	3106,91	270	-3022	-16546,78	-2996,51	-15219,03	15511,22	630	-2971,01	-13891,28	1264,8963	4311,215732	4113,59765
7214,67	100	14429,33	2454,517	-14219,03	-2864,05	-1256,9	3127,71	280	-3273,6	-16732,86	-3061,17	-15266,18	15570,07	640	-2848,77	-13799,5	1227,2585	4370,065893	4127,420723
7603,17	110	15206,35	2725,688	-14960,07	-3178,53	-1031,7	3341,77	290	-3631,4	-17023,48	-3176,9	-15367,5	15692,44	650	-2722,43	-13711,52	1362,8441	4492,443201	4176,656011
7932,16	120	15864,31	2682,544	-15635,87	-3421,6	-921,84	3543,6	300	-4160,7	-17479,56	-3376,38	-15553,55	15915,81	660	-2592,1	-13627,55	1341,2718	4715,806066	4550,846905
8174,33	130	16348,67	2405,777	-16170,69	-3689,27	-1016	3826,62	310	-4972,8	-18202,68	-3715,35	-15875,23	16304,19	670	-2457,92	-13547,77	1202,8885	5104,188714	5371,912991
8332,2	140	16664,41	1987,233	-16545,49	-4119,51	-1405,2	4352,57	320	-6251,8	-19355,87	-4285,9	-16414,12	16964,44	680	-2320,02	-13472,38	993,61651	5764,443279	6854,411918
8420,25	150	16840,49	1499,483	-16773,6	-5089,28	-2400,2	5626,85	330	-8679,1	-21573,9	-5428,81	-17487,73	18311	690	-2178,55	-13401,56	749,74134	7111,00085	9918,120416

Продолжение таблицы Б2

8461,22	160	16922,45	993,3167	-16893,27	-7722,31	-4988,9	9193,64	340	-14451	-26871,04	-8266,14	-20107,42	21740,23	700	-2080,99	-13343,8	496,65833	10540,22961	17561,20649
8478,96	170	16957,92	493,2188	-16950,75	-13441,7	-10325	16949,4	350	-26390	-37600,39	-14185,3	-25444,82	29131,81	710	-1980,45	-13289,26	246,6094	17931,81414	33508,96361
8486,17	180	16972,34	4,89E-13	-16972,34	-19894,8	-16014	25539,2	360	-39790	-49000,15	-20833,4	-31119,13	37449,02	720	-1877,05	-13238,1	2,446E-13	26249,01926	51078,35786
8488,12	190	16976,25	-495,488	-16969,01	-20795,5	-16485	26537,1	370	-42086	-49939,63	-21043,2	-34207,98	40162,21	0	0	-18476,32	-247,7438	28962,20728	53463,35574
8479,37	200	16958,74	-1002,41	-16929,09	-16493	-12499	20693,9	380	-33988	-41926,77	-17595,6	-30075,03	34844,14	10	-1202,94	-18223,28	-501,2037	23644,13828	42191,14162
8444,76	210	16889,51	-1518,27	-16821,13	-12056,4	-8661	14844,9	390	-25631	-34143,2	-13890,7	-25789,51	29292,49	20	-2150,34	-17435,81	-759,1339	18092,48951	30935,48651
8362,53	220	16725,05	-2019,13	-16602,73	-8654,04	-5921,6	10486,1	400	-19327	-28445,87	-10967,3	-22355,4	24900,7	30	-2607,31	-16264,93	-1009,564	13700,69671	22667,17426
8242,3	230	16484,59	-2498,82	-16294,1	-6261,46	-4165,5	7520,48	410	-15022	-24625,17	-8755,83	-19815,15	21663,45	40	-2489,92	-15005,14	-1249,409	10463,44734	17177,29681
8258,96	240	16517,93	-2588,31	-16313,88	-4768,52	-2884,2	5572,93	420	-12125	-22082,32	-6978,63	-17997,85	19303,47	50	-1831,92	-13913,38	-1294,154	8103,471567	13427,5415
8288,37	250	16576,74	-2698,31	-16355,65	-3727,01	-2000,4	4229,94	430	-10152	-20356,52	-5468,1	-16775,09	17643,8	60	-783,864	-13193,65	-1349,153	6443,796916	10912,2281
8335,94	260	16671,89	-2838,04	-16428,56	-2970,61	-1361,2	3267,61	440	-8779,2	-19150,87	-4172,28	-16050	16583,44	70	434,6915	-12949,12	-1419,019	5383,435909	9191,639517
8410,24	270	16820,47	-3022,01	-16546,78	-2389,93	-867,66	2542,56	450	-7801,9	-18282,09	-3101,27	-15726,06	16028,94	80	1599,334	-13170,03	-1511,004	4828,936781	7992,528293
8525,03	280	17050,07	-3273,58	-16732,86	-1909,06	-451,99	1961,84	460	-7091,7	-17636,83	-2280,95	-15696,35	15861,22	90	2529,793	-13755,87	-1636,788	4661,215902	7149,081257
8703,24	290	17406,48	-3631,36	-17023,48	-1467,68	-60,163	1468,91	470	-6566,7	-17143,81	-2056,1	-15681,42	15815,64	100	2454,517	-14219,03	-1815,681	4615,641659	6567,829201
8983,96	300	17967,91	-4160,65	-17479,56	-1006,48	361,2	1069,33	480	-6173,6	-16757,16	-1723,96	-15858,62	15952,04	110	2725,688	-14960,07	-2080,326	4752,044028	6215,727963
9434,86	310	18869,71	-4972,77	-18202,68	-452,119	877,97	987,541	490	-5877	-16446,75	-1597,23	-16041,31	16120,63	120	2682,544	-15635,87	-2486,385	4920,632021	6133,720107
10170,2	320	20340,46	-6251,78	-19355,87	299,261	1581,7	1609,8	500	-5653,3	-16192,4	-1623,74	-16181,54	16262,81	130	2405,777	-16170,69	-3125,891	5062,80565	6478,183657
11627,1	330	23254,23	-8679,07	-21573,9	1726,63	2868	3347,67	510	-5225,8	-15837,82	-1619,29	-16191,66	16272,43	140	1987,233	-16545,49	-4339,534	5072,425135	7759,617233
15255,3	340	30510,54	-14451,3	-26871,04	4832,48	5687,3	7463,13	520	-4786,3	-15496,44	-1643,42	-16135,02	16218,5	150	1499,483	-16773,6	-7225,648	5018,497975	12340,60916
22968,6	350	45937,26	-26390,2	-37600,39	10834,7	11118	15524,5	530	-4720,8	-15363,51	-1863,73	-16128,39	16235,71	160	993,3167	-16893,27	-13195,1	5035,713041	22732,45586
31560,4	360	63120,78	-39789,7	-49000,15	17764,2	16978	24572,9	540	-4261,3	-15043,6	-1884,06	-15997,17	16107,74	170	493,2188	-16950,75	-19894,84	4907,738448	34222,89147
32654,4	370	65308,77	-42086,4	-49939,63	19147,9	17601	26008,2	550	-3790,6	-14738,24	-1895,32	-15855,29	15968,17	180	4,89E-13	-16972,34	-21043,22	4768,168603	35404,90496
26986,4	380	53972,79	-33988,4	-41926,77	15142,1	13652	20387,6	560	-3704,2	-14623,28	-2099,84	-15796,15	15935,11	190	-495,488	-16969,01	-16994,18	4735,105552	27553,61752
21346,6	390	42693,19	-25631	-34143,2	11009	9816,3	14749,9	570	-3613,1	-14510,52	-2307,74	-15719,8	15888,29	200	-1002,41	-16929,09	-12815,52	4688,294912	19962,37604
17195,3	400	34390,53	-19327,2	-28445,87	7904,94	7022,9	10574	580	-3517,3	-14400,16	-2517,8	-15610,64	15812,38	210	-1518,27	-16821,13	-9663,6	4612,384316	14479,4253
14422,7	410	28845,31	-15021,7	-24625,17	5802,38	5166,4	7769,12	590	-3417	-14292,39	-2718,05	-15447,56	15684,86	220	-2019,13	-16602,73	-7510,872	4484,86004	10883,11524
12596,2	420	25192,32	-12125,3	-22082,32	4406,62	3947,5	5916,14	600	-3312,1	-14187,41	-2905,46	-15240,76	15515,23	230	-2498,82	-16294,1	-6062,671	4315,231411	8561,521878
11373,8	430	22747,7	-10152,3	-20356,52	3474,78	3135,5	4680,35	610	-3202,8	-14085,43	-2895,54	-15199,66	15473	240	-2588,31	-16313,88	-5076,164	4272,998199	7041,607812
10533,7	440	21067,3	-8779,25	-19150,87	2845,1	2582,1	3842,12	620	-3089	-13986,66	-2893,67	-15171,15	15444,65	250	-2698,31	-16355,65	-4389,625	4244,650928	6017,585196

Продолжение таблицы Б2

9938,61	450	19877,22	-7801,87	-18282,09	2415,43	2195,4	3264,06	630	-2971	-13891,28	-2904,52	-15159,92	15435,65	260	-2838,04	-16428,56	-3900,936	4235,650333	5301,52082
9504,6	460	19009,21	-7091,7	-17636,83	2121,46	1918,7	2860,4	640	-2848,8	-13799,5	-2935,39	-15173,14	15454,47	270	-3022,01	-16546,78	-3545,849	4254,468513	4779,184976
9179,22	470	18358,43	-6566,73	-17143,81	1922,15	1716,1	2576,78	650	-2722,4	-13711,52	-2998	-15222,19	15514,61	280	-3273,58	-16732,86	-3283,363	4314,608241	4380,889889
8929,11	480	17858,21	-6173,61	-16757,16	1790,75	1564,8	2378,11	660	-2592,1	-13627,55	-3111,73	-15325,51	15638,23	290	-3631,36	-17023,48	-3086,803	4438,230447	4063,679169
8732,62	490	17465,25	-5877,01	-16446,75	1709,54	1449,5	2241,33	670	-2457,9	-13547,77	-3309,29	-15513,66	15862,69	300	-4160,65	-17479,56	-2938,504	4662,694099	3800,723736
8575,45	500	17150,89	-5653,26	-16192,4	1666,62	1360	2151,1	680	-2320	-13472,38	-3646,4	-15837,53	16251,88	310	-4972,77	-18202,68	-2826,629	5051,878393	3575,057046
8338,85	510	16677,7	-5225,8	-15837,82	1523,63	1218,1	1950,71	690	-2178,6	-13401,56	-4215,17	-16378,72	16912,42	320	-6251,78	-19355,87	-2612,902	5712,420015	3268,244493
8109,39	520	16218,77	-4786,33	-15496,44	1352,67	1076,3	1728,63	700	-2081	-13343,8	-5380,03	-17458,85	18269	330	-8679,07	-21573,9	-2393,165	7068,995512	2994,053208
8036,22	530	16072,43	-4720,78	-15363,51	1370,17	1037,1	1718,42	710	-1980,4	-13289,26	-8215,87	-20080,15	21695,92	340	-14451,3	-26871,04	-2360,389	10495,92414	2867,865349
7817,75	540	15635,5	-4261,35	-15043,6	1192,15	902,75	1495,38	720	-1877,1	-13238,1	-14133,6	-25419,24	29084,32	350	-26390,2	-37600,39	-2130,674	17884,31735	2604,446744
7608,95	550	15217,9	-3790,64	-14738,24	1895,32	-1869	2661,87	0	0	-18476,32	-19894,8	-33738,23	39167,24	360	-39789,7	-49000,15	-1895,322	27967,24427	3738,085003
7542,57	560	15085,14	-3704,2	-14623,28	1250,63	-1800	2191,82	10	-1202,9	-18223,28	-21644,7	-34081,46	40373,73	370	-42086,4	-49939,63	-1852,098	29173,73299	3795,66319
7476,79	570	14953,58	-3613,08	-14510,52	731,369	-1462,6	1635,31	20	-2150,3	-17435,81	-18069,3	-29681,29	34748,82	380	-33988,4	-41926,77	-1806,538	23548,81945	3630,606053
7411,75	580	14823,5	-3517,32	-14400,16	455,005	-932,39	1037,48	30	-2607,3	-16264,93	-14119,2	-25204,06	28889,38	390	-25631	-34143,2	-1758,662	17689,37581	3205,535188
7347,59	590	14695,17	-3416,98	-14292,39	463,531	-356,38	584,692	40	-2489,9	-15005,14	-10908,6	-21725,51	24310,37	400	-19327,2	-28445,87	-1708,491	13110,37412	2589,924925
7284,45	600	14568,9	-3312,11	-14187,41	740,092	137,01	752,668	50	-1831,9	-13913,38	-8426,83	-19269,28	21031,32	410	-15021,7	-24625,17	-1656,054	9831,323923	1852,305728
7222,49	610	14444,97	-3202,77	-14085,43	1209,45	445,89	1289,03	60	-783,86	-13193,65	-6454,6	-17637,99	18781,92	420	-12125,3	-22082,32	-1601,385	7581,918606	1187,316938
7161,86	620	14323,71	-3089,04	-13986,66	1761,87	518,77	1836,65	70	434,692	-12949,12	-4858,82	-16652,82	17347,18	430	-10152,3	-20356,52	-1544,52	6147,177176	1124,914602
7102,72	630	14205,44	-2971,01	-13891,28	2285,17	360,62	2313,45	80	1599,33	-13170,03	-3589,96	-16160,45	16554,4	440	-8779,25	-19150,87	-1485,504	5354,395809	1754,441472
7045,24	640	14090,48	-2848,77	-13799,5	2689,28	21,814	2689,37	90	2529,79	-13755,87	-2636,04	-16018,98	16234,42	450	-7801,87	-18282,09	-1424,385	5034,420011	2530,168856
6989,59	650	13979,18	-2722,43	-13711,52	2588,47	-253,76	2600,88	100	2454,52	-14219,03	-2318,59	-15927,93	16095,8	460	-7091,7	-17636,83	-1361,214	4895,804012	2506,436044
6935,94	660	13871,88	-2592,1	-13627,55	2658,9	-666,26	2741,1	110	2725,69	-14960,07	-1920,52	-16051,94	16166,42	470	-6566,73	-17143,81	-1296,052	4966,419716	3033,973511
6884,46	670	13768,93	-2457,92	-13547,77	2570,23	-1044,1	2774,19	120	2682,54	-15635,87	-1745,53	-16196,51	16290,3	480	-6173,61	-16757,16	-1228,962	5090,302715	3399,442972
6835,34	680	13670,68	-2320,02	-13472,38	2362,9	-1349,2	2720,94	130	2405,78	-16170,69	-1735,62	-16308,72	16400,81	490	-5877,01	-16446,75	-1160,011	5200,812976	3615,05801
6788,74	690	13577,48	-2178,55	-13401,56	2082,89	-1572	2609,5	140	1987,23	-16545,49	-1833,01	-16368,95	16471,26	500	-5653,26	-16192,4	-1089,276	5271,258106	3719,327061
6752,55	700	13505,09	-2080,99	-13343,8	1790,24	-1714,9	2479,08	150	1499,48	-16773,6	-1863,16	-16305,71	16411,81	510	-5225,8	-15837,82	-1040,494	5211,810415	3743,255619
6718,01	710	13436,02	-1980,45	-13289,26	1486,88	-1802	2336,24	160	993,317	-16893,27	-1896,51	-16194,85	16305,52	520	-4786,33	-15496,44	-990,2233	5105,520987	3738,386731
6685,26	720	13370,52	-1877,05	-13238,1	1185,14	-1856,3	2202,38	170	493,219	-16950,75	-2113,78	-16157,13	16294,81	530	-4720,78	-15363,51	-938,5268	5094,808799	3745,26091
6571,11	721	13142,22	-1027,96	-13101,96	513,982	-1935,2	2002,28	171	4,9E-13	-16972,34	-2130,67	-16007,97	16149,14	531	-4261,35	-15043,6	-513,9817	4949,144093	3870,379871

Продолжение таблицы Б2

6553,88	722	13107,77	-940,404	-13073,99	222,458	-1947,5	1960,18	172	-495,49	-16969,01	-2143,07	-15853,63	15997,82	532	-3790,64	-14738,24	-470,2018	4797,817656	3926,414066
6538,47	723	13076,94	-851,718	-13049,17	-75,3449	-1940	1941,42	173	-1002,4	-16929,09	-2353,3	-15776,18	15950,74	533	-3704,2	-14623,28	-425,8588	4750,736761	4007,313612
6524,93	724	13049,86	-762,101	-13027,58	-378,083	-1896,8	1934,09	174	-1518,3	-16821,13	-2565,67	-15665,83	15874,53	534	-3613,08	-14510,52	-381,0504	4674,532293	4086,091519
6513,31	725	13026,62	-671,757	-13009,28	-673,685	-1796,7	1918,87	175	-2019,1	-16602,73	-2768,23	-15501,44	15746,67	535	-3517,32	-14400,16	-335,8786	4546,674678	4121,857536
6503,65	726	13007,3	-580,899	-12994,33	-958,96	-1649,9	1908,33	176	-2498,8	-16294,1	-2957,9	-15293,24	15576,67	536	-3416,98	-14292,39	-290,4495	4376,665375	4139,157198
6495,99	727	12991,98	-489,747	-12982,75	-1049,28	-1665,6	1968,53	177	-2588,3	-16313,88	-2950,21	-15250,64	15533,38	537	-3312,11	-14187,41	-244,8733	4333,379678	4218,500927
6490,35	728	12980,7	-398,528	-12974,58	-1149,89	-1690,5	2044,54	178	-2698,3	-16355,65	-2950,54	-15220,54	15503,89	538	-3202,77	-14085,43	-199,2638	4303,89	4325,792873
6486,74	729	12973,49	-307,477	-12969,84	-1265,28	-1729,4	2142,8	179	-2838	-16428,56	-2963,54	-15207,61	15493,67	539	-3089,04	-13986,66	-153,7387	4293,670469	4474,054275
6485,17	730	12970,34	-216,838	-12968,53	-1402,58	-1789,1	2273,37	180	-3022	-16546,78	-2996,51	-15219,03	15511,22	540	-2971,01	-13891,28	-108,4191	4311,215732	4683,629791
6485,62	731	12971,25	-126,859	-12970,63	-1573,36	-1881,1	2452,36	181	-3273,6	-16732,86	-3061,17	-15266,18	15570,07	541	-2848,77	-13799,5	-63,42933	4370,065893	4987,048722
6488,09	732	12976,17	-37,7936	-12976,12	-1796,78	-2023,7	2706,24	182	-3631,4	-17023,48	-3176,9	-15367,5	15692,44	542	-2722,43	-13711,52	-18,8968	4492,443201	5437,64167
6492,52	733	12985,04	50,09649	-12984,95	-2105,37	-2247,3	3079,44	183	-4160,7	-17479,56	-3376,38	-15553,55	15915,81	543	-2592,1	-13627,55	25,048245	4715,806066	6124,747188
6498,89	734	12997,78	136,546	-12997,06	-2554,66	-2602,8	3647,04	184	-4972,8	-18202,68	-3715,35	-15875,23	16304,19	544	-2457,92	-13547,77	68,272996	5104,188714	7199,093244
6507,13	735	13014,26	221,2846	-13012,38	-3236,53	-3171,7	4531,57	185	-6251,8	-19355,87	-4285,9	-16414,12	16964,44	545	-2320,02	-13472,38	110,64231	5764,443279	8906,436528
6517,18	736	13034,35	304,0379	-13030,8	-4491,55	-4271,5	6198,4	186	-8679,1	-21573,9	-5428,81	-17487,73	18311	546	-2178,55	-13401,56	152,01897	7111,00085	12178,2887
6528,94	737	13057,89	384,528	-13052,22	-7417,91	-6909,4	10137,3	187	-14451	-26871,04	-8266,14	-20107,42	21740,23	547	-2080,99	-13343,8	192,26402	10540,22961	19994,99457
6542,34	738	13084,67	462,474	-13076,5	-13426,3	-12262	18183	188	-26390	-37600,39	-14185,3	-25444,82	29131,81	548	-1980,45	-13289,26	231,237	17931,81414	36025,88168
6557,25	739	13114,49	537,5925	-13103,47	-20163,6	-17948	26994,7	189	-39790	-49000,15	-20833,4	-31119,13	37449,02	549	-1877,05	-13238,1	268,79627	26249,01926	53589,08004
6573,55	740	13147,11	609,5987	-13132,97	-21348	-18403	28185,5	190	-42086	-49939,63	-21557,2	-31520,8	38187,35	550	-1027,96	-13101,96	304,79934	26987,34892	55910,63674
6591,12	741	13182,24	678,2065	-13164,78	-17333,3	-14381	22522,3	191	-33988	-41926,77	-17464,4	-27500,38	32577,22	551	-940,404	-13073,99	339,10324	21377,22333	44524,82648
6609,8	742	13219,6	743,1296	-13198,7	-13187,1	-10472	16839,5	192	-25631	-34143,2	-13241,4	-23596,19	27057,61	552	-851,718	-13049,17	371,56478	15857,60797	33100,18894
6629,43	743	13258,86	804,082	-13234,45	-10065,6	-7605,7	12616	193	-19327	-28445,87	-10044,7	-20736,73	23041,42	553	-762,101	-13027,58	402,04102	11841,41763	24595,28298
6649,83	744	13299,67	860,7791	-13271,78	-7941,26	-5676,7	9761,58	194	-15022	-24625,17	-7846,75	-18817,23	20387,73	554	-671,757	-13009,28	430,38957	9187,730459	18829,55753
6670,83	745	13341,65	912,9381	-13310,38	-6519,14	-4386	7857,22	195	-12125	-22082,32	-6353,12	-17538,32	18653,55	555	-580,899	-12994,33	456,46904	7453,550137	14965,65589
6692,2	746	13384,41	960,2788	-13349,92	-5556,3	-3503,3	6568,53	196	-10152	-20356,52	-5321,04	-16669,63	17498,29	556	-489,747	-12982,75	480,13942	6298,289815	12335,40655
6713,76	747	13427,51	1002,525	-13390,03	-4890,89	-2880,4	5676,05	197	-8779,2	-19150,87	-4588,89	-16062,73	16705,36	557	-398,528	-12974,58	501,26258	5505,362511	10500,59555
6735,25	748	13470,5	1039,405	-13430,34	-4420,64	-2425,9	5042,51	198	-7801,9	-18282,09	-4054,67	-15625,96	16143,46	558	-307,477	-12969,84	519,70266	4943,455684	9187,419041
6756,45	749	13512,9	1070,653	-13470,41	-4081,18	-2083,2	4582,11	199	-7091,7	-17636,83	-3654,27	-15302,68	15732,95	559	-216,838	-12968,53	535,32665	4532,948935	8225,036554
6777,09	750	13554,19	1096,01	-13509,8	-3831,37	-1817	4240,39	200	-6566,7	-17143,81	-3346,79	-15057,22	15424,68	560	-126,859	-12970,63	548,00484	4224,682718	7505,190575

Продолжение таблицы Б2

6796,92	751	13593,84	1115,223	-13548,02	-3644,41	-1604,6	3982,01	201	-6173,6	-16757,16	-3105,7	-14866,64	15187,57	561	-37,7936	-12976,12	557,61146	3987,571058	6957,873934
6815,65	752	13631,29	1128,05	-13584,53	-3502,53	-1431,1	3783,62	202	-5877	-16446,75	-2913,46	-14715,85	15001,48	562	50,09649	-12984,95	564,02523	3801,481604	6536,934166
6832,97	753	13665,94	1134,26	-13618,79	-3393,76	-1286,8	3629,53	203	-5653,3	-16192,4	-2758,36	-14594,73	14853,1	563	136,546	-12997,06	567,13006	3653,103009	6211,505477
6848,59	754	13697,17	1133,632	-13650,18	-3179,72	-1093,8	3362,6	204	-5225,8	-15837,82	-2502,26	-14425,1	14640,52	564	221,2846	-13012,38	566,81575	3440,518211	5665,226717
6862,16	755	13724,33	1125,958	-13678,06	-2956,14	-909,19	3092,8	205	-4786,3	-15496,44	-2241,15	-14263,62	14438,62	565	304,0379	-13030,8	562,9788	3238,61574	5120,103274
6873,36	756	13746,72	1111,047	-13701,75	-2915,91	-830,88	3031,98	206	-4720,8	-15363,51	-2168,12	-14207,86	14372,34	566	384,528	-13052,22	555,52327	3172,340599	5004,716018
6881,82	757	13763,64	1088,723	-13720,51	-2675,04	-661,54	2755,62	207	-4261,3	-15043,6	-1899,44	-14060,05	14187,77	567	462,474	-13076,5	544,36173	2987,769902	4462,022979
6887,16	758	13774,33	1058,833	-13733,57	-2424,74	-502,33	2476,23	208	-3790,6	-14738,24	-1626,53	-13920,85	14015,55	568	537,5925	-13103,47	529,41635	2815,554507	3921,52163
6889	759	13778	1021,24	-13740,1	-2362,72	-441,59	2403,63	209	-3704,2	-14623,28	-1547,3	-13878,12	13964,11	569	609,5987	-13132,97	510,62009	2764,112893	3808,026999
6886,92	760	13773,84	975,8361	-13739,23	-2294,46	-385,65	2326,64	210	-3613,1	-14510,52	-1467,44	-13837,65	13915,24	570	678,2065	-13164,78	487,91804	2715,242925	3694,484811
6880,49	761	13760,97	922,5378	-13730,01	-2219,93	-335,07	2245,08	211	-3517,3	-14400,16	-1387,1	-13799,43	13868,97	571	743,1296	-13198,7	461,26891	2668,965496	3580,594088
6869,25	762	13738,5	861,2935	-13711,48	-2139,14	-290,45	2158,77	212	-3417	-14292,39	-1306,45	-13763,42	13825,29	572	804,082	-13234,45	430,64674	2625,286937	3466,008948
6852,74	763	13705,49	792,0855	-13682,58	-2052,1	-252,42	2067,56	213	-3312,1	-14187,41	-1225,66	-13729,6	13784,2	573	860,7791	-13271,78	396,04276	2584,197929	3350,360418
6830,48	764	13660,95	714,9352	-13642,23	-1958,85	-221,6	1971,35	214	-3202,8	-14085,43	-1144,92	-13697,91	13745,67	574	912,9381	-13310,38	357,4676	2545,672425	3233,289644
6801,93	765	13603,86	629,9073	-13589,27	-1859,47	-198,69	1870,06	215	-3089	-13986,66	-1064,38	-13668,29	13709,67	575	960,2788	-13349,92	314,95365	2509,666564	3114,496508
6766,58	766	13533,15	537,1156	-13522,49	-1754,06	-184,39	1763,73	216	-2971	-13891,28	-984,242	-13640,65	13676,12	576	1002,525	-13390,03	268,5578	2476,117603	2993,809352
6723,86	767	13447,72	436,7289	-13440,63	-1642,75	-179,43	1652,52	217	-2848,8	-13799,5	-904,682	-13614,92	13644,94	577	1039,405	-13430,34	218,36446	2444,942858	2871,283879
6673,21	768	13346,43	328,978	-13342,37	-1525,7	-184,58	1536,83	218	-2722,4	-13711,52	-825,888	-13590,97	13616,04	578	1070,653	-13470,41	164,48902	2416,038658	2747,342518
6614,04	769	13228,08	214,1631	-13226,34	-1403,13	-200,6	1417,4	219	-2592,1	-13627,55	-748,047	-13568,67	13589,28	579	1096,01	-13509,8	107,08157	2389,279313	2622,969366
6545,73	770	13091,47	92,66236	-13091,14	-1275,29	-228,31	1295,57	220	-2457,9	-13547,77	-671,35	-13547,89	13564,52	580	1115,223	-13548,02	46,33118	2364,516108	2499,978798
6467,68	771	12935,36	-35,0591	-12935,31	-1142,48	-268,53	1173,62	221	-2320	-13472,38	-595,986	-13528,45	13541,58	581	1128,05	-13584,53	-17,52956	2341,576315	2381,373675
6379,26	772	12758,51	-168,439	-12757,4	-1005,06	-322,08	1055,4	222	-2178,6	-13401,56	-522,146	-13510,18	13520,26	582	1134,26	-13618,79	-84,21948	2320,262217	2271,790793
6279,83	773	12559,67	-306,807	-12555,92	-887,091	-393,94	970,629	223	-2081	-13343,8	-473,679	-13496,99	13505,3	583	1133,632	-13650,18	-153,4034	2305,299314	2225,146078
6168,8	774	12337,59	-449,373	-12329,41	-765,537	-479,93	903,536	224	-1980,4	-13289,26	-427,245	-13483,66	13490,43	584	1125,958	-13678,06	-224,6865	2290,428905	2200,793606
6045,55	775	12091,1	-595,217	-12076,44	-640,919	-580,83	864,953	225	-1877,1	-13238,1	-383,004	-13469,93	13475,37	585	1111,047	-13701,75	-297,6083	2275,370398	2207,442091
5909,52	776	11819,04	-743,273	-11795,65	-142,345	-653,16	668,488	226	-1028	-13101,96	30,3801	-13411,24	13411,27	586	1088,723	-13720,51	-371,6365	2211,270403	1662,276275
5760,2	777	11520,39	-892,323	-11485,78	-24,0403	-794,1	794,467	227	-940,4	-13073,99	59,2145	-13403,78	13403,91	587	1058,833	-13733,57	-446,1615	2203,911734	1845,741448
5598,68	778	11197,37	-1039,1	-11149,05	93,6926	-950,06	954,671	228	-851,72	-13049,17	84,7613	-13394,64	13394,91	588	1021,24	-13740,1	-519,5514	2194,906289	2082,281463
5423,17	779	10846,33	-1183,97	-10781,52	210,937	-1123	1142,67	229	-762,1	-13027,58	106,868	-13383,41	13383,83	589	975,8361	-13739,23	-591,9869	2183,831716	2371,834977

Продолжение таблицы Б2

5233,04	780	10466,08	-1325,61	-10381,79	326,928	-1313,7	1353,82	230	-671,76	-13009,28	125,39	-13369,65	13370,24	590	922,5378	-13730,01	-662,8065	2170,236111	2712,009875
5027,62	781	10055,24	-1462,67	-9948,288	440,884	-1523	1585,55	231	-580,9	-12994,33	140,197	-13352,9	13353,64	591	861,2935	-13711,48	-731,3339	2153,637296	3100,933405
4806,17	782	9612,339	-1593,74	-9479,296	551,996	-1751,7	1836,64	232	-489,75	-12982,75	151,169	-13332,67	13333,52	592	792,0855	-13682,58	-796,8697	2133,522216	3537,517908
4567,89	783	9135,786	-1717,36	-8972,918	659,416	-2000,8	2106,69	233	-398,53	-12974,58	158,204	-13308,41	13309,35	593	714,9352	-13642,23	-858,6801	2109,346487	4021,460348
4311,96	784	8623,928	-1831,97	-8427,101	762,246	-2271,4	2395,86	234	-307,48	-12969,84	161,215	-13279,56	13280,53	594	629,9073	-13589,27	-915,9844	2080,53417	4553,134732
4037,57	785	8075,137	-1935,88	-7839,656	859,521	-2564,4	2704,65	235	-216,84	-12968,53	160,139	-13245,51	13246,48	595	537,1156	-13522,49	-967,9403	2046,477836	5133,453155
3743,98	786	7487,951	-2027,25	-7208,305	950,197	-2881,2	3033,8	236	-126,86	-12970,63	154,935	-13205,63	13206,54	596	436,7289	-13440,63	-1013,627	2006,539041	5763,72045
3430,66	787	6861,316	-2104,05	-6530,744	1033,13	-3222,7	3384,24	237	-37,794	-12976,12	145,592	-13159,24	13160,05	597	328,978	-13342,37	-1052,026	1960,04932	6445,483923
3097,5	788	6195,007	-2164,02	-5804,751	1107,06	-3590,1	3756,91	238	50,0965	-12984,95	132,13	-13105,65	13106,31	598	214,1631	-13226,34	-1082,009	1906,311851	7180,371088
2745,2	789	5490,394	-2204,63	-5028,324	1170,59	-3984,4	4152,77	239	136,546	-12997,06	114,604	-13044,1	13044,6	599	92,66236	-13091,14	-1102,314	1844,603989	7969,906847
2375,97	790	4751,933	-2223,08	-4199,853	1222,18	-4406,3	4572,62	240	221,285	-13012,38	93,1127	-12973,85	12974,18	600	-35,0591	-12935,31	-1111,542	1774,180873	8815,30343
1995,2	791	3990,409	-2216,3	-3318,342	1260,17	-4856,2	5017,07	241	304,038	-13030,8	67,7995	-12894,1	12894,28	601	-168,439	-12757,4	-1108,149	1694,280378	9717,220133
1615,41	792	3230,815	-2180,91	-2383,655	1282,72	-5334,3	5486,34	242	384,528	-13052,22	38,8606	-12804,07	12804,13	602	-306,807	-12555,92	-1090,453	1604,12971	10675,4949
1266,6	793	2533,207	-2113,32	-1396,794	1287,9	-5839,9	5980,18	243	462,474	-13076,5	6,55047	-12702,95	12702,95	603	-449,373	-12329,41	-1056,658	1502,954006	11688,85563
1020,9	794	2041,798	-2009,78	-360,1807	1273,69	-6371,6	6497,7	244	537,593	-13103,47	-28,812	-12589,95	12589,99	604	-595,217	-12076,44	-1004,889	1389,987317	12754,6255
1000,65	795	2001,302	-1866,5	722,0704	1238,05	-6927,5	7037,28	245	609,599	-13132,97	-66,8372	-12464,31	12464,49	605	-743,273	-11795,65	-933,2505	1264,486431	13868,44239
1247,17	796	2494,349	-1679,81	1843,918	1179,01	-7504,4	7596,4	246	678,206	-13164,78	-107,058	-12325,28	12325,75	606	-892,323	-11485,78	-839,9026	1125,74798	15024,01757
1663,97	797	3327,94	-1446,32	2997,225	1094,72	-8098	8171,62	247	743,13	-13198,7	-147,987	-12173,87	12174,77	607	-1039,1	-11149,05	-723,1575	974,7717918	16212,96111
2165,41	798	4330,811	-1163,17	4171,684	983,628	-8703,1	8758,48	248	804,082	-13234,45	-189,946	-12007,99	12009,49	608	-1183,97	-10781,52	-581,5872	809,4892217	17424,70105
2709,27	799	5418,537	-828,283	5354,857	844,531	-9313,3	9351,53	249	860,779	-13271,78	-232,417	-11826,79	11829,07	609	-1325,61	-10381,79	-414,1415	629,0685723	18646,51918
3273,59	800	6547,184	-440,528	6532,347	676,733	-9921,4	9944,42	250	912,938	-13310,38	-274,865	-11629,33	11632,58	610	-1462,67	-9948,288	-220,2641	432,5821966	19863,71819
3844,05	801	7688,102	-5,1E-12	7688,102	480,139	-10519	10530	251	960,279	-13349,92	-316,73	-11414,61	11419	611	-1593,74	-9479,296	-2,53E-12	219,0000206	21059,92413
4409,29	802	8818,579	491,8357	8804,852	255,345	-11097	11100,4	252	1002,53	-13390,03	-357,417	-11181,48	11187,19	612	-1717,36	-8972,918	245,91785	-12,8135791	22217,51569
4959,24	803	9918,48	1032,02	9864,643	3,69285	-11647	11647,5	253	1039,41	-13430,34	-396,282	-10928,72	10935,9	613	-1831,97	-8427,101	516,00981	-264,097778	23318,15907
5484,57	804	10969,14	1616,053	10849,45	-272,7	-12160	12163	254	1070,65	-13470,41	-432,614	-10655,04	10663,81	614	-1935,88	-7839,656	808,02664	-536,186004	24343,417
5976,59	805	11953,18	2237,932	11741,82	-570,961	-12626	12638,7	255	1096,01	-13509,8	-465,622	-10359,05	10369,51	615	-2027,25	-7208,305	1118,9658	-830,486788	25275,39318
6427,33	806	12854,65	2890,256	12525,51	-887,516	-13037	13066,9	256	1115,22	-13548,02	-494,415	-10039,38	10051,55	616	-2104,05	-6530,744	1445,1278	-1148,45193	26097,37121
6829,69	807	13659,39	3564,421	13186,12	-1218,19	-13385	13440,6	257	1128,05	-13584,53	-517,984	-9694,643	9708,471	617	-2164,02	-5804,751	1782,2104	-1491,52912	26794,40833
7177,68	808	14355,35	4250,87	13711,54	-1558,3	-13665	13753,7	258	1134,26	-13618,79	-535,184	-9323,556	9338,904	618	-2204,63	-5028,324	2125,4349	-1861,09643	27353,85063

Продолжение таблицы Б2

7466,49	809	14932,98	4939,394	14092,41	-1902,88	-13871	14001,2	259	1133,63	-13650,18	-544,726	-8925,016	8941,623	619	-2223,08	-4199,853	2469,6968	-2258,37659	27765,74417
7692,7	810	15385,4	5619,466	14322,44	-2246,75	-14000	14179,4	260	1125,96	-13678,06	-545,17	-8498,201	8515,67	620	-2216,3	-3318,342	2809,7329	-2684,33019	28023,12574
7854,33	811	15708,66	6280,591	14398,48	-2584,77	-14050	14285,9	261	1111,05	-13701,75	-534,93	-8042,702	8060,472	621	-2180,91	-2383,655	3140,2954	-3139,52826	28122,18665
7950,89	812	15901,77	6912,648	14320,67	-2911,96	-14021	14319,8	262	1088,72	-13720,51	-512,296	-7558,653	7575,994	622	-2113,32	-1396,794	3456,324	-3624,00597	28062,31006
7983,35	813	15966,7	7506,216	14092,28	-3223,69	-13913	14281,5	263	1058,83	-13733,57	-475,473	-7046,877	7062,899	623	-2009,78	-360,1807	3753,1081	-4137,10075	27845,98949
7954,16	814	15908,32	8052,863	13719,55	-3515,81	-13730	14172,8	264	1021,24	-13740,1	-422,63	-6509,016	6522,723	624	-1866,5	722,07043	4026,4316	-4677,27728	27478,63992
7867,11	815	15734,22	8545,392	13211,43	-3784,78	-13475	13996,7	265	975,836	-13739,23	-351,985	-5947,654	5958,061	625	-1679,81	1843,9179	4272,696	-5241,93946	26968,31628
7727,23	816	15454,47	8978,03	12579,17	-4027,75	-13155	13757,4	266	922,538	-13730,01	-261,889	-5366,394	5372,78	626	-1446,32	2997,2249	4489,0148	-5827,2197	26325,35595
7540,7	817	15081,39	9346,558	11835,97	-4242,63	-12774	13459,9	267	861,293	-13711,48	-150,941	-4769,897	4772,284	627	-1163,17	4171,6841	4673,279	-6427,71573	25561,96262
7314,6	818	14629,2	9648,379	10996,46	-4428,15	-12340	13110	268	792,086	-13682,58	-18,0987	-4163,862	4163,902	628	-828,283	5354,8572	4824,1896	-7036,09834	24691,75019
7056,83	819	14113,65	9882,516	10076,26	-4583,79	-11859	12714,3	269	714,935	-13642,23	137,203	-3554,942	3557,588	629	-440,528	6532,3468	4941,2578	-7642,4116	23729,26508
6775,85	820	13551,7	10049,55	9091,491	-4709,82	-11340	12279,5	270	629,907	-13589,27	314,954	-2950,584	2967,346	630	-5,1E-12	7688,1023	5024,7746	-8232,6543	22689,506
6480,53	821	12961,06	10151,5	8058,285	-4807,19	-10790	11812,8	271	537,116	-13522,49	514,476	-2358,82	2414,273	631	491,8357	8804,8524	5075,7516	-8785,72668	21587,45966
6179,88	822	12359,75	10191,67	6992,372	-4877,47	-10217	11321,1	272	436,729	-13440,63	734,374	-1787,994	1932,933	632	1032,02	9864,6427	5095,8365	-9267,06711	20437,67008
5882,84	823	11765,68	10174,42	5908,676	-4922,72	-9625,5	10811,3	273	328,978	-13342,37	972,516	-1246,462	1580,966	633	1616,053	10849,447	5087,2105	-9619,03385	19253,85788
5598,03	824	11196,06	10104,94	4820,989	-4945,39	-9023,7	10290	274	214,163	-13226,34	1226,05	-742,2641	1433,23	634	2237,932	11741,816	5052,4718	-9766,77005	18048,60306
5333,41	825	10666,82	9989,026	3741,708	-4948,18	-8416,4	9763,23	275	92,6624	-13091,14	1491,46	-282,8133	1518,036	635	2890,256	12525,513	4994,5128	-9681,96405	16833,10252
5095,96	826	10191,91	9832,795	2681,655	-4933,93	-7808,5	9236,67	276	-35,059	-12935,31	1764,68	125,40169	1769,131	636	3564,421	13186,118	4916,3974	-9430,86909	15617,00904
4891,32	827	9782,639	9642,49	1649,972	-4905,46	-7203,7	8715,31	277	-168,44	-12757,4	2041,22	477,06804	2096,224	637	4250,87	13711,536	4821,245	-9103,77613	14408,35573
4723,46	828	9446,924	9424,253	654,0844	-4865,53	-6605	8203,62	278	-306,81	-12555,92	2316,29	768,24783	2440,373	638	4939,394	14092,415	4712,1267	-8759,62714	13213,56563
4594,43	829	9188,862	9183,955	-300,2534	-4816,66	-6014,6	7705,54	279	-449,37	-12329,41	2585,05	996,51438	2770,47	639	5619,466	14322,436	4591,9775	-8429,52975	12037,54478
4504,27	830	9008,534	8927,056	-1208,868	-4761,14	-5433,8	7224,57	280	-595,22	-12076,44	2842,69	1161,0224	3070,642	640	6280,591	14398,482	4463,5279	-8129,35791	10883,85643
4451,14	831	8902,284	8658,51	-2069,026	-4700,89	-4863,3	6763,89	281	-743,27	-11795,65	3084,69	1262,5119	3333,052	641	6912,648	14320,67	4329,255	-7866,94839	9754,9786
4431,7	832	8863,403	8382,708	-2879,258	-4637,52	-4303,3	6326,5	282	-892,32	-11485,78	3306,95	1303,2484	3554,483	642	7506,216	14092,279	4191,3539	-7645,51661	8652,658237
4441,55	833	8883,104	8103,453	-3639,174	-4571,28	-3754,9	5915,75	283	-1039,1	-11149,05	3506,88	1285,2523	3734,981	643	8052,863	13719,553	4051,7266	-7465,01913	7581,421651
4475,79	834	8951,572	7823,972	-4349,265	-4503,97	-3216,1	5534,37	284	-1184	-10781,52	3680,71	1214,9547	3876,046	644	8545,392	13211,429	3911,9859	-7323,95382	6540,312481
4529,45	835	9058,9	7546,943	-5010,721	-4436,28	-2685,5	5185,81	285	-1325,6	-10381,79	3826,21	1098,6935	3980,829	645	8978,03	12579,174	3773,4714	-7219,17124	5532,232483
4597,89	836	9195,786	7274,547	-5625,251	-4368,61	-2161,5	4874,1	286	-1462,7	-9948,288	3941,95	943,84148	4053,365	646	9346,558	11835,971	3637,2736	-7146,63499	4563,775455
4676,98	837	9353,963	7008,525	-6194,934	-4301,13	-1642,2	4603,97	287	-1593,7	-9479,296	4027,32	758,58228	4098,14	647	9648,379	10996,46	3504,2624	-7101,85989	3650,62204

Продолжение таблицы Б2

4764,26	838	9528,513	6786,773	-6688,219	-4252,07	-1142,3	4402,84	288	-1717,4	-8972,918	4082,58	551,67235	4119,682	648	9882,516	10076,262	3393,3863	-7080,31762	2858,176866
4854,26	839	9708,516	6572,551	-7145,408	-4202,26	-640,85	4250,84	289	-1832	-8427,101	4108,79	332,19503	4122,197	649	10049,55	9091,4907	3286,2756	-7077,80271	2235,809805
4945,18	840	9890,361	6366,366	-7568,924	-4151,12	-135,37	4153,33	290	-1935,9	-7839,656	4107,81	109,31423	4109,266	650	10151,5	8058,2848	3183,1831	-7090,73446	1954,719797
5035,64	841	10071,28	6168,617	-7961,082	-4097,94	376,39	4115,18	291	-2027,3	-7208,305	4082,21	-107,9664	4083,637	651	10191,67	6992,3719	3084,3086	-7116,36269	2162,505317
5124,6	842	10249,2	5979,61	-8324,083	-4041,83	896,67	4140,1	292	-2104,1	-6530,744	4035,18	-311,0338	4047,154	652	10174,42	5908,6761	2989,8051	-7152,84639	2764,61659
5211,31	843	10422,62	5799,567	-8660,022	-3981,79	1427,6	4229,99	293	-2164	-5804,751	3970,46	-491,8814	4000,815	653	10104,94	4820,9885	2899,7837	-7199,18462	3582,672623
5295,24	844	10590,48	5628,638	-8970,882	-3916,63	1971,3	4384,74	294	-2204,6	-5028,324	3892,2	-643,3083	3945,004	654	9989,026	3741,7075	2814,3191	-7254,99594	4517,09513
5376,05	845	10752,1	5466,907	-9258,54	-3845	2529,3	4602,34	295	-2223,1	-4199,853	3804,86	-759,0991	3879,84	655	9832,795	2681,6551	2733,4534	-7320,16026	5525,613905
5453,53	846	10907,06	5314,4	-9524,767	-3765,35	3103,2	4879,32	296	-2216,3	-3318,342	3713,1	-834,1853	3805,647	656	9642,49	1649,9715	2657,2	-7394,35292	6590,271709
5527,6	847	11055,19	5171,095	-9771,235	-3676	3693,8	5211,24	297	-2180,9	-2383,655	3621,67	-864,7854	3723,489	657	9424,253	654,08439	2585,5473	-7476,51055	7702,771332
5598,24	848	11196,47	5036,923	-9999,518	-3575,12	4301,4	5593,14	298	-2113,3	-1396,794	3535,32	-848,5237	3635,722	658	9183,955	-300,2534	2518,4615	-7564,27791	8858,496954
5665,51	849	11331,02	4911,778	-10211,1	-3460,78	4925,5	6019,73	299	-2009,8	-360,1807	3458,64	-784,5245	3546,5	659	8927,056	-1208,868	2455,889	-7653,50029	10053,84323
5729,53	850	11459,07	4795,519	-10407,36	-3331,01	5564,7	6485,5	300	-1866,5	722,0704	3396	-673,4777	3462,141	660	8658,51	-2069,026	2397,7595	-7737,85921	11284,86228
5790,45	851	11580,9	4687,975	-10589,62	-3183,89	6216,8	6984,65	301	-1679,8	1843,918	3351,45	-517,67	3391,196	661	8382,708	-2879,258	2343,9875	-7808,80438	12546,50023
5848,43	852	11696,87	4588,949	-10759,1	-3017,63	6878,2	7511,01	302	-1446,3	2997,225	3328,57	-320,9743	3344,009	662	8103,453	-3639,174	2294,4745	-7855,99096	13832,14708
5903,68	853	11807,35	4498,222	-10916,94	-2830,7	7544,3	8057,89	303	-1163,2	4171,684	3330,4	-88,79067	3331,582	663	7823,972	-4349,265	2249,1108	-7868,41799	15133,39433
5956,39	854	11912,77	4415,553	-11064,22	-2621,92	8209,5	8618,06	304	-828,28	5354,857	3359,33	172,068	3363,734	664	7546,943	-5010,721	2207,7766	-7836,26622	16439,96032
6006,77	855	12013,54	4340,688	-11201,95	-2390,61	8867,1	9183,75	305	-440,53	6532,347	3417,01	453,54802	3446,978	665	7274,547	-5625,251	2170,344	-7753,02163	17739,76724
6055,05	856	12110,09	4273,355	-11331,06	-2136,68	9509,6	9746,67	306	-5E-12	7688,102	3504,26	746,5844	3582,91	666	7008,525	-6194,934	2136,6775	-7617,09016	19019,15827
6101,42	857	12202,85	4213,271	-11452,42	-1860,72	10129	10298,1	307	491,836	8804,852	3639,3	1058,3168	3790,062	667	6786,773	-6688,219	2106,6357	-7409,9381	20263,23963
6146,11	858	12292,22	4160,144	-11566,85	-1564,06	10716	10829,3	308	1032,02	9864,643	3802,29	1359,6173	4038,061	668	6572,551	-7145,408	2080,0722	-7161,93938	21456,32515
6189,31	859	12378,63	4113,672	-11675,11	-1248,81	11262	11331,3	309	1616,05	10849,45	3991,21	1640,2614	4315,114	669	6366,366	-7568,924	2056,8362	-6884,88554	22582,45385
6231,23	860	12462,45	4073,547	-11777,9	-917,808	11760	11795,6	310	2237,93	11741,82	4203,27	1890,367	4608,796	670	6168,617	-7961,082	2036,7736	-6591,20371	23625,94622
6272,03	861	12544,07	4039,455	-11875,88	-574,6	12201	12214,2	311	2890,26	12525,51	4434,93	2100,7151	4907,304	671	5979,61	-8324,083	2019,7277	-6292,69592	24571,96315
6311,92	862	12623,83	4011,08	-11969,64	-223,33	12578	12579,9	312	3564,42	13186,12	4681,99	2263,0479	5200,236	672	5799,567	-8660,022	2005,54	-5999,76394	25407,03344
6351,04	863	12702,07	3988,101	-12059,76	131,384	12886	12886,3	313	4250,87	13711,54	4939,75	2370,3268	5479,016	673	5628,638	-8970,882	1994,0506	-5720,98374	26119,52088
6389,55	864	12779,11	3970,198	-12146,73	484,598	13120	13128,5	314	4939,39	14092,41	5203,15	2416,9375	5737,104	674	5466,907	-9258,54	1985,0989	-5462,89636	26700,00895
6427,61	865	12855,22	3957,049	-12231,05	831,209	13277	13302,7	315	5619,47	14322,44	5466,93	2398,8347	5970,072	675	5314,4	-9524,767	1978,5243	-5229,92773	27141,58899
6465,34	866	12930,68	3948,333	-12313,13	1166,13	13356	13406,6	316	6280,59	14398,48	5725,84	2313,6234	6175,608	676	5171,095	-9771,235	1974,1665	-5024,39249	27440,04528

Продолжение таблицы Б2

6502,86	867	13005,73	3943,732	-12393,38	1484,46	13357	13439,3	317	6912,65	14320,67	5974,79	2160,5761	6353,436	677	5036,923	-9999,518	1971,8661	-4846,56388	27593,93688
6540,29	868	13080,58	3942,929	-12472,16	1781,64	13282	13401,2	318	7506,22	14092,28	6209	1940,5908	6505,193	678	4911,778	-10211,1	1971,4647	-4694,80692	27604,58111
6577,72	869	13155,43	3945,612	-12549,8	2053,63	13135	13294,3	319	8052,86	13719,55	6424,19	1656,0949	6634,22	679	4795,519	-10407,36	1972,806	-4565,7795	27475,94658
6615,23	870	13230,46	3951,471	-12626,59	2296,96	12919	13121,6	320	8545,39	13211,43	6616,68	1310,9032	6745,292	680	4687,975	-10589,62	1975,7353	-4454,70777	27214,46627
6652,9	871	13305,81	3960,201	-12702,81	2508,91	12641	12887,6	321	8978,03	12579,17	6783,49	910,03711	6844,26	681	4588,949	-10759,1	1980,1007	-4355,74001	26828,78182
6690,8	872	13381,61	3971,505	-12778,68	2687,53	12307	12597,3	322	9346,56	11835,97	6922,39	459,51417	6937,624	682	4498,222	-10916,94	1985,7526	-4262,3755	26329,43135
6728,98	873	13457,97	3985,089	-12854,41	2831,64	11925	12257	323	9648,38	10996,46	7031,97	-33,88202	7032,048	683	4415,553	-11064,22	1992,5447	-4167,95221	25728,49354
6767,49	874	13534,97	4000,668	-12930,2	2940,92	11503	11873,2	324	9882,52	10076,26	7111,6	-562,8437	7133,84	684	4340,688	-11201,95	2000,3339	-4066,16008	25039,20133
6806,35	875	13612,7	4017,961	-13006,21	3015,79	11049	11453	325	10049,5	9091,491	7161,45	-1119,783	7248,469	685	4273,355	-11331,06	2008,9806	-3951,53053	24275,5391
6845,59	876	13691,18	4036,698	-13082,57	3057,4	10570	11003,7	326	10151,5	8058,285	7182,39	-1697,066	7380,157	686	4213,271	-11452,42	2018,349	-3819,84268	23451,8379
6885,24	877	13770,47	4056,614	-13159,4	3067,53	10076	10532,5	327	10191,7	6992,372	7175,91	-2287,238	7531,608	687	4160,144	-11566,85	2028,3072	-3668,39156	22582,38319
6925,29	878	13850,57	4077,455	-13236,8	3048,48	9572,7	10046,4	328	10174,4	5908,676	7144,05	-2883,216	7703,917	688	4113,672	-11675,11	2038,7276	-3496,08294	21681,04948
6965,75	879	13931,49	4098,974	-13314,84	3002,99	9067,9	9552,22	329	10104,9	4820,989	7089,25	-3478,455	7896,648	689	4073,547	-11777,9	2049,4868	-3303,35176	20760,97487
7006,61	880	14013,22	4120,932	-13393,59	2934,05	8567,6	9056,11	330	9989,03	3741,708	7014,24	-4067,084	8108,067	690	4039,455	-11875,88	2060,4661	-3091,93336	19834,28686
7047,86	881	14095,72	4143,102	-13473,09	2844,85	8077,4	8563,71	331	9832,79	2681,655	6921,94	-4643,993	8335,46	691	4011,08	-11969,64	2071,5512	-2864,54007	18911,88782
7089,48	882	14178,97	4165,266	-13553,36	2738,61	7601,7	8079,93	332	9642,49	1649,972	6815,3	-5204,892	8575,497	692	3988,101	-12059,76	2082,6328	-2624,50252	18003,30545
7131,45	883	14262,91	4187,213	-13634,43	2618,52	7144,3	7609,01	333	9424,25	654,0844	6697,23	-5746,324	8824,572	693	3970,198	-12146,73	2093,6063	-2375,42782	17116,60948
7173,74	884	14347,49	4208,744	-13716,3	2487,61	6708	7154,42	334	9183,95	-300,2534	6570,5	-6265,65	9079,089	694	3957,049	-12231,05	2104,3722	-2120,91058	16258,39229
7216,32	885	14432,64	4229,672	-13798,95	2348,69	6295	6718,92	335	8927,06	-1208,868	6437,69	-6761	9335,686	695	3948,333	-12313,13	2114,8358	-1864,31437	15433,8073
7259,14	886	14518,29	4249,815	-13882,36	2204,35	5906,7	6304,59	336	8658,51	-2069,026	6301,12	-7231,204	9591,373	696	3943,732	-12393,38	2124,9077	-1608,62661	14646,65637
7302,18	887	14604,36	4269,007	-13966,49	2056,85	5543,6	5912,89	337	8382,71	-2879,258	6162,82	-7675,711	9843,621	697	3942,929	-12472,16	2134,5035	-1356,37911	13899,51493
7345,38	888	14690,76	4287,088	-14051,31	1908,18	5206,1	5544,76	338	8103,45	-3639,174	6024,53	-8094,488	10090,38	698	3945,612	-12549,8	2143,544	-1109,62197	13193,88309
7388,7	889	14777,41	4303,91	-14136,77	1760,03	4893,7	5200,62	339	7823,97	-4349,265	5887,72	-8487,93	10330,06	699	3951,471	-12626,59	2151,955	-869,936329	12530,35044
7432,1	890	14864,2	4319,335	-14222,8	1613,8	4606	4880,57	340	7546,94	-5010,721	5753,57	-8856,764	10561,53	700	3960,201	-12702,81	2159,6677	-638,472892	11908,76368
7475,53	891	14951,05	4333,236	-14309,34	1470,66	4342	4584,34	341	7274,55	-5625,251	5623,03	-9201,963	10784	701	3971,505	-12778,68	2166,6181	-416,004969	11328,38757
7518,93	892	15037,86	4345,495	-14396,31	1331,51	4100,7	4311,45	342	7008,52	-6194,934	5496,81	-9524,673	10997,01	702	3985,089	-12854,41	2172,7476	-202,987319	10788,0523
7562,26	893	15124,52	4356,005	-14483,66	1215,38	3897,7	4082,81	343	6786,77	-6688,219	5393,72	-9809,211	11194,32	703	4000,668	-12930,2	2178,0024	-5,67801617	10335,8178
7605,47	894	15210,93	4364,667	-14571,28	1103,94	3712,9	3873,57	344	6572,55	-7145,408	5295,26	-10075,81	11382,52	704	4017,961	-13006,21	2182,3336	182,5156813	9916,752894
7648,5	895	15297	4371,395	-14659,1	997,486	3545,1	3682,75	345	6366,37	-7568,924	5201,53	-10325,75	11561,88	705	4036,698	-13082,57	2185,6976	361,8760354	9528,96522

Продолжение таблицы Б2

7691,31	896	15382,62	4376,11	-14747,02	896,254	3393	3509,35	346	6168,62	-7961,082	5112,62	-10560,24	11732,75	706	4056,614	-13159,4	2188,0551	532,7535426	9170,652253
7733,85	897	15467,7	4378,744	-14834,97	800,433	3255,4	3352,4	347	5979,61	-8324,083	5028,53	-10780,44	11895,55	707	4077,455	-13236,8	2189,3719	695,5456776	8840,1001
7776,07	898	15552,13	4379,237	-14922,84	710,165	3131,4	3210,93	348	5799,57	-8660,022	4949,27	-10987,43	12050,68	708	4098,974	-13314,84	2189,6183	850,6802055	8535,680568
7817,91	899	15635,83	4377,538	-15010,54	625,55	3019,8	3083,94	349	5628,64	-8970,882	4874,79	-11182,23	12198,6	709	4120,932	-13393,59	2188,7689	998,6021326	8255,846984
7859,35	900	15718,69	4373,606	-15097,97	546,65	2919,7	2970,45	350	5466,91	-9258,54	4805	-11365,81	12339,76	710	4143,102	-13473,09	2186,8031	1139,763553	7999,12918
7900,32	901	15800,64	4367,408	-15185,05	473,496	2830,1	2869,48	351	5314,4	-9524,767	4739,83	-11539,07	12474,62	711	4165,266	-13553,36	2183,7041	1274,615798	7764,128016
7940,79	902	15881,57	4358,919	-15271,68	406,088	2750,2	2780,04	352	5171,09	-9771,235	4679,15	-11702,83	12603,6	712	4187,213	-13634,43	2179,4594	1403,603416	7549,509739
7980,71	903	15961,42	4348,121	-15357,76	344,401	2679,1	2701,17	353	5036,92	-9999,518	4622,83	-11857,91	12727,16	713	4208,744	-13716,3	2174,0605	1527,159609	7354,000471
8020,05	904	16040,09	4335,005	-15443,2	288,386	2616,1	2631,9	354	4911,78	-10211,1	4570,72	-12005,02	12845,7	714	4229,672	-13798,95	2167,5027	1645,702831	7176,381033
8058,76	905	16117,53	4319,569	-15527,91	237,975	2560,3	2571,31	355	4795,52	-10407,36	4522,67	-12144,86	12959,63	715	4249,815	-13882,36	2159,7847	1759,634294	7015,482294
8096,82	906	16193,64	4301,818	-15611,8	193,078	2511,1	2518,5	356	4687,97	-10589,62	4478,49	-12278,06	13069,34	716	4269,007	-13966,49	2150,909	1869,336224	6870,18115
8134,19	907	16268,37	4281,763	-15694,79	153,593	2467,8	2472,62	357	4588,95	-10759,1	4438,02	-12405,21	13175,17	717	4287,088	-14051,31	2140,8813	1975,170678	6739,397209
8170,83	908	16341,65	4259,421	-15776,79	119,4	2429,9	2432,85	358	4498,22	-10916,94	4401,07	-12526,85	13277,48	718	4303,91	-14136,77	2129,7103	2077,478834	6622,090203
8206,72	909	16413,43	4234,816	-15857,71	90,3687	2396,7	2398,45	359	4415,55	-11064,22	4367,44	-12643,51	13376,58	719	4319,335	-14222,8	2117,4079	2176,580638	6517,258111
8241,83	910	16483,65	4207,978	-15937,49	66,3552	2367,8	2368,7	360	4340,69	-11201,95	4336,96	-12755,64	13472,77	720	4333,236	-14309,34	2103,9888	2272,774745	6423,935915
8276,13	911	16552,26	4178,94	-16016,05	47,2075	2342,5	2342,97	361	4273,35	-11331,06	4309,43	-12863,69	13566,34	721	4345,495	-14396,31	2089,47	2366,338678	6341,194916
8309,61	912	16619,22	4147,743	-16093,32	32,7644	2320,5	2320,68	362	4213,27	-11452,42	4284,64	-12968,04	13657,53	722	4356,005	-14483,66	2073,8713	2457,529172	6268,142501
8342,25	913	16684,49	4114,429	-16169,22	22,8576	2301,2	2301,3	363	4160,14	-11566,85	4262,41	-13069,06	13746,58	723	4364,667	-14571,28	2057,2147	2546,582651	6203,922235
8374,02	914	16748,03	4079,048	-16243,71	17,3121	2284,3	2284,36	364	4113,67	-11675,11	4242,53	-13167,1	13833,72	724	4371,395	-14659,1	2039,5241	2633,715817	6147,714176
8404,91	915	16809,82	4041,651	-16316,71	15,9481	2269,4	2269,46	365	4073,55	-11777,9	4224,83	-13262,46	13919,13	725	4376,11	-14747,02	2020,8255	2719,126313	6098,735287
8434,91	916	16869,81	4002,293	-16388,17	18,5811	2256,1	2256,23	366	4039,46	-11875,88	4209,1	-13355,42	14002,99	726	4378,744	-14834,97	2001,1467	2802,993454	6056,239871
8464	917	16928,01	3961,034	-16458,06	25,0232	2244,2	2244,35	367	4011,08	-11969,64	4195,16	-13446,24	14085,48	727	4379,237	-14922,84	1980,5168	2885,478999	6019,519925
8492,19	918	16984,37	3917,933	-16526,3	35,0839	2233,3	2233,55	368	3988,1	-12059,76	4182,82	-13535,15	14166,73	728	4377,538	-15010,54	1958,9667	2966,727954	5987,905372
8519,45	919	17038,91	3873,056	-16592,88	48,5708	2223,1	2223,6	369	3970,2	-12146,73	4171,9	-13622,35	14246,87	729	4373,606	-15097,97	1936,5281	3046,869398	5960,764124
8545,8	920	17091,59	3826,468	-16657,75	65,2901	2213,4	2214,31	370	3957,05	-12231,05	4162,23	-13708,05	14326,02	730	4367,408	-15185,05	1913,2342	3126,017318	5937,501939
8571,21	921	17142,43	3778,238	-16720,88	85,0476	2203,9	2205,51	371	3948,33	-12313,13	4153,63	-13792,4	14404,27	731	4358,919	-15271,68	1889,1189	3204,271447	5917,562087
8595,7	922	17191,41	3728,434	-16782,23	107,649	2194,4	2197,06	372	3943,73	-12393,38	4145,93	-13875,57	14481,72	732	4348,121	-15357,76	1864,2169	3281,718105	5900,424797
8619,27	923	17238,54	3677,127	-16841,79	132,901	2184,8	2188,85	373	3942,93	-12472,16	4138,97	-13957,68	14558,43	733	4335,005	-15443,2	1838,5635	3358,431029	5885,606525
8641,92	924	17283,83	3624,389	-16899,55	160,612	2174,9	2180,79	374	3945,61	-12549,8	4132,59	-14038,86	14634,47	734	4319,569	-15527,91	1812,1944	3434,472196	5872,659045

Продолжение таблицы Б2

8663,65	925	17327,29	3570,292	-16955,47	190,589	2164,4	2172,81	375	3951,47	-12626,59	4126,64	-14119,2	14709,89	735	4301,818	-15611,8	1785,1459	3509,892625	5861,168386
8684,46	926	17368,93	3514,909	-17009,56	222,646	2153,4	2164,86	376	3960,2	-12702,81	4120,98	-14198,8	14784,73	736	4281,763	-15694,79	1757,4543	3584,73317	5850,753651
8704,38	927	17408,76	3458,312	-17061,8	256,597	2141,6	2156,88	377	3971,51	-12778,68	4115,46	-14277,73	14859,03	737	4259,421	-15776,79	1729,1559	3659,02529	5841,065733
8723,41	928	17446,82	3400,574	-17112,2	292,258	2128,9	2148,86	378	3985,09	-12854,41	4109,95	-14356,06	14932,79	738	4234,816	-15857,71	1700,2871	3732,791795	5831,78595
8741,56	929	17483,11	3341,768	-17160,76	329,45	2115,3	2140,78	379	4000,67	-12930,2	4104,32	-14433,85	15006,05	739	4207,978	-15937,49	1670,8841	3806,047575	5822,624636
8758,83	930	17517,67	3281,966	-17207,48	367,998	2100,6	2132,63	380	4017,96	-13006,21	4098,45	-14511,13	15078,8	740	4178,94	-16016,05	1640,9828	3878,800298	5813,319689
8775,26	931	17550,52	3221,237	-17252,37	407,73	2084,9	2124,4	381	4036,7	-13082,57	4092,22	-14587,94	15151,05	741	4147,743	-16093,32	1610,6187	3951,051087	5803,635114
8896,44	932	17792,87	2577,753	-17605,16	739,431	2222,9	2342,64	382	4056,61	-13159,4	4085,52	-14664,31	15222,8	742	4114,429	-16169,22	1288,8763	4022,795168	6018,378568
8773,35	933	17546,7	1769,662	-17457,23	1153,9	2110,2	2405,1	383	4077,46	-13236,8	4078,25	-14740,25	15294,02	743	4079,048	-16243,71	884,83115	4094,022496	5868,36509
8591,02	934	17182,04	1058,327	-17149,42	1520,32	1917,3	2446,91	384	4098,97	-13314,84	4070,31	-14815,77	15364,72	744	4041,651	-16316,71	529,1634	4164,718345	5612,982936
8376,36	935	16752,73	467,8138	-16746,19	1826,56	1676,3	2479,18	385	4120,93	-13393,59	4061,61	-14890,88	15434,86	745	4002,293	-16388,17	233,90689	4234,863876	5312,442964
8378,64	936	16757,29	1,39E-12	-16757,29	2071,55	1642,1	2643,45	386	4143,1	-13473,09	4052,07	-14965,57	15504,44	746	3961,034	-16458,06	6,943E-13	4304,436682	5286,898495
8376,36	937	16752,73	-467,814	-16746,19	2316,54	1596,4	2813,34	387	4165,27	-13553,36	4041,6	-15039,83	15573,41	747	3917,933	-16526,3	-233,9069	4373,411289	5248,199352
8364,19	938	16728,38	-944,691	-16701,68	2565,95	1533,6	2989,33	388	4187,21	-13634,43	4030,13	-15113,66	15641,76	748	3873,056	-16592,88	-472,3457	4441,75965	5190,44753
8327,18	939	16654,36	-1428,12	-16593,02	2818,43	1438,4	3164,24	389	4208,74	-13716,3	4017,61	-15187,02	15709,45	749	3826,468	-16657,75	-714,0577	4509,451591	5097,946313
8243,96	940	16487,92	-1894,31	-16378,74	3061,99	1289,9	3322,59	390	4229,67	-13798,95	4003,95	-15259,91	15776,46	750	3778,238	-16720,88	-947,1528	4576,45525	4954,33684
8092,03	941	16184,06	-2292,8	-16020,82	3271,31	1069,2	3441,61	391	4249,82	-13882,36	3989,12	-15332,29	15842,74	751	3728,434	-16782,23	-1146,399	4642,737468	4757,517534
7855,43	942	15710,85	-2548,19	-15502,82	3408,6	768,17	3494,08	392	4269,01	-13966,49	3973,07	-15404,14	15908,26	752	3677,127	-16841,79	-1274,094	4708,264174	4537,041013
7534,65	943	15069,31	-2571,78	-14848,23	3429,43	398,46	3452,5	393	4287,09	-14051,31	3955,74	-15475,43	15973	753	3624,389	-16899,55	-1285,889	4773,000728	4360,528629
7158,15	944	14316,29	-2284	-14132,92	3293,96	-1,9209	3293,96	394	4303,91	-14136,77	3937,1	-15546,12	16036,91	754	3570,292	-16955,47	-1142,001	4836,912248	4303,911746
6792,03	945	13584,06	-1644,44	-13484,16	2981,89	-369,32	3004,67	395	4319,34	-14222,8	3917,12	-15616,18	16099,96	755	3514,909	-17009,56	-822,2221	4899,963912	4382,035742
6539,19	946	13078,37	-681,037	-13060,63	2507,14	-624,35	2583,71	396	4333,24	-14309,34	3895,77	-15685,57	16162,12	756	3458,312	-17061,8	-340,5185	4962,121229	4509,568308
6511,67	947	13023,34	493,6515	-13013,98	1925,92	-691,17	2046,19	397	4345,5	-14396,31	3873,03	-15754,26	16223,35	757	3400,574	-17112,2	246,82573	5023,350297	4560,062821
6773,48	948	13546,97	1689,81	-13441,16	1333,1	-521,25	1431,38	398	4356	-14483,66	3848,89	-15822,21	16283,62	758	3341,768	-17160,76	844,90515	5083,618032	4479,014169
7295,25	949	14590,5	2675,018	-14343,18	844,825	-114,05	852,488	399	4364,67	-14571,28	3823,32	-15889,38	16342,89	759	3281,966	-17207,48	1337,5088	5142,892377	4370,623366
7968,57	950	15937,14	3229,183	-15606,56	571,106	473,73	742,012	400	4371,4	-14659,1	3796,32	-15955,73	16401,14	760	3221,237	-17252,37	1614,5916	5201,142492	4472,893575
8658	951	17315,99	3204,128	-17016,97	585,991	1135	1277,32	401	4376,11	-14747,02	3476,93	-16176,09	16545,54	761	2577,753	-17605,16	1602,0639	5345,54153	4929,80573
9241,61	952	18483,22	2569,172	-18303,79	904,786	1734,4	1956,23	402	4378,74	-14834,97	3074,2	-16146,1	16436,16	762	1769,662	-17457,23	1284,5861	5236,156632	5586,246372
9628,48	953	19256,97	1427,911	-19203,96	1475,66	2140,6	2599,92	403	4379,24	-14922,84	2718,78	-16036,13	16264,97	763	1058,327	-17149,42	713,95551	5064,966759	6124,1886

ПРИЛОЖЕНИЕ В

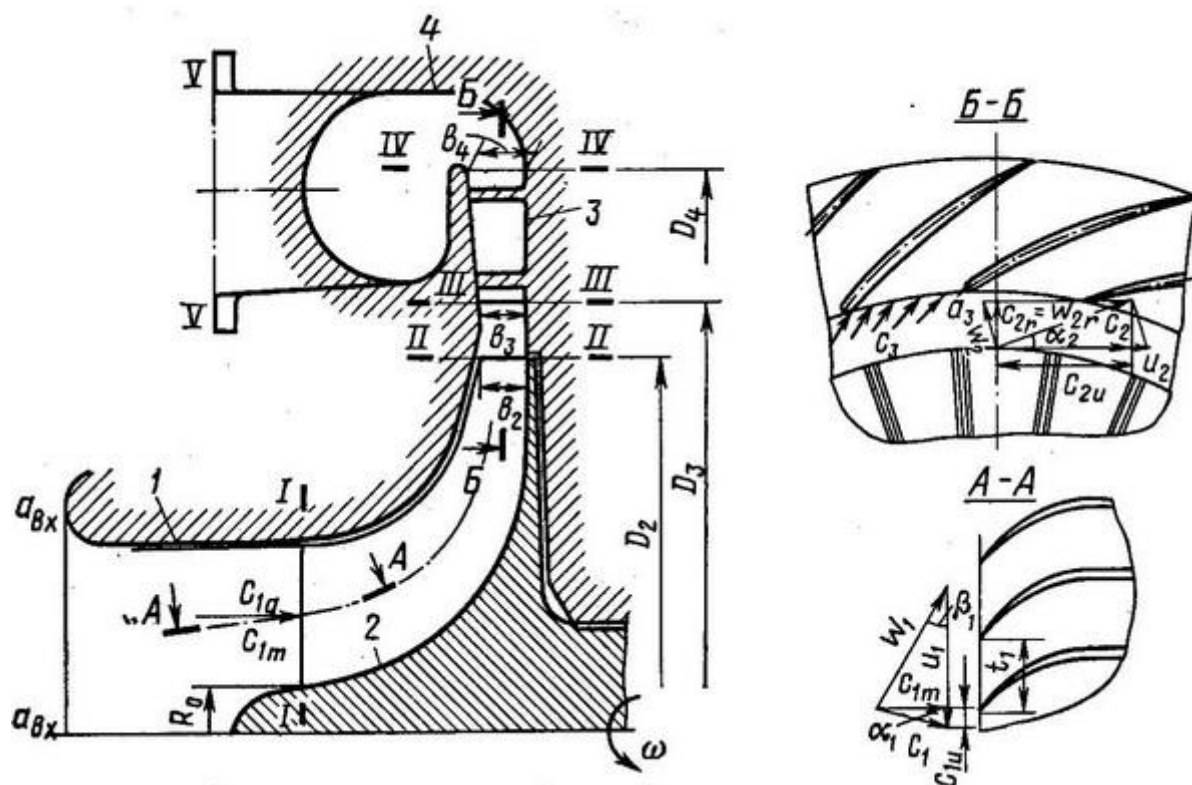


Рисунок В.1 – Расчетная схема входного устройства

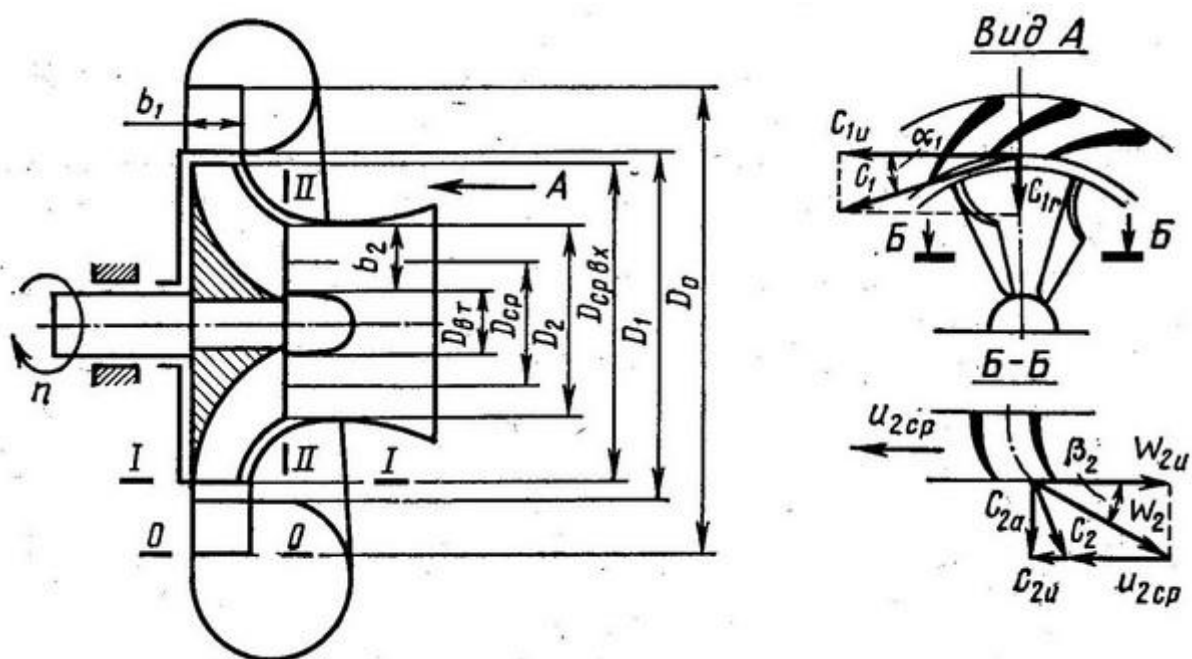


Рисунок В.2 – Расчетная схема направляющего аппарата и колеса турбины.

Таблица В.1 – Конструктивные параметры рабочего колеса турбины.

Параметры	Значение, м
Внутренний диаметр при $D_2/D_1 = 0,7$	$D_2 = 0,7 \cdot 0,05 = 0,035$
Втулочный диаметр при $D_{ВТ}/D_1 = 0,2$	$D_{ВТ} = 0,2 \cdot 0,05 = 0,01$
Среднеквадратичный диаметр колеса на выходе	$D_{2cp} = \sqrt{\frac{D_2^2 + D_{ВТ}^2}{2}} = \sqrt{\frac{0,035^2 + 0,01^2}{2}} = 0,0258$
Ширина лопаток колеса на входе	$b_1 = b'_1 = 0,016$
Ширина колеса при $B/D_1 = 0,3$	$B = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015$

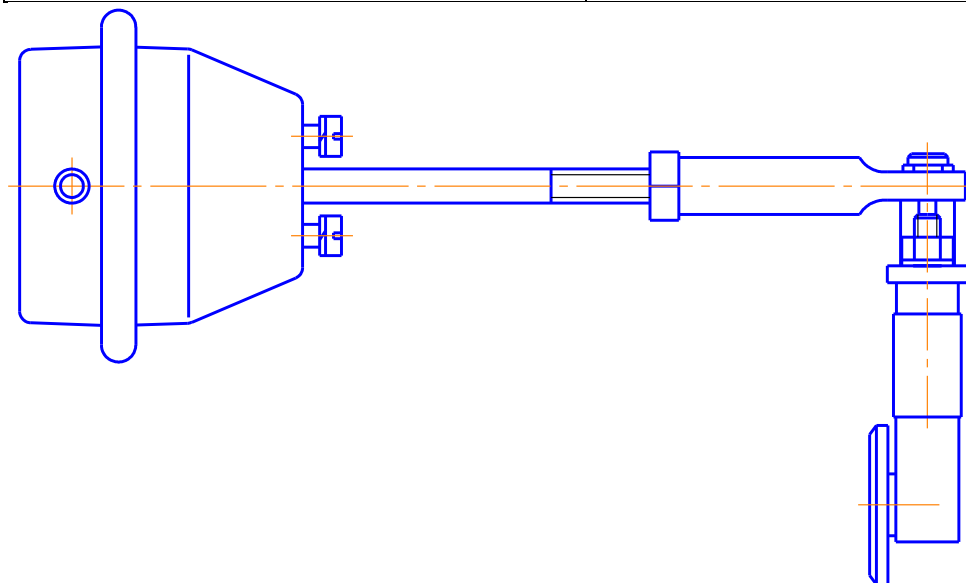


Рисунок В.3 –Клапан перепуска отработавших газов