

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

Институт машиностроения

(институт, факультет)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Адаптация роторно-поршневого двигателя для нужд малой
авиации

Студент

А.А. Шатохин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

С.А. Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Целью бакалаврской работы является оценка возможностей адаптации роторно-поршневого двигателя для нужд малой авиации.

В бакалаврской работе представлены результаты адаптации роторно-поршневого двигателя для нужд малой авиации. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обзор источников по проблеме создания роторно-поршневого двигателя для нужд малой авиации.
- Тепловой расчет и тепловой баланс роторно-поршневого двигателя.
- Кинематический расчет.
- Динамический расчет.
- В разделе специальной части, проведен анализ существующих проблема повышения эффективности процесса сгорания в роторно-поршневом двигателе.
- Проведена оценка безопасности и экологичности роторно-поршневого двигателя.

Графическая часть работы содержит 7 листов формата А1 иллюстрирующих материал представленный в пояснительной записке.

ABSTRACT

The aim of the bachelor's work is to assess the possibilities of adapting the rotary piston engine for the needs of small aircraft.

The bachelor's work presents the results of adapting the rotor-piston engine for the needs of small aircraft. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- A review of sources on the problem of creating a rotary piston engine for the needs of small aircraft.
- Thermal calculation and heat balance of rotary-piston engine.
- Kinematic calculation.
- Dynamic calculation.
- In the section of the special section, an analysis is made of the existing problem of increasing the efficiency of the combustion process in a rotary piston engine.
- The safety and ecological compatibility of the rotary piston engine was evaluated.

The graphic part of the work contains 7 sheets of A1 format illustrating the material presented in the explanatory note.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Обзор источников по проблеме создания роторно-поршневого двигателя для нужд малой авиации	6
1.1 Перспективы развития и номенклатура авиационных поршневых двигателей	6
1.2 Перспективные технологии в двигателях малой авиации.....	9
2 Тепловой расчет роторно-поршневого двигателя	13
3 Кинематический расчет	29
4 Специальная часть	30
4.1 Анализ роторно-поршневого двигателя	30
4.2 Проблема повышения эффективности процесса сгорания в роторно-поршневом двигателе.....	31
5 Безопасность и экологичность бакалаврской работы	33
5.1 Оценка безопасности и экологичности роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации	33
5.1.1 Оценка взрыво-пожаробезопасности роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации	33
5.1.2 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов, роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации	35
5.1.3 Оценка экологичности, по шуму, роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации	35
5.2 Выводы об безопасности и экологичности роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации	37
Заключение	38
Список используемых источников.....	39
Приложение А	41

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции в малой авиации направлены на создания надежных высокооборотных двигателей на легком топливе. При этом различают два основных потребителя для двигателей, это беспилотные летательные аппараты и легкие многоцелевые самолеты. В первом случае требуются компактные двигатели с небольшими массогабаритными показателями и мощностью до 100 кВт, а во втором это уже средние двигатели с мощностями до 500 кВт. Причем оба сегмента рынка активно развиваются и требуют значительного количества свежих технических решений для обеспечения своих нужд.

Целью проводимой научно-исследовательской работы состоит в определении основного типоразмера наиболее востребованных двигателей и определится с основными компоновочными решениями к нему.

1 Обзор источников по проблеме создания роторно-поршневого двигателя для нужд малой авиации

1.1 Перспективы развития и номенклатура авиационных поршневых двигателей

Как уже отмечалось основными потребителями авиационных двигателей являются сверхлегкие летательные аппараты, представляющие класс беспилотных летательных аппаратов примерный список которых представлен в таблице 1.1, и легкие летательные аппараты примерный список которых представлен в таблице 1.2. При этом если посмотреть, то в настоящее время активно используются двигатели с классической кривошипно-шатунной системой или роторно-поршневые двигатели, причем в большей части двигатели имеют водяное охлаждение, хотя имеются и модели с воздушным или комбинированным охлаждением. [1-3]

Таблица 1.1 - Беспилотные летательные аппараты с поршневыми двигателями

БЛА «Типчак»	БЛА Пчела»	Беспилотный вертолет Ка-137	БЛА «Орион»	БЛА типа «Предэйтор»
				
KF (Германия) Мощность: 15 л.с.	П-032 (Россия) Мощность 32 л.с.	HIRTH (Германия) Мощность: 65 л.с.	Rotax-912 (Австрия) мощность 100 л.с.	Мощность 300 л.с.

Таблица 1.2 - Пилотируемые летательные аппараты малой авиации

Летательные аппараты малой авиации	Описание	Двигатели	Состояние Российского двигателя
И-1Л Легкий многоцелевой самолет		Lycoming O-320-E2A. (США) Мощность 150 л.с.	Российский аналог РПД 416 Опытный образец
Л-6 Многоцелевой самолет-амфибия		РПД 416 (Россия) Мощность 2 дв.х165л.с	Опытный образец
Ил-103 Легкий многоцелевой самолет		Teledyne Continental Motors IO-360ES(США) Мощность 210 л.с.	Нет двигателя
Су-38л Сельскохозяйственный самолет		М-337С (Чехия) Мощность 250л.с	Нет двигателя
Актай Многоцелевой вертолет		РПД-426 (Россия) Мощность 270л.с	Макет двигателя
Су-26 Учебно-тренировочный и спортивный самолет		М-9Ф (Россия) Мощность 420 л.с	Серийный
<i>Як-18Т</i>		Силовая установка: 1 × АПД М-14П Взлетная мощность: 360 л.с.	Серийный

При этом анализ основных востребованных номенклатур приведен на рисунках 1.1 и 1.2, где показано что наиболее востребованными двигателями для беспилотной малой авиации являются двигатели с мощностью от 80 до 90 л.с., а для пилотируемой малой авиации это двигатели с мощностью в 250 - 300 л.с., что четко ограничивает наиболее перспективный рынок в сегменте двигателей для малой авиации [4].

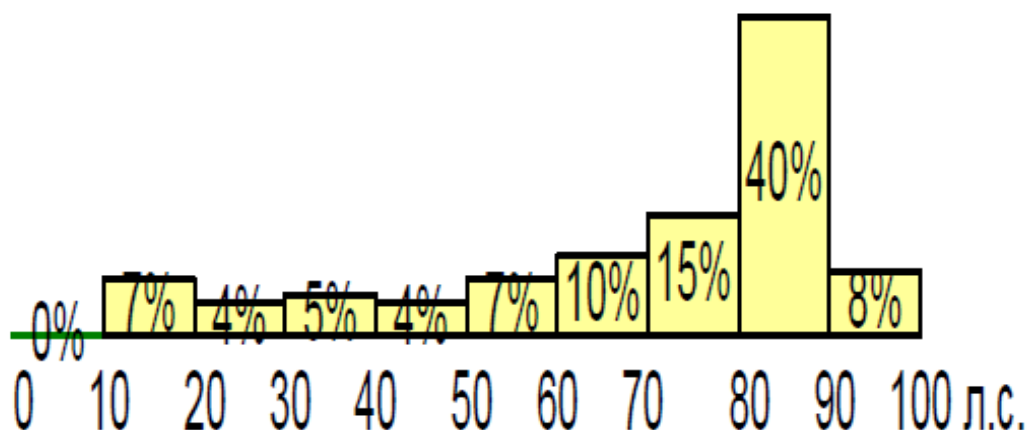


Рисунок 1.1 - Номенклатура авиационных поршневых двигателей мощностью от 5 л.с. до 100 л.с. для сверхлегких летательных аппаратов, представлены двухтактные, четырехтактные и роторно-поршневые двигатели

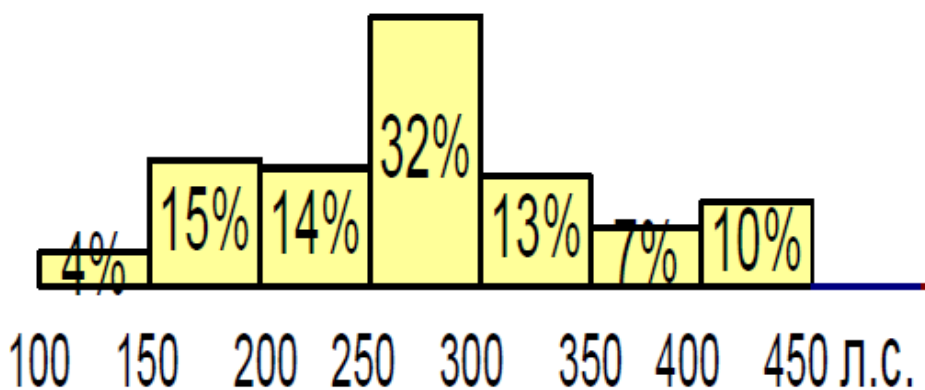


Рисунок 1.2 - Номенклатура авиационных поршневых двигателей мощностью от 100 л.с. до 450 л.с. для легких летательных аппаратов, здесь представлены четырехтактные поршневые и роторно-поршневые бензиновые и дизельные двигатели

1.2 Перспективные технологии в двигателях малой авиации

Перечислим основные перспективные технологии которые будут активно применяться в самое ближайшее время двигателях малой авиации и позволят значительно повысить их эффективность и востребованность [5]:

- Интерметаллиды на основе титана в горячей части клапанной группы или шатунного механизма, рисунок 1.3а;
- Поршневая группа на основе жидкоштампованного поршня и стальных поршневых колец, рисунок 1.3б;
- Непосредственный впрыск топлива
- Микропроцессорная система управления рабочим процессом, рисунок 1.3в;
- Регулируемый наддув, рисунок 1.3г;
- Многотопливность.

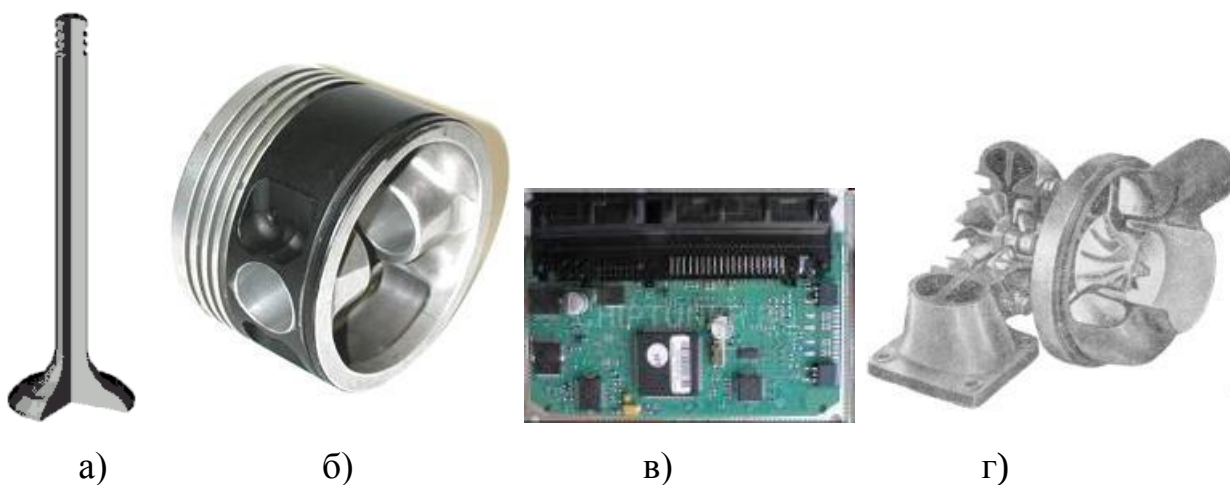


Рисунок 1.3 - Перспективные технологии в двигателях малой авиации

Более подробно эти технологии приведены в таблице 1.3 и их перспективность в таблице 1.4.

Таблица 1.3 - Преимущества интерметаллидов в ДВС

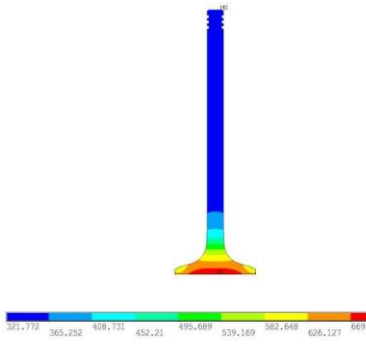
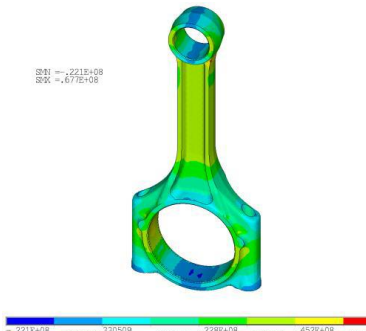
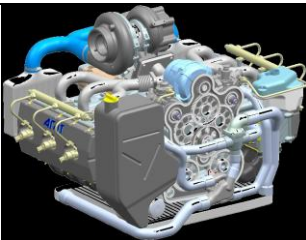
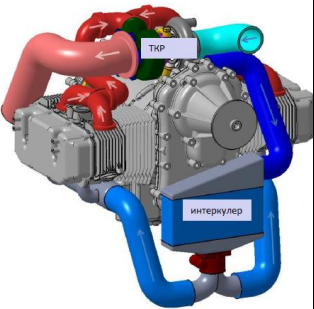
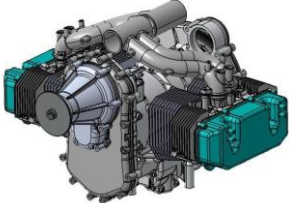
Преимущества интерметаллидных клапанов 	снижение массы на 45% (в сравнении со стальными); уменьшение усилия на коромысло и рокер на 20-30%; снижение усилия на стержень ориентировочно на 35%; снижение потери мощности на трение в головке цилиндра на 35-40%; снижение потребных моментов вращения распределительных валов двигателя на 30%; снижение уровня корпусного шума; повышение вибрационных характеристик двигателя	Поле температур впускного клапана (композиционный сплав на основе титана) 
Преимущества интерметаллидных шатунов 	снижение массы на 43.5% (в сравнении с традиционным материалом) снижение нагрузки на подшипники коленчатого вала	Распределение растягивающих напряжений в теле шатуна (композиционный сплав на основе титана) 

Таблица 1.4 - Основные требования предъявляемые для двигателей летательных аппаратов малой авиации [6]

Основные требования предъявляемые для двигателей летательных аппаратов малой авиации		Ожидаемый эффект после внедрения	
 	Применение перспективных технологий изготовления основных деталей АПД, в том числе из интерметаллидов и композитных материалов	Снизить вес силовой установки на 15-20%	После сборки двигателя-демонстратора с новыми перспективными узлами и агрегатами: поршневой группой, состоящей из изотермического поршня и стальных поршневых колец; интерметаллидных впускных и выпускных клапанов; титановых шатунов, были проведены экспериментальные исследования на тормозном стенде У-336 ЦИАМ.
	Разработка новых алгоритмов управления рабочим процессом двигателей (стратификация заряда, гомогенное сгорание ТВС) и отработка технологий системы управления с высокими энергиями зажигания и электронной многопараметрической системой управления рабочим процессом.	Снизить удельный расход топлива на основных режимах на 20-30%	Технические характеристики по мощности, крутящему моменту, частоте вращения коленвала двигателя-демонстратора в целом соответствуют характеристикам базового двигателя японской фирмы «HKS», при этом конструкция

			поршня с уменьшенной высотой на 10 мм и весом на 20 г с новой комплектацией поршневых колец, позволили снизить потери на трение и повысить экономичность двигателя на 3% (4,5 г/л.с. ч).
	Отработка перспективных систем наддува и системы снабжения двигателя воздухом, включая его охлаждение после компрессора.	Повысить назначенный ресурс авиационных двигателей до 5000 часов	использование впрыскивания топлива во впускную систему (или непосредственной подачи топлива в цилиндр) в двигателях с воспламенением от электрической искры, разные моменты включения свечей зажигания, закрутку потока на впуске; в двигателях с принудительным воспламенением также рассмотрено влияние формы камеры сгорания на его показатели.
	Использование альтернативных видов синтетических топлив на основе углеводородных фракций пропан-бутанового ряда.	Снизить эксплуатационные расходы на 30-40%	

2 Тепловой расчет роторно-поршневого двигателя

Расчет производится на следующих скоростных режимах: $n_{\min}=1000$ мин⁻¹; $n = 200, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000$ мин⁻¹; $n_M=7500$ мин⁻¹; $n_N=8000$ мин⁻¹; $n_{\max}=9000$ мин⁻¹.

В качестве топлива используется бензин марки АИ-98.

Средний элементарный состав и молекулярная масса топлива:

$C=0,855$; $H=0,145$; $m_T=115$ кг/моль.

Низшая теплота сгорания:

$$\begin{aligned} H_u &= 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9 \cdot H + W) = \\ &= 33,91 \cdot 0,855 + 125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43929,5 \text{ кДж/кг} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Параметры рабочего тела

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \times \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,516 \text{ кмоль в./кг топ.} \quad (2.2)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \times \left(\frac{8}{3} \times C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \times \left(\frac{8}{3} \times 0,855 + 8 \times 0,145 \right) = 14,957 \text{ кг в./кг т.} \quad (2.3)$$

Коэффициент избытка воздуха принимаем для всех режимов равным 1.

Количество горючей смеси:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + 1/m_m; \quad (2.4)$$

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \frac{1-\alpha}{1+K} \bullet 0,208 L_0 ; \quad (2.5)$$

$$M_{CO} = 2 \frac{1-\alpha}{1+K} \bullet 0,208 L_0 ; \quad (2.6)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \frac{1-\alpha}{1+K} \bullet 0,208 L_0 ; \quad (2.7)$$

$$M_{H_2} = 2K \frac{1-\alpha}{1+K} \bullet 0,208 L_0 ; \quad (2.8)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0. \quad (2.9)$$

Таблица 2.1 - Количество отдельных компонентов продуктов сгорания для принятых частот вращения

Количество горючей смеси, Кмоль г.см./кг т.	M_{CO_2} , Кмоль CO ₂ /кг т.	M_{H_2O} , Кмоль H ₂ O/кг т.	M_{N_2} , Кмоль N ₂ /кг т.
0.525	0.071	0.072	0.409

Общее количество продуктов сгорания:

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = \\ &= C/12 + H/2 + 0,792 \alpha L_0 = 0,553 \text{ Кмоль /кг т.}; \end{aligned} \quad (2.10)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (2.11)$$

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (2.12)$$

Таблица 2.3 - Коэффициенты молекулярного изменения смеси

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
1.064	1.08084	1.05243	1.05243	1.00963	Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси
1.0612	1.07812	1.05073	1.05061	1.00925	Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
1.064	1.08084	1.05243	1.05243	1.00963	Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси
1.0612	1.07812	1.05073	1.05061	1.00925	Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

Давление и температура окружающей среды при работе двигателя без наддува: $p_k = p_0 = 0,1$ МПа и $T_k = T_0 = 293$ К.

Давление и температура окружающей среды при работе двигателя с наддувом: $p_k = p_0 = 0,16$ МПа и $T_k = T_0 = 346,263$ К.

Давление остаточных газов p_r на номинальном скоростном режиме:

$$P_{rN} = 1.18 \cdot P_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118 \text{ МПа.} \quad (2.13)$$

Отсюда получим:

$$\begin{aligned} A_p &= p_{rN} - p_0 \cdot 1,035 \cdot 10^8 / \epsilon_N^2 p_0 = 0,118 - 0,1 \cdot 1,035 \cdot 10^8 / 600^2 \cdot 0,1 = 0,4624; \\ p_r &= p_0 (1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2) = 1,035 + 0,4624 \cdot 10^{-9} n^2. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Таблица 2.4 - Температура и давление остаточных газов

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
980	1080	1140	1170	1200	T_r , К
0.1003	0.1038	0.1088	0.118	0.1243	p_r , МПа
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
980	1080	1140	1170	1200	Tr , К
0.1003	0.1038	0.1088	0.118	0.1243	pr , МПа

Температура подогрева свежего заряда, для роторно-поршневого двигателя.

Таблица 2.5 - Температура подогрева свежего заряда

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
20	15	10	7	5	ΔT , °С
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
6	4	3	2	1	ΔT , °С

Плотность заряда на впуске

$$\rho_0 = p_0 \cdot 10^6 / (R_B T_0) = 0,16 \cdot 10^6 / (87 \cdot 293) = 1,589 \text{ кг / м}^3 \quad (2.15)$$

Потери давления на впуске: $\beta^2 + \xi_{en} = 2,8$

Таблица 2.6 - Средняя скорость заряда в наименьшем сечении впускной системы:

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
65	80	95	110	130	ω_{en} , м/с
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
120	145	160	170	180	ω_{en} , м/с

Тогда:

$$A_n = \omega_{en} / n_N \quad (2.16)$$

Отсюда получим:

$$\Delta p_a = 2,8 A_n^2 n^2 \rho_0 \cdot 10^{-6} / 2 \quad (2.17)$$

Таблица 2.7 - Потери давления на впуске

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
0.01273	0.0145	0.01807	0.02385	0.02664	A_n
0.007	0.004	0.011	0.0216	0.0318	Δp_a , МПа
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
0.01273	0.0145	0.01807	0.02385	0.02664	A_n
0.0301	0.04	0.042	0.046	0.05	Δp_a , МПа

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a, \quad (2.18)$$

Таблица 2.8 - Давление в конце впуска

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
0,093	0,096	0,089	0,0784	0,0682	p_a , МПа
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
0,0699	0,06	0,058	0,054	0,05	p_a , МПа

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \frac{\varphi_{oc} p_r}{\varepsilon \varphi_{oos} p_a - \varphi_{oc} p_r} \quad (2.19)$$

Таблица 2.9 - Коэффициент остаточных газов

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
0,92	1	1.09	1.15	1.22	φ_{oos}
0.0483	0.0314	0.0296	0.0339	0.0391	γ_r
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
0,92	1	1.09	1.15	1.22	φ_{oos}
0.0483	0.0314	0.0296	0.0339	0.0391	γ_r

Температура в конце впуска:

$$T_a = T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r \quad (2.20)$$

Таблица 2.10 - Температура в конце впуска

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
336.91	331.38	327.16	327.59	330.88	T_a , К
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
336.91	331.38	327.16	327.59	330.88	T_a , К

Коэффициент наполнения:

$$\eta_V = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{1}{p_0} (\varphi_{oos} p_a - \varphi_{och} p_r) \quad (2.21)$$

Таблица 2.11 - Коэффициент наполнения

1000	2000	3000	4000	5000	Частота вращения, мин ⁻¹
0.893	0.936	0.966	0.916	0.818	η_V
6000	7000	7500	8000	9000	Частота вращения, мин-1
0.893	0.936	0.966	0.916	0.818	η_V

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \cdot T_a / (\mu_g \cdot p_a) \quad (2.22)$$

где $\mu_v = 28,9$ молярная масса воздуха.

Таблица 2.12 - Удельный объем рабочего тела в конце процесса
наполнения:

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращени я, мин ⁻¹
0.89313	0.95511	0.99016	1.12969	1.3354	V_a , м ³ /кг

Параметры сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Значение показателя политропы сжатия

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (2.23)$$

Таблица 2.13 - Показатель политропы сжатия

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращени я, мин ⁻¹
1.369	1.372	1.39468	1.38	1.37784	n_1

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} \quad \text{МПа.} \quad (2.24)$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad \text{К.} \quad (2.25)$$

Удельный объём, давление и температура рабочего тела в момент
воспламенения, если угол опережения воспламенения Θ и λ

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{\lambda} \right\} - \left\langle \cos \Theta \right\rangle + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2} \left\langle \sin \Theta \right\rangle \right] \right]; \quad (2.26)$$

$$P_y = P_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1}; \text{ МПа}; \quad (2.27)$$

$$T_y = T_a \left(\frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1-1}; \text{ К}; \quad (2.28)$$

Таблица 2.14 - Давление, температура и удельный объём в конце сжатия и воспламенения:

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращения, мин ⁻¹
2.36812	2.51336	2.43652	2.13872	1.81675	P_c , МПа
772.284	794.704	798.888	800.545	804.477	T_c , К
10	16	20	25	28	Θ °ПКВ
0.10316	0.11252	0.12904	0.16904	0.21785	V_y , м ³ /кг
1.98312	1.87733	1.5812	1.14785	0.86741	P_y , МПа
762,953	734.258	709.265	674.472	656.853	T_y , К

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ .

$$\xi = \delta * \Psi; \quad (2.29)$$

где Ψ – коэффициент использования теплоты; δ – коэффициент выделения теплоты: при $\alpha > 1$; $\delta =$; при $\alpha < 1$; $\delta = \frac{H_U - 119950 (-\alpha \underline{I}_o)}{H_U}$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi * H_u}{(+\gamma_r)(\alpha * l_0 + 1)}; \text{ кДж/кг.} \quad (2.30)$$

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi_{\phi'_1} - \psi_{\phi'_2})}{K_{1-2} \psi_{\phi'_1} - \psi_{\phi'_2}}, \quad (2.31)$$

где

$$\psi_{\phi'} = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \phi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi'} \right) \right]; \quad (2.32)$$

$$E_2 = \left(0.002 \frac{\varepsilon}{V_a} \right) q_z; \text{ МПа}. \quad (2.33)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$\Delta X_{1-2} = \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (2.34)$$

Фактор теплоёмкостей

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

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[76.7 - \left(13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (2.36)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2

$$x_{1-2} = \frac{1}{2} \left[\exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right], \quad (2.37)$$

Температуру T_2 газов в процессе сгорания по следующей зависимости:

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi_{\phi'_2}}{P_y \psi_{\phi'_2} \mu_{1-2}}, \quad (2.38)$$

где $\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$ - средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

$$\psi_{\phi'} = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma \quad (2.39)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) - \left[\cos(\phi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\phi'))^2}\right] \quad (2.40)$$

$$\mu_1 = 1 + \frac{\mu_{0\max} - 1 \left[1 - \exp\left[-6.908 \left(\frac{\phi_1}{\phi_z}\right)^{m+1}\right]\right]}{1 + \gamma_r}, \quad (2.41)$$

Доля выгоревшего топлива χ :

$$\chi = 1 - \exp\left[-6.908 \left(\frac{\phi}{\phi_z}\right)^{m+1}\right]. \quad (2.42)$$

Относительная скорость сгорания топлива:

$$w_0 = 6.908(m+1) \left(\frac{\phi}{\phi_z}\right)^m \cdot \exp\left[-6.908 \left(\frac{\phi}{\phi_z}\right)^{m+1}\right] \quad (2.43)$$

Таблица 2.15 - Коэффициенты термодинамического расчета:

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращения, мин ⁻¹
1	1	1	1	1	δ
0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	ψ
0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	ξ
2312,4	2389,8	2449,6	2467,8	2087,8	q_z , кДж/кг
55.672	53.1052	52.7287	46.4875	33.2799	E_2 , МПа
0.1198	0.1268	0,1401	0,1508	0,1071	w_p , МПа/град.

Степень последующего расширения при V_z

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

Средний показатель политропы расширения:

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

Параметры в конце процесса расширения

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

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

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры газов в конце процесса расширения

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

где φ_{PT} - текущее значение поворота коленчатого вала

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

$$T_{PT} = T_b \left(\frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2 - 1}; \quad (2.50)$$

Температура отработавших газов,

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

погрешность расчёта Δ :

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

Теоретическая индикаторная работа цикла определяют по методу трапеций;

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Таблица 2.16 - Расчет процесса расширения:

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращения, мин ⁻¹
0,1653	0,1735	0,1796	0,1821	0,2092	V _z
3011,17	2611,83	2845,17	2852,37	2661,40	T _z , К
9,126	5,626	5,622	6,279	6,454	δ
1,187	1,186	1,18	1,18	1,187	n ₂
0,6237	0,6017	0,6785	0,5418	0,4038	P _b , МПа
1769,33	1894,12	2084,98	2048,94	1877,61	T _b , К
1003,94	1054,44	1132,76	1197,79	1217,77	T _r , К
1,42	2,42	0,24	3,53	4,82	Δ, %

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Таблица 2.17 - Индикаторные показатели:

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращения, мин ⁻¹
1.176	1.076	1.3326	1.2163	1.2033	L _i , кДж
1.3457	1.2457	1.4876	1.39	1.2396	P _i , Мпа
0.388	0.346	0.434	0.378	0.391	η _i
0,273	0,243	0,252	0,241	0,238	g _i , г/кВт*ч

Давление механических потерь при $S/D = 71/82 = 0.865$, если средняя скорость поршня: $v_n = \frac{Sn}{30}$, м/с

Среднее давление механических потерь

$$P_M = 0.034 + 0.0113v \quad , \text{ МПа} . \quad (2.57)$$

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа} . \quad (2.58)$$

Механический К.П.Д.

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}} . \quad (2.59)$$

Эффективный К.П.Д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M . \quad (2.60)$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} . \quad (2.61)$$

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_{\pi} \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт} . \quad (2.62)$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч} . \quad (2.63)$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.64)$$

Таблица 2.18 - Эффективные показатели:

1000	2000	4000	6000	9000	Частота вращения, мин ⁻¹
1,612	2,012	8,047	13,253	15,857	v _{п.ср.} , м/с
0,037	0,057	0,125	0,184	0,213	p _м , МПа
1,1987	1,1887	1,3626	1,206	1,178	p _е , Мпа
0,964	0,954	0,929	0,845	0,786	η _м
0,312	0,330	0,403	0,319	0,307	η _е
0,284	0,254	0,255	0,245	0,248	g _е , г/кВт*ч
12,6	21,6	47,22	76,16	70,8	N _е , кВт
106,37	136,37	139,61	127,47	117,26	M _е , Н*м
4,23	7,23	16,95	25,98	22,98	G _т , кг/ч

3 Кинематический расчет

Премещение поршня

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

Скорость поршня

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

Ускорении поршня

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

4 Специальная часть

4.1 Анализ роторно-поршневого двигателя

Главный недостаток роторно-поршневого двигателя - невысокая эффективность уплотнений зазора между ротором и камерой сгорания. Имеющий сложную форму ротор РПД требует надежных уплотнений не только по граням (а их четыре у каждой поверхности - две по вершинным, две по боковым граням), но и по боковой поверхности, соприкасающейся с крышками двигателя. При этом уплотнения выполнены в виде подпружиненных полосок из высоколегированной стали с особо точной обработкой как рабочих поверхностей, так и торцов. Заложенные в конструкцию уплотнений допуски на расширение металла от нагрева ухудшают их характеристики - избежать прорыва газов у торцевых участков уплотнительных пластин практически невозможно (в поршневых двигателях используют лабиринтовый эффект, устанавливая уплотнительные кольца зазорами в разные стороны) [9].

В последние годы надежность уплотнений резко возросла. Конструкторы нашли новые материалы для уплотнений. Однако, говорить о каком-то прорыве пока не приходится. Уплотнения до сих пор остаются самым узким местом РПД [10].

Роторно-поршневые двигатели получили распространение среди авиамоделлистов. Поскольку в модельном двигателе требования к надежности и экономичности снижены до предела, производство этих моторов оказывается недорогим. В этих двигателях уплотнений ротора либо нет вообще, либо эти уплотнения имеют простейшую конструкцию. Главное достоинство авиамодельного РПД в том, что его можно легко встроить в летающую масштабную модель. В частности, модельные РПД применяются при создании копий реактивных самолетов [11].

4.2 Проблема повышения эффективности процесса сгорания в роторно-поршневом двигателе

Сила давления газов от сгоревшей топливо-воздушной смеси приводит в движение ротор, насаженный через подшипники на эксцентриковый вал. Движение ротора относительно корпуса двигателя (статора) производится через пару шестерен, одна из которых, большего размера, закреплена на внутренней поверхности ротора, вторая, опорная, меньшего размера, жестко прикреплена к внутренней поверхности боковой крышки двигателя. Взаимодействие шестерен приводит к тому, что ротор совершает круговые эксцентричные движения, соприкасаясь гранями с внутренней поверхностью камеры сгорания. В результате между ротором и корпусом двигателя образуются три изолированные камеры переменного объема, в которых происходят процессы сжатия топливо-воздушной смеси, ее сгорания, расширения газов, оказывающих давление на рабочую поверхность ротора и очищения камеры сгорания от отработанных газов. Вращательное движение ротора передается на эксцентриковый вал, установленный на подшипниках и передающий вращающий момент на механизмы трансмиссии. Таким образом в РПД одновременно работают две механические пары: первая - регулирующая движение ротора и состоящая из пары шестерен; и вторая - преобразующая круговое движение ротора во вращение эксцентрикового вала. Передаточное соотношение шестерен ротора и статора 2:3, поэтому за один полный оборот эксцентрикового вала ротор успевает провернуться на 120 градусов. В свою очередь за один полный оборот ротора в каждой из трех образуемых его гранями камер производится полный четырехтактный цикл двигателя внутреннего сгорания [12-15].

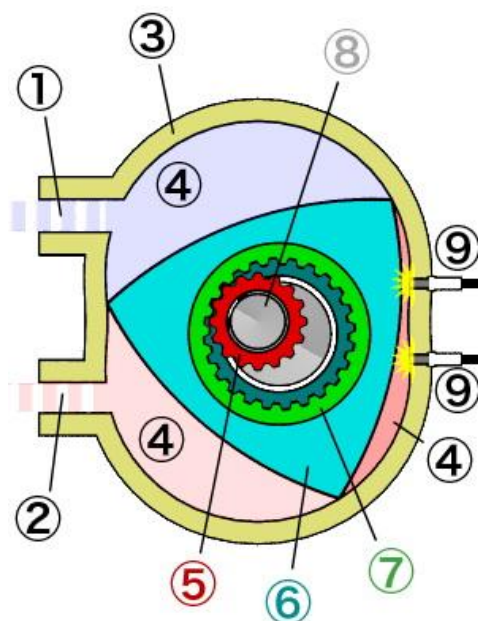


Рисунок 4.1 - Схема РПД: 1 - впускное окно; 2 выпускное окно; 3 - корпус; 4 - камера сгорания; 5 – неподвижная шестерня; 6 - ротор; 7 – зубчатое колесо; 8 - вал; 9 – свеча зажигания

Главным достоинством роторно-поршневого двигателя является простота конструкции. В РПД на 35-40 процентов меньше деталей, чем в поршневом четырехтактном двигателе. В РПД отсутствуют поршни, шатуны, коленчатый вал. В «классическом» варианте РПД нет и газораспределительного механизма. Топливо-воздушная смесь поступает в рабочую полость двигателя через впускное окно, которое открывает грань ротора. Отработанные газы выбрасываются через выпускное окно, которое пересекает, опять же, грань ротора (это напоминает устройство газораспределения двухтактного поршневого двигателя) [16].

Отдельного упоминания заслуживает система смазки, которая в простейшем варианте РПД практически отсутствует. Масло добавляется в топливо - как при эксплуатации двухтактных мотоциклетных моторов. Смазка пар трения (прежде всего ротора и рабочей поверхности камеры сгорания) производится самой топливо-воздушной смесью [17].

Поскольку масса ротора невелика и легко уравнивается массой противовесов эксцентрикового вала, РПД отличается небольшим уровнем

вибраций и хорошей равномерностью работы. В автомобилях с РПД легче уравновесить двигатель, добившись минимального уровня вибраций, что хорошо сказывается на комфортабельности машины в целом. Особой плавностью хода отличаются двухроторные двигатели, в которых роторы сами являются снижающими уровень вибраций балансирами [18].

Еще одно привлекательное качество РПД - высокая удельная мощность при высоких оборотах эксцентрикового вала. Это позволяет добиться от автомобиля с РПД отличных скоростных характеристик при относительно небольшом расходе топлива. Малая инерционность ротора и повышенная по сравнению с поршневыми двигателями внутреннего сгорания удельная мощность позволяют улучшить динамику автомобиля [19].

Наконец, немаловажным достоинством РПД являются небольшие размеры. Роторный двигатель меньше поршневого четырехтактного мотора той же мощности примерно вдвое. И это позволяет рациональней использовать пространство моторного отсека, более точно рассчитывать расположение узлов трансмиссии и нагрузку на переднюю и заднюю ось [20].

Как видно из термодинамической части, отношение эквивалентности двигателя намного меньше, чем обычные двигатели с искровым зажиганием. В обычном двигателе с искровым зажиганием топливо и воздух смешиваются вместе в системе впуска, создаются через впускной клапан в цилиндр и затем сжимаются [21].

Таким образом, для нашего двигателя, который имеет очень обедненную смесь, топливо должно быть непосредственно введено в камеру сгорания. И название этой системы впрыска этого типа в современных двигателях с искровым зажиганием является системой прямого впрыска бензина. В результате этой закачки сжигаются сверхтекие смеси, соотношение воздуха и топлива может достигать 65-1. Эти более компактные смеси (намного более компактные, чем любой обычный двигатель) желательны из-за снижения расхода топлива. В системе прямого впрыска бензина топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания, в

отличие от обычного многоточечного впрыска топлива, который происходит во впускном клапане, или впрыска в цилиндр в двухтактных двигателях. Это позволяет сжигать стратифицированный заряд (сверхбыстрый ожог) для повышения эффективности использования топлива и уровня выбросов при низкой нагрузке. Дальнейшее повышение эффективности и высокой выходной мощности, мощность двигателя регулируется путем модуляции впрыска топлива с нерегулируемым воздухозаборником, как дизельный двигатель; в отличие от ограничения всасываемого воздушного потока, как обычный двигатель внутреннего сгорания. Объем камеры определяется термодинамическим кодом, также известны входное и выходное отверстия камеры сгорания. Должны быть определены два параметра; длины и диаметра камеры сгорания. Перед сжиганием для хорошего перемешивания скорость потока должна составлять 7-12 м / с, а номинальная скорость должна составлять 9 м / с. [22] Угол β выбирается как 30° для той же цели. Камера камеры сгорания представляет собой цилиндрическую камеру сгорания (для структурных целей).

Что касается результатов структурного анализа, то в качестве материала камеры сгорания выбирается H13 Hot Work Tool Steel. Критерии отбора материала приведены ниже [23];

- Высокая термостойкость.
- Хорошая теплопроводность и допускать некоторое охлаждение воды в процессе эксплуатации.

- Высокая прочность на растяжение.
- Хорошая обрабатываемость.

Что касается этих свойств материала, это одна из лучших альтернатив, которые могут быть использованы для камеры сгорания. Помимо этих свойств структурный анализ камеры сгорания осуществляется с использованием этого материала, и результаты анализа показывают, что выбранный материал подходит.

5 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

5.1 Оценка безопасности и экологичности роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации

Основным техническим результатом бакалаврского проектирования, явилось адаптация роторно-поршневого двигателя для нужд малой авиации. Роторно-поршневой двигатель не имеет частей совершающих возвратно-поступательное движение, таким образом, механические потери группы при увеличении частоты вращения будут значительно меньше чем в поршневом двигателе.

5.1.1 Оценка взрыво-пожаробезопасности роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации

Повышение частоты вращений повышает тепловую нагрузку на двигатель и, следовательно, повышает температуру выпускного коллектора, который как известно при наличии течи из топливопроводов является источником воспламенения, следовательно, требуется применять меры для недопущения попадания топлива на перегретые элементы ДВС. В целом пожаробезопасность несколько ухудшилась, но при надлежащем уходе и ТО двигателя соответствует принятым нормам.

5.1.2 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов, роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации

Повышение частоты вращения и габаритов камеры сгорания сказывается на выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами.

Разберем это влияние отдельно для каждого токсичного компонента в отдельности:

- C_nH_m (углеводороды) - повышение площади поршня, а следовательно и камеры сгорания, увеличивается доля пристеночных углеводородов, что может сказаться на увеличении их выбросов с ОГ.
- CO (угарный газ или монооксид углерода) - процесс сгорания до и после модернизации происходит при коэффициенте избытка воздуха равным единице, следовательно условия для изменения концентрации CO в отработавших газах принципиально не поменялись, следовательно, удельный выброс CO не изменится, но в тоже время у нас возросла частота вращения, что повышает массовые выбросы в единицу времени.
- Сажа или твердые частицы - это недавно принятые нормы по которым отслеживается и ограничивается выбросы твердых частиц с отработавшими газами бензиновых ДВС. При работе на коэффициенте избытка воздуха равным стехиометрическому условий для образования сажи в процессе сгорания и догорания, как в базовом двигателе так и в модернизированном, не наблюдается, т.е. сажа из топлива выделяться не будет, разве, что при повышении оборотов может в камеру сгорания попадать большее количество масла, что может повлиять на содержание твердых частиц в ОГ.
- Оксиды азота (NO и NO_2) - при повышении частоты вращения продолжительность процесса сгорания по углу поворота коленчатого вала возрастает, что приводит к уменьшению термодинамической температуры цикла, тем самым имеются условия для снижения концентрации оксида азота в ОГ.
- Углекислый газ (CO_2) - работа на повышенной частоте вращения несколько снижает КПД цикла, что приводит к повышенному потреблению топлива, следовательно к росту выбросов парникового газа.

5.1.3 Оценка экологичности, по шуму, роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации

Повышенная частота вращения повышает вибрационные составляющие шума от деталей двигателя, также увеличивается скорость истечения отработавших газов через систему выпуска, что требует проведения работ по модернизации системы глушения акустической энергии отработавших газов.

5.2 Выводы об безопасности и экологичности роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации

1. Пожаробезопасность несколько ухудшится, необходимо более внимательно следить за состоянием топливопроводов.

2. Шум двигателя возрастет, следовательно необходимо обеспечить лучшую шумоизоляцию моторного отсека, а также модернизацию системы глушения выхлопных газов.

3. За счет повышения частоты вращения массовые выбросы в единицу времени возрастут для всех нормируемых токсичных компонентов, следовательно для выполнения норм токсичности требуется доработка системы каталитической нейтрализации отработавших газов, для повышения её эффективности.

В целом двигатель удовлетворяет современным требованиям по экологичности, а для выполнения требований по пожаробезопасности требуется выполнение предписаний касательно работы в условиях малой авиации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведена информация о перспективе развития поршневого двигателестроения для малой авиации в России. Описание номенклатуры авиационных поршневых двигателей. Их преимущества и недостатки. Приведены основные направления развития авиационных поршневых двигателей. Показана перспективность применения роторно-поршневых двигателей в малой авиации

В результате проведенных расчетов, теплового, кинематического, динамического, были получены следующие основные параметры необходимые для проектирования роторно-поршневого двигателя адаптированного для применения в малой авиации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
- 2 Кюл Д. Ракетная техника и космонавтика, 12, 83, 1968.
- 3 Lufthansa Technical Training (2005), Training Manual, Fundamentals, M15 Turbine Engine
- 4 Pratt & Whitney, Gas Turbine Seminar (1990). Pratt & Whitney, East Hartford, Ct., USA
- 5 Lufthansa Technical Training (2001), Training Manual, CFM56-5A Basic Engine
- 6 Boeing Commercial Aircraft, Aircraft Maintenance Manual B777, Boeing Commercial Airplanes, Renton, Wash., USA
- 7 Lufthansa Technical Training (2003), Training Manual, V2500-A5 Engine Systems
- 8 Lufthansa Technical Training (2001), Training Manual, CFM56-5A Engine Systems
- 9 Lufthansa Technical Training (2001), Training Manual, CFM56-5A Location Training Manual
- 10 Lufthansa Technical Training (2003), Training Manual, CFM56-7B Engine Systems
- 11 Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
- 12 V. Ganesan.: "Internal Combustion Engines", McGraw-Hill Inc., 1996.
- 13 Kromer, Herbert, Kittel, Charles:" Thermal Physics", W.H. Freeman Company, 1980.
- 14 Smith D.G. and Rudge, P.G., "Pressure-Volume Diagrams for Sliding Vane Rotary Compressors", *Proc. Instn. Mech. Engineers, Vol.184 Pt3R, Paper 17*, (1970), 159-166).

- 15 Chou, Y., "Rotary Vane Engine", *USPTO* 5,352,295, (October 4th 1994).
- 16 Vading, K., "Rotary-Piston Machine", *PCT WO 02/31318*, (April 18th 2002).
- 17 Umeda, S., "Rotary Internal Combustion Engine", *USPTO* 4,414,938, (November 15th 1983).
- 18 LAI, J.H., "Stage Combustion Rotary Engine", *USPTO* 5,596,963, (January 28th 1997).
- 19 Jirnov, A., and Jirnov, O., "Sliding-Blade Heat Engine with Vortex Combustion Chamber", *USPTO* 5,511,525, (April 30th 1996).
- 20 Ssketa, Masami: "A cat-and mouse type rotary engine: engine design & performance evaluation, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, Journal of Automobile Engineering, 220 (D8):1139- 1151 AUG,2006
- 21 Wankel, F.: Rotary Piston Machines, Iliffe Books, London, 1965.
- 22 Yamamoto, K.: Rotary Engine, Toyo Kogyo Co. Ltd., Hiroshima, 1969

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации
при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$

DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2
1,3E-06	3,49247	1	1	0	0	-15	863,4583	863,4583	0,06779	0,0439	1,1976	6,5E-07	867,8836		
2,2E-05	3,59449	1	1	1,29E-06	1	-14	872,3089	869,9385	0,06636	0,0383	1,1723	1,1E-05	875,3677	1,3474	6,7575
0,00011	3,6954	1	1	2,37E-05	2	-13	878,4264	876,3786	0,06502	0,0331	1,1487	5,3E-05	881,6078	1,3466	6,77
0,00031	3,79588	1	1	0,00013	3	-12	884,7893	883,0662	0,06379	0,0282	1,1269	0,00015	888,3093	1,346	6,7805
0,00068	3,89735	1	1	0,000436	4	-11	891,8294	890,4387	0,06264	0,0237	1,1067	0,00034	895,9816	1,3453	6,7916
0,00128	4,002	1,0001	1	0,001112	5	-10	900,1338	899,0914	0,0616	0,0196	1,0883	0,00064	905,2895	1,3446	6,8042
0,00217	4,11294	1,0001	1,0001	0,00239	6	-9	910,4451	909,778	0,06065	0,0159	1,0715	0,00109	917,0498	1,3437	6,8194
0,00342	4,23408	1,0002	1,0002	0,004562	7	-8	923,6544	923,4032	0,05981	0,0126	1,0566	0,00171	932,2201	1,3426	6,8383
0,00507	4,37014	1,0004	1,0003	0,007979	8	-7	940,7858	941,0063	0,05906	0,0096	1,0433	0,00254	951,8774	1,3412	6,8621
0,00719	4,52646	1,0007	1,0005	0,013052	9	-6	962,969	963,7332	0,05841	0,0071	1,0319	0,0036	977,1841	1,3394	6,8923
0,00981	4,7088	1,001	1,0009	0,020243	10	-5	991,3992	992,7948	0,05786	0,0049	1,0221	0,00491	1009,341	1,3373	6,9297
0,01297	4,92294	1,0015	1,0013	0,030057	11	-4	1027,284	1029,412	0,05741	0,0031	1,0142	0,00649	1049,53	1,3347	6,9751
0,01667	5,17436	1,0022	1,0019	0,043028	12	-3	1071,776	1074,747	0,05706	0,0018	1,008	0,00834	1098,839	1,3317	7,0289
0,0209	5,46769	1,0031	1,0026	0,059699	13	-2	1125,901	1129,83	0,05681	0,0008	1,0035	0,01045	1158,187	1,3284	7,0907
0,0256	5,80628	1,0041	1,0036	0,080597	14	-1	1190,472	1195,473	0,05665	0,0002	1,0009	0,0128	1228,242	1,3247	7,1597
0,03071	6,19169	1,0054	1,0048	0,106202	15	0	1266,012	1272,189	0,0566	0	1	0,01535	1309,341	1,3208	7,2342
0,03607	6,62324	1,007	1,0062	0,136907	16	1	1352,67	1360,116	0,05665	0,0002	1,0009	0,01804	1401,414	1,3168	7,3125
0,04154	7,0977	1,0088	1,0079	0,17298	17	2	1450,158	1458,943	0,05681	0,0008	1,0035	0,02077	1503,923	1,3129	7,3925
0,04689	7,60902	1,011	1,0099	0,21452	18	3	1557,689	1567,86	0,05706	0,0018	1,008	0,02345	1615,82	1,309	7,472
0,05189	8,14829	1,0134	1,0122	0,261413	19	4	1673,951	1685,526	0,05741	0,0031	1,0142	0,02594	1735,526	1,3054	7,549
0,05626	8,70385	1,016	1,0147	0,313302	20	5	1797,101	1810,065	0,05786	0,0049	1,0221	0,02813	1860,952	1,302	7,622
0,05974	9,26166	1,0189	1,0175	0,369562	21	6	1924,802	1939,106	0,05841	0,0071	1,0319	0,02987	1989,554	1,299	7,6896

0,06206	9,80592	1,022	1,0204	0,429298	22	7	2054,306	2069,865	0,05906	0,0096	1,0433	0,03103	2118,442	1,2963	7,7509
0,06304	10,3199	1,0251	1,0235	0,491361	23	8	2182,578	2199,274	0,05981	0,0126	1,0566	0,03152	2244,523	1,2939	7,8052
0,06252	10,7871	1,0284	1,0267	0,554397	24	9	2306,469	2324,151	0,06065	0,0159	1,0715	0,03126	2364,691	1,2919	7,8524
0,06048	11,1922	1,0316	1,03	0,616919	25	10	2422,913	2441,402	0,0616	0,0196	1,0883	0,03024	2476,028	1,2902	7,8924
0,05697	11,5223	1,0346	1,0331	0,677395	26	11	2529,142	2548,237	0,06264	0,0237	1,1067	0,02849	2576,012	1,2888	7,9255
0,05219	11,7683	1,0376	1,0361	0,734369	27	12	2622,882	2642,371	0,06379	0,0282	1,1269	0,0261	2662,702	1,2877	7,9521
0,04642	11,925	1,0402	1,0389	0,786563	28	13	2702,522	2722,186	0,06502	0,0331	1,1487	0,02321	2734,868	1,2868	7,9726
0,04001	11,9918	1,0426	1,0414	0,832984	29	14	2767,215	2786,842	0,06636	0,0383	1,1723	0,02001	2792,062	1,2862	7,9879
0,03336	11,9726	1,0447	1,0436	0,872994	30	15	2816,909	2836,299	0,06779	0,0439	1,1976	0,01668	2834,601	1,2858	7,9985
0,02685	11,8749	1,0464	1,0455	0,906351	31	16	2852,294	2871,267	0,06931	0,0499	1,2245	0,01342	2863,484	1,2855	8,0053
0,02081	11,7093	1,0477	1,047	0,933198	32	17	2874,673	2893,076	0,07093	0,0562	1,2531	0,01041	2880,229	1,2854	8,0089
0,01551	11,4879	1,0488	1,0483	0,954011	33	18	2885,786	2903,493	0,07264	0,063	1,2833	0,00775	2886,691	1,2853	8,01
0,01108	11,2234	1,0496	1,0492	0,96952	34	19	2887,595	2904,513	0,07445	0,07	1,3152	0,00554	2884,843	1,2853	8,0092
0,00758	10,9278	1,0502	1,0499	0,980603	35	20	2882,092	2898,151	0,07634	0,0775	1,3487	0,00379	2876,605	1,2854	8,007
0,00494	10,6118	1,0505	1,0503	0,988178	36	21	2871,119	2886,279	0,07833	0,0853	1,3838	0,00247	2863,691	1,2856	8,0038
0,00307	10,2844	1,0508	1,0507	0,993119	37	22	2856,264	2870,503	0,08041	0,0934	1,4205	0,00153	2847,53	1,2857	7,9999
0,00181	9,95259	1,051	1,0509	0,996186	38	23	2838,795	2852,109	0,08257	0,1019	1,4587	0,0009	2829,231	1,2859	7,9955
0,00101	9,62136	1,051	1,051	0,997993	39	24	2819,666	2832,062	0,08482	0,1108	1,4985	0,0005	2809,605	1,2861	7,9908
0,00053	9,29432	1,0511	1,0511	0,999	40	25	2799,545	2811,039	0,08716	0,12	1,5398	0,00026	2789,21	1,2863	7,986

Таблица А2 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1	Vсг	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T2истина	Средняя температура на участке	k1-2	K1-2
0,0000	1,89	1,00	1,00	0	0	-20	0,116378	0,077511	1,310043	8,41E-07	808,03	808,03	679,10		
0,0000	1,95	1,00	1,00	1,68E-06	1	-19	0,113732	0,070066	1,280263	1,09E-05	550,17	815,06	553,15	1,372	6,38
0,0001	2,02	1,00	1,00	2,34E-05	2	-18	0,111215	0,06298	1,251922	4,3E-05	556,12	822,71	559,16	1,398	6,03
0,0002	2,08	1,00	1,00	0,000109	3	-17	0,108826	0,056258	1,225032	0,000108	562,21	830,75	565,34	1,396	6,05
0,0004	2,15	1,00	1,00	0,000326	4	-16	0,106567	0,049902	1,199607	0,000218	568,47	839,50	571,71	1,395	6,07
0,0008	2,22	1,00	1,00	0,000762	5	-15	0,10444	0,043915	1,17566	0,00038	574,96	849,39	578,34	1,393	6,09
0,0012	2,29	1,00	1,00	0,001523	6	-14	0,102445	0,038301	1,153202	0,000605	581,73	860,91	585,29	1,392	6,11

0,0018	2,37	1,00	1,00	0,002734	7	-13	0,100583	0,033061	1,132245	0,000901	588,86	874,62	592,65	1,390	6,13
0,0026	2,46	1,00	1,00	0,004537	8	-12	0,098856	0,028199	1,112798	0,001276	596,45	891,12	600,53	1,388	6,15
0,0035	2,56	1,00	1,00	0,007088	9	-11	0,097263	0,023718	1,094871	0,001736	604,62	911,06	609,06	1,387	6,17
0,0046	2,66	1,00	1,00	0,01056	10	-10	0,095806	0,019618	1,078474	0,002287	613,50	935,13	618,38	1,385	6,20
0,0059	2,79	1,00	1,00	0,015134	11	-9	0,094486	0,015903	1,063614	0,002934	623,26	964,03	628,65	1,383	6,22
0,0074	2,92	1,00	1,00	0,021002	12	-8	0,093303	0,012574	1,050298	0,00368	634,05	998,45	640,07	1,381	6,25
0,0091	3,08	1,00	1,00	0,028361	13	-7	0,092258	0,009633	1,038533	0,004525	646,09	1039,08	652,84	1,379	6,28
0,0109	3,25	1,00	1,00	0,037412	14	-6	0,091351	0,007081	1,028325	0,00547	659,59	1086,53	667,18	1,376	6,32
0,0130	3,45	1,00	1,00	0,048351	15	-5	0,090583	0,00492	1,019679	0,006509	674,77	1141,36	683,33	1,374	6,35
0,0153	3,67	1,00	1,00	0,061369	16	-4	0,089954	0,00315	1,012599	0,007638	691,89	1204,02	701,54	1,371	6,39
0,0177	3,91	1,01	1,01	0,076644	17	-3	0,089465	0,001772	1,007089	0,008845	711,19	1274,83	722,07	1,368	6,43
0,0202	4,17	1,01	1,01	0,094335	18	-2	0,089115	0,000788	1,003151	0,010119	732,95	1353,98	745,20	1,365	6,48
0,0229	4,46	1,01	1,01	0,114573	19	-1	0,088905	0,000197	1,000788	0,011443	757,45	1441,44	771,20	1,362	6,53
0,0256	4,77	1,01	1,01	0,137459	20	0	0,088835	0	1	0,012797	784,96	1537,04	800,35	1,358	6,59
0,0283	5,09	1,01	1,01	0,163053	21	1	0,088905	0,000197	1,000788	0,014158	815,74	1640,37	832,91	1,354	6,64
0,0310	5,43	1,02	1,01	0,191369	22	2	0,089115	0,000788	1,003151	0,015499	850,08	1750,82	869,16	1,351	6,71
0,0336	5,79	1,02	1,02	0,222367	23	3	0,089465	0,001772	1,007089	0,016792	888,23	1867,57	909,32	1,347	6,77
0,0360	6,15	1,02	1,02	0,255952	24	4	0,089954	0,00315	1,012599	0,018006	930,41	1989,62	953,64	1,343	6,84
0,0382	6,51	1,02	1,02	0,291964	25	5	0,090583	0,00492	1,019679	0,019109	976,86	2115,77	1002,30	1,339	6,90
0,0401	6,87	1,03	1,02	0,330182	26	6	0,091351	0,007081	1,028325	0,02007	1027,74	2244,68	1055,47	1,335	6,97
0,0417	7,22	1,03	1,03	0,370323	27	7	0,092258	0,009633	1,038533	0,020859	1083,20	2374,92	1113,28	1,331	7,04
0,0429	7,55	1,03	1,03	0,412041	28	8	0,093303	0,012574	1,050298	0,021449	1143,36	2504,95	1175,81	1,327	7,11
0,0436	7,86	1,04	1,03	0,454939	29	9	0,094486	0,015903	1,063614	0,021817	1208,27	2633,23	1243,10	1,323	7,18
0,0439	8,15	1,04	1,04	0,498572	30	10	0,095806	0,019618	1,078474	0,021945	1277,92	2758,19	1315,09	1,320	7,25
0,0436	8,40	1,04	1,04	0,542462	31	11	0,097263	0,023718	1,094871	0,021824	1352,27	2878,38	1391,72	1,317	7,32
0,0429	8,62	1,05	1,04	0,586109	32	12	0,098856	0,028199	1,112798	0,02145	1431,17	2992,40	1472,79	1,313	7,38
0,0417	8,81	1,05	1,05	0,629009	33	13	0,100583	0,033061	1,132245	0,02083	1514,42	3099,02	1558,07	1,310	7,45
0,0400	8,95	1,05	1,05	0,670669	34	14	0,102445	0,038301	1,153202	0,019978	1601,73	3197,20	1647,23	1,307	7,50
0,0378	9,05	1,06	1,05	0,710625	35	15	0,10444	0,043915	1,17566	0,018916	1692,74	3286,08	1739,87	1,305	7,56
0,0353	9,11	1,06	1,06	0,748457	36	16	0,106567	0,049902	1,199607	0,017675	1787,00	3365,05	1835,48	1,302	7,61
0,0326	9,13	1,06	1,06	0,783807	37	17	0,108826	0,056258	1,225032	0,01629	1883,96	3433,74	1933,48	1,300	7,66
0,0296	9,11	1,06	1,06	0,816388	38	18	0,111215	0,06298	1,251922	0,014803	1983,01	3492,02	2033,23	1,298	7,71
0,0265	9,05	1,07	1,07	0,845994	39	19	0,113732	0,070066	1,280263	0,013256	2083,45	3539,99	2133,99	1,296	7,75
0,0234	8,96	1,07	1,07	0,872507	40	20	0,116378	0,077511	1,310043	0,011692	2184,53	3577,96	2234,98	1,294	7,79

0,0203	8,83	1,07	1,07	0,895891	41	21	0,11915	0,085312	1,341246	0,010152	2285,43	3606,45	2335,36	1,293	7,83
0,0173	8,68	1,07	1,07	0,916194	42	22	0,122047	0,093464	1,373857	0,008673	2385,29	3626,12	2434,27	1,292	7,86
0,0146	8,51	1,07	1,07	0,93354	43	23	0,125067	0,101965	1,407861	0,007286	2483,24	3637,75	2530,82	1,290	7,89
0,0120	8,32	1,07	1,07	0,948111	44	24	0,12821	0,11081	1,443239	0,006015	2578,39	3642,21	2624,13	1,289	7,92
0,0098	8,12	1,08	1,08	0,960141	45	25	0,131474	0,119994	1,479977	0,004878	2669,88	3640,42	2713,38	1,288	7,94
0,0078	7,91	1,08	1,08	0,969896	46	26	0,134857	0,129514	1,518054	0,003882	2756,88	3633,28	2797,75	1,287	7,97
0,0061	7,69	1,08	1,08	0,977661	47	27	0,138357	0,139364	1,557454	0,003031	2838,63	3621,69	2876,54	1,286	7,99
0,0046	7,47	1,08	1,08	0,983724	48	28	0,141972	0,149539	1,598157	0,00232	2914,45	3606,46	2949,11	1,286	8,00
0,0035	7,24	1,08	1,08	0,988364	49	29	0,145702	0,160036	1,640142	0,00174	2983,77	3588,37	3014,94	1,285	8,02
0,0026	7,02	1,08	1,08	0,991844	50	30	0,149544	0,170848	1,68339	0,001278	3046,12	3568,07	3073,65	1,284	8,03
0,0018	6,80	1,08	1,08	0,9944	51	31	0,153496	0,18197	1,72788	0,000918	3101,17	3546,14	3124,95	1,284	8,04
0,0013	6,58	1,08	1,08	0,996235	52	32	0,157557	0,193398	1,773591	0,000644	3148,73	3523,04	3168,73	1,284	8,05
0,0009	6,37	1,08	1,08	0,997524	53	33	0,161724	0,205125	1,8205	0,000442	3188,74	3499,18	3205,00	1,283	8,06
0,0006	6,16	1,08	1,08	0,998408	54	34	0,165996	0,217146	1,868584	0,000296	3221,27	3474,85	3233,91	1,283	8,07
0,0004	5,96	1,08	1,08	0,999	55	35	0,17037	0,229455	1,917822	0,000194	3246,55	3450,29	3255,71	1,283	8,07

Таблица А3 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$

DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1	Vcr	s	y (f1)	X1-2	Tпред	T2истина	Средняя температура на участке	k1-2	K1-2
0,0000	1,34	1,00	1,00	0	0	-30	0,147988	0,170848	1,68339	2,67E-07	724,09	724,09	637,13		
0,0000	1,39	1,00	1,00	5,33E-07	1	-29	0,144186	0,160036	1,640142	4E-06	550,17	731,31	553,15	1,379	6,27
0,0000	1,44	1,00	1,00	8,53E-06	2	-28	0,140495	0,149539	1,598157	1,73E-05	556,12	739,03	559,16	1,398	6,03
0,0001	1,50	1,00	1,00	4,32E-05	3	-27	0,136916	0,139364	1,557454	4,66E-05	562,21	746,98	565,34	1,396	6,05
0,0002	1,55	1,00	1,00	0,000136	4	-26	0,133453	0,129514	1,518054	9,83E-05	568,47	755,33	571,71	1,395	6,07
0,0004	1,61	1,00	1,00	0,000333	5	-25	0,130105	0,119994	1,479977	0,000179	574,96	764,28	578,34	1,393	6,09
0,0006	1,67	1,00	1,00	0,000691	6	-24	0,126876	0,11081	1,443239	0,000294	581,73	774,07	585,29	1,392	6,11
0,0009	1,74	1,00	1,00	0,001279	7	-23	0,123766	0,101965	1,407861	0,000451	588,86	785,02	592,65	1,390	6,13
0,0013	1,81	1,00	1,00	0,002181	8	-22	0,120776	0,093464	1,373857	0,000655	596,45	797,44	600,53	1,388	6,15
0,0018	1,89	1,00	1,00	0,003491	9	-21	0,11791	0,085312	1,341246	0,000912	604,62	811,72	609,06	1,387	6,17
0,0025	1,97	1,00	1,00	0,005316	10	-20	0,115166	0,077511	1,310043	0,001229	613,50	828,26	618,38	1,385	6,20
0,0032	2,07	1,00	1,00	0,007774	11	-19	0,112548	0,070066	1,280263	0,001609	623,26	847,50	628,65	1,383	6,22
0,0041	2,17	1,00	1,00	0,010992	12	-18	0,110057	0,06298	1,251922	0,002058	634,05	869,92	640,07	1,381	6,25

0,0052	2,28	1,00	1,00	0,015108	13	-17	0,107693	0,056258	1,225032	0,00258	646,09	895,97	652,84	1,379	6,28
0,0064	2,41	1,00	1,00	0,020268	14	-16	0,105458	0,049902	1,199607	0,003178	659,59	926,14	667,18	1,376	6,31
0,0077	2,55	1,00	1,00	0,026624	15	-15	0,103353	0,043915	1,17566	0,003853	674,77	960,89	683,33	1,374	6,35
0,0092	2,71	1,00	1,00	0,034329	16	-14	0,101378	0,038301	1,153202	0,004607	691,89	1000,69	701,54	1,371	6,39
0,0109	2,89	1,00	1,00	0,043542	17	-13	0,099536	0,033061	1,132245	0,005438	711,19	1045,94	722,07	1,368	6,43
0,0127	3,08	1,00	1,00	0,054418	18	-12	0,097827	0,028199	1,112798	0,006344	732,95	1097,01	745,20	1,365	6,48
0,0146	3,30	1,00	1,00	0,067107	19	-11	0,096251	0,023718	1,094871	0,007321	757,45	1154,19	771,20	1,362	6,53
0,0167	3,53	1,00	1,00	0,081748	20	-10	0,094809	0,019618	1,078474	0,008361	784,96	1217,68	800,35	1,358	6,58
0,0189	3,79	1,01	1,00	0,098471	21	-9	0,093503	0,015903	1,063614	0,009456	815,74	1287,62	832,91	1,354	6,64
0,0212	4,07	1,01	1,01	0,117383	22	-8	0,092332	0,012574	1,050298	0,010594	850,08	1364,01	869,16	1,351	6,70
0,0235	4,37	1,01	1,01	0,138571	23	-7	0,091298	0,009633	1,038533	0,01176	888,23	1446,74	909,32	1,347	6,77
0,0259	4,69	1,01	1,01	0,16209	24	-6	0,0904	0,007081	1,028325	0,012938	930,41	1535,57	953,64	1,343	6,83
0,0282	5,03	1,01	1,01	0,187966	25	-5	0,08964	0,00492	1,019679	0,014109	976,86	1630,14	1002,30	1,339	6,90
0,0305	5,38	1,01	1,01	0,216183	26	-4	0,089018	0,00315	1,012599	0,015251	1027,74	1729,94	1055,47	1,335	6,97
0,0327	5,75	1,01	1,01	0,246685	27	-3	0,088534	0,001772	1,007089	0,016342	1083,20	1834,34	1113,28	1,331	7,04
0,0347	6,12	1,01	1,01	0,279368	28	-2	0,088187	0,000788	1,003151	0,017357	1143,36	1942,59	1175,81	1,327	7,11
0,0365	6,50	1,02	1,02	0,314083	29	-1	0,08798	0,000197	1,000788	0,018273	1208,27	2053,82	1243,10	1,323	7,18
0,0381	6,87	1,02	1,02	0,350628	30	0	0,08791	0	1	0,019064	1277,92	2167,06	1315,09	1,320	7,25
0,0394	7,24	1,02	1,02	0,388756	31	1	0,08798	0,000197	1,000788	0,019708	1352,27	2281,26	1391,72	1,317	7,32
0,0404	7,60	1,02	1,02	0,428172	32	2	0,088187	0,000788	1,003151	0,020183	1431,17	2395,30	1472,79	1,313	7,38
0,0409	7,95	1,02	1,02	0,468539	33	3	0,088534	0,001772	1,007089	0,020473	1514,42	2508,05	1558,07	1,310	7,45
0,0411	8,27	1,03	1,03	0,509485	34	4	0,089018	0,00315	1,012599	0,020564	1601,73	2618,35	1647,23	1,307	7,51
0,0409	8,56	1,03	1,03	0,550613	35	5	0,08964	0,00492	1,019679	0,020446	1692,74	2725,06	1739,87	1,305	7,56
0,0402	8,83	1,03	1,03	0,591505	36	6	0,0904	0,007081	1,028325	0,020119	1787,00	2827,09	1835,48	1,302	7,62
0,0392	9,05	1,03	1,03	0,631743	37	7	0,091298	0,009633	1,038533	0,019584	1883,96	2923,45	1933,48	1,300	7,67
0,0377	9,25	1,03	1,03	0,670912	38	8	0,092332	0,012574	1,050298	0,018853	1983,01	3013,24	2033,23	1,298	7,71
0,0359	9,40	1,04	1,04	0,708618	39	9	0,093503	0,015903	1,063614	0,017942	2083,45	3095,69	2133,99	1,296	7,76
0,0337	9,51	1,04	1,04	0,744503	40	10	0,094809	0,019618	1,078474	0,016873	2184,53	3170,20	2234,98	1,294	7,80
0,0313	9,58	1,04	1,04	0,778249	41	11	0,096251	0,023718	1,094871	0,015674	2285,43	3236,32	2335,36	1,293	7,83
0,0288	9,61	1,04	1,04	0,809597	42	12	0,097827	0,028199	1,112798	0,014375	2385,29	3293,79	2434,27	1,291	7,87
0,0260	9,60	1,04	1,04	0,838347	43	13	0,099536	0,033061	1,132245	0,013012	2483,24	3342,54	2530,82	1,290	7,90
0,0232	9,55	1,04	1,04	0,86437	44	14	0,101378	0,038301	1,153202	0,011617	2578,39	3382,65	2624,13	1,289	7,92
0,0205	9,46	1,05	1,04	0,887605	45	15	0,103353	0,043915	1,17566	0,010226	2669,88	3414,39	2713,38	1,288	7,95
0,0177	9,35	1,05	1,05	0,908058	46	16	0,105458	0,049902	1,199607	0,008871	2756,88	3438,16	2797,75	1,287	7,97

0,0152	9,21	1,05	1,05	0,9258	47	17	0,107693	0,056258	1,225032	0,007579	2838,63	3454,48	2876,54	1,286	7,99
0,0127	9,04	1,05	1,05	0,940959	48	18	0,110057	0,06298	1,251922	0,006375	2914,45	3463,97	2949,11	1,285	8,01
0,0105	8,86	1,05	1,05	0,953708	49	19	0,112548	0,070066	1,280263	0,005275	2983,77	3467,33	3014,94	1,285	8,02
0,0086	8,65	1,05	1,05	0,964257	50	20	0,115166	0,077511	1,310043	0,004292	3046,12	3465,28	3073,65	1,284	8,04
0,0069	8,44	1,05	1,05	0,97284	51	21	0,11791	0,085312	1,341246	0,003431	3101,17	3458,54	3124,95	1,284	8,05
0,0054	8,22	1,05	1,05	0,979703	52	22	0,120776	0,093464	1,373857	0,002694	3148,73	3447,85	3168,73	1,283	8,06
0,0042	7,99	1,05	1,05	0,985091	53	23	0,123766	0,101965	1,407861	0,002077	3188,74	3433,87	3205,00	1,283	8,06
0,0031	7,76	1,05	1,05	0,989245	54	24	0,126876	0,11081	1,443239	0,00157	3221,27	3417,22	3233,91	1,283	8,07
0,0023	7,53	1,05	1,05	0,992384	55	25	0,130105	0,119994	1,479977	0,001163	3246,55	3398,47	3255,71	1,283	8,08
0,0017	7,29	1,05	1,05	0,99471	56	26	0,133453	0,129514	1,518054	0,000844	3264,88	3378,11	3270,79	1,283	8,08
0,0012	7,06	1,05	1,05	0,996399	57	27	0,136916	0,139364	1,557454	0,0006	3276,70	3356,54	3279,59	1,282	8,08
0,0008	6,84	1,05	1,05	0,997599	58	28	0,140495	0,149539	1,598157	0,000417	3282,49	3334,10	3282,66	1,282	8,08
0,0006	6,62	1,05	1,05	0,998433	59	29	0,144186	0,160036	1,640142	0,000283	3282,82	3311,08	3280,56	1,282	8,08
0,0004	6,40	1,05	1,05	0,999	60	30	0,147988	0,170848	1,68339	0,000188	3278,29	3287,70	3273,88	1,282	8,08

Таблица А4 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

ΔX_{1-2}	P	m	n_{1-2}	X	f	f1	V _{ст}	s	y(f1)	X1-2	T _{пред}	T _{истина}	Средняя температура на участке	k1-2	K1-2
0,0000	0,97	1,00	1,00	0	0	-39	0,183484	0,281455	2,125821	4,56E-08	651,32	651,32	654,47		
0,0000	1,01	1,00	1,00	9,11E-08	1	-38	0,178857	0,268053	2,072213	8,52E-07	657,61	657,61	660,81	1,376	6,32
0,0000	1,04	1,00	1,00	1,79E-06	2	-37	0,174321	0,254915	2,01966	4,23E-06	664,01	664,01	667,28	1,375	6,33
0,0000	1,08	1,00	1,00	1,03E-05	3	-36	0,169878	0,242047	1,968188	1,25E-05	670,54	670,55	673,90	1,374	6,35
0,0001	1,12	1,00	1,00	3,54E-05	4	-35	0,165531	0,229455	1,917822	2,85E-05	677,26	677,27	680,74	1,373	6,36
0,0001	1,16	1,00	1,00	9,23E-05	5	-34	0,161281	0,217146	1,868584	5,49E-05	684,23	684,24	687,89	1,372	6,38
0,0002	1,21	1,00	1,00	0,000202	6	-33	0,157131	0,205125	1,8205	9,5E-05	691,55	691,57	695,44	1,370	6,40
0,0003	1,25	1,00	1,00	0,000392	7	-32	0,153082	0,193398	1,773591	0,000152	699,33	699,36	703,52	1,369	6,42
0,0005	1,30	1,00	1,00	0,000696	8	-31	0,149137	0,18197	1,72788	0,000229	707,71	707,75	712,28	1,368	6,43
0,0007	1,35	1,00	1,00	0,001155	9	-30	0,145297	0,170848	1,68339	0,000331	716,85	716,91	721,90	1,367	6,45
0,0009	1,41	1,00	1,00	0,001816	10	-29	0,141564	0,160036	1,640142	0,000459	726,94	727,01	732,55	1,365	6,48
0,0012	1,47	1,00	1,00	0,002735	11	-28	0,13794	0,149539	1,598157	0,000619	738,17	738,26	744,47	1,364	6,50

0,0016	1,53	1,00	1,00	0,003974	12	-27	0,134427	0,139364	1,557454	0,000814	750,78	750,89	757,89	1,362	6,52
0,0021	1,60	1,00	1,00	0,005601	13	-26	0,131026	0,129514	1,518054	0,001047	765,01	765,16	773,06	1,360	6,55
0,0026	1,68	1,00	1,00	0,007696	14	-25	0,12774	0,119994	1,479977	0,001322	781,12	781,31	790,25	1,358	6,58
0,0033	1,76	1,00	1,00	0,01034	15	-24	0,124569	0,11081	1,443239	0,001642	799,39	799,64	809,75	1,356	6,62
0,0040	1,85	1,00	1,00	0,013624	16	-23	0,121515	0,101965	1,407861	0,002011	820,11	820,43	831,85	1,354	6,66
0,0049	1,95	1,00	1,00	0,017646	17	-22	0,11858	0,093464	1,373857	0,00243	843,58	843,97	856,84	1,351	6,70
0,0058	2,06	1,00	1,00	0,022506	18	-21	0,115766	0,085312	1,341246	0,002903	870,09	870,58	885,01	1,348	6,74
0,0069	2,19	1,00	1,00	0,028313	19	-20	0,113072	0,077511	1,310043	0,003431	899,93	900,54	916,66	1,346	6,79
0,0080	2,32	1,00	1,00	0,035176	20	-19	0,110502	0,070066	1,280263	0,004016	933,39	934,13	952,06	1,343	6,84
0,0093	2,47	1,00	1,00	0,043207	21	-18	0,108056	0,06298	1,251922	0,004656	970,73	971,64	991,47	1,339	6,89
0,0107	2,63	1,00	1,00	0,052519	22	-17	0,105735	0,056258	1,225032	0,005353	1012,21	1013,31	1035,12	1,336	6,95
0,0122	2,81	1,00	1,00	0,063225	23	-16	0,103541	0,049902	1,199607	0,006103	1058,04	1059,35	1083,22	1,333	7,01
0,0138	3,01	1,00	1,00	0,075432	24	-15	0,101474	0,043915	1,17566	0,006905	1108,40	1109,97	1135,93	1,330	7,07
0,0155	3,22	1,00	1,00	0,089241	25	-14	0,099535	0,038301	1,153202	0,007753	1163,45	1165,29	1193,37	1,326	7,13
0,0173	3,46	1,01	1,00	0,104748	26	-13	0,097726	0,033061	1,132245	0,008642	1223,28	1225,42	1255,61	1,323	7,19
0,0191	3,71	1,01	1,01	0,122032	27	-12	0,096048	0,028199	1,112798	0,009565	1287,94	1290,40	1322,66	1,320	7,26
0,0210	3,97	1,01	1,01	0,141162	28	-11	0,094501	0,023718	1,094871	0,010512	1357,39	1360,20	1394,48	1,317	7,32
0,0229	4,26	1,01	1,01	0,162187	29	-10	0,093085	0,019618	1,078474	0,011474	1431,57	1434,73	1470,93	1,314	7,38
0,0249	4,56	1,01	1,01	0,185134	30	-9	0,091803	0,015903	1,063614	0,012437	1510,29	1513,83	1551,82	1,311	7,44
0,0268	4,88	1,01	1,01	0,210008	31	-8	0,090653	0,012574	1,050298	0,013388	1593,34	1597,26	1636,86	1,308	7,50
0,0286	5,21	1,01	1,01	0,236784	32	-7	0,089638	0,009633	1,038533	0,014313	1680,38	1684,69	1725,69	1,305	7,55
0,0304	5,56	1,01	1,01	0,26541	33	-6	0,088757	0,007081	1,028325	0,015194	1771,01	1775,71	1817,87	1,303	7,60
0,0320	5,91	1,02	1,01	0,295798	34	-5	0,088011	0,00492	1,019679	0,016016	1864,74	1869,83	1912,86	1,301	7,66
0,0335	6,27	1,02	1,02	0,32783	35	-4	0,087399	0,00315	1,012599	0,01676	1960,99	1966,46	2010,06	1,298	7,70
0,0348	6,63	1,02	1,02	0,36135	36	-3	0,086924	0,001772	1,007089	0,017411	2059,12	2064,95	2108,76	1,296	7,75
0,0359	6,99	1,02	1,02	0,396172	37	-2	0,086584	0,000788	1,003151	0,01795	2158,41	2164,58	2208,24	1,295	7,79
0,0367	7,34	1,02	1,02	0,432073	38	-1	0,08638	0,000197	1,000788	0,018364	2258,07	2264,57	2307,68	1,293	7,83
0,0373	7,68	1,02	1,02	0,468801	39	0	0,086312	0	1	0,018639	2357,28	2364,09	2406,24	1,291	7,86
0,0375	8,01	1,03	1,02	0,506078	40	1	0,08638	0,000197	1,000788	0,018763	2455,19	2462,29	2503,06	1,290	7,89
0,0375	8,32	1,03	1,03	0,543604	41	2	0,086584	0,000788	1,003151	0,018729	2550,93	2558,29	2597,29	1,289	7,92
0,0371	8,60	1,03	1,03	0,581062	42	3	0,086924	0,001772	1,007089	0,018533	2643,65	2651,24	2688,08	1,288	7,95
0,0363	8,86	1,03	1,03	0,618129	43	4	0,087399	0,00315	1,012599	0,018175	2732,51	2740,30	2774,62	1,287	7,97
0,0353	9,09	1,03	1,03	0,654478	44	5	0,088011	0,00492	1,019679	0,017658	2816,73	2824,71	2856,17	1,286	8,00
0,0340	9,28	1,04	1,03	0,689794	45	6	0,088757	0,007081	1,028325	0,016991	2895,62	2903,76	2932,08	1,285	8,01

0,0324	9,44	1,04	1,04	0,723775	46	7	0,089638	0,009633	1,038533	0,016186	2968,54	2976,82	3001,77	1,284	8,03
0,0305	9,55	1,04	1,04	0,756147	47	8	0,090653	0,012574	1,050298	0,01526	3035,00	3043,38	3064,80	1,284	8,04
0,0285	9,63	1,04	1,04	0,786668	48	9	0,091803	0,015903	1,063614	0,014234	3094,60	3103,07	3120,83	1,283	8,06
0,0263	9,68	1,04	1,04	0,815136	49	10	0,093085	0,019618	1,078474	0,01313	3147,06	3155,60	3169,67	1,283	8,07
0,0239	9,68	1,04	1,04	0,841396	50	11	0,094501	0,023718	1,094871	0,011972	3192,27	3200,85	3211,25	1,283	8,07
0,0216	9,65	1,04	1,04	0,865341	51	12	0,096048	0,028199	1,112798	0,010787	3230,22	3238,83	3245,63	1,282	8,08
0,0192	9,59	1,05	1,04	0,886914	52	13	0,097726	0,033061	1,132245	0,009599	3261,04	3269,66	3273,01	1,282	8,09
0,0169	9,49	1,05	1,05	0,906112	53	14	0,099535	0,038301	1,153202	0,008432	3284,97	3293,59	3293,67	1,282	8,09
0,0146	9,37	1,05	1,05	0,922976	54	15	0,101474	0,043915	1,17566	0,007309	3302,36	3310,96	3308,01	1,282	8,09
0,0125	9,22	1,05	1,05	0,937595	55	16	0,103541	0,049902	1,199607	0,006249	3313,65	3322,22	3316,50	1,282	8,09
0,0105	9,05	1,05	1,05	0,950093	56	17	0,105735	0,056258	1,225032	0,005266	3319,34	3327,86	3319,66	1,282	8,09
0,0087	8,86	1,05	1,05	0,960626	57	18	0,108056	0,06298	1,251922	0,004373	3319,98	3328,45	3318,05	1,282	8,09
0,0072	8,66	1,05	1,05	0,969371	58	19	0,110502	0,070066	1,280263	0,003575	3316,13	3324,54	3312,26	1,282	8,09
0,0058	8,44	1,05	1,05	0,976522	59	20	0,113072	0,077511	1,310043	0,002877	3308,39	3316,73	3302,85	1,282	8,09
0,0046	8,22	1,05	1,05	0,982277	60	21	0,115766	0,085312	1,341246	0,002278	3297,31	3305,58	3290,38	1,282	8,09
0,0035	7,99	1,05	1,05	0,986832	61	22	0,11858	0,093464	1,373857	0,001772	3283,441	3291,627	3275,36	1,282	8,09
0,0027	7,76	1,05	1,05	0,990376	62	23	0,121515	0,101965	1,407861	0,001355	3267,28	3275,38	3258,28	1,282	8,08
0,0020	7,53	1,05	1,05	0,993086	63	24	0,124569	0,11081	1,443239	0,001017	3249,27	3257,29	3239,55	1,282	8,08
0,0015	7,30	1,05	1,05	0,995121	64	25	0,12774	0,119994	1,479977	0,000749	3229,83	3237,75	3219,55	1,283	8,08
0,0011	7,08	1,05	1,05	0,996619	65	26	0,131026	0,129514	1,518054	0,000541	3209,28	3217,11	3198,60	1,283	8,07
0,0008	6,85	1,05	1,05	0,997702	66	27	0,134427	0,139364	1,557454	0,000383	3187,92	3195,66	3176,96	1,283	8,07
0,0005	6,63	1,05	1,05	0,998469	67	28	0,13794	0,149539	1,598157	0,000266	3166,00	3173,65	3154,85	1,283	8,06
0,0004	6,42	1,05	1,05	0,999	68	29	0,141564	0,160036	1,640142	0,00018	3143,70	3151,25	3132,44	1,283	8,06

Таблица А5 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$

D_{X1-2}	P	m	m_{1-2}	X	f	f1	Vст	s	y(f1)	X1-2	Tпред	T2истина	Средняя температура на участке	k1-2	K1-2
0,0000	0,82	1,00	1,00	0	0	-44	0,206857	0,352198	2,408793	8,19E-09	618,34	618,34	621,26		
0,0000	0,85	1,00	1,00	1,64E-08	1	-43	0,201834	0,337574	2,350296	1,9E-07	624,18	624,18	627,15	1,382	6,23
0,0000	0,88	1,00	1,00	3,97E-07	2	-42	0,196889	0,323181	2,292723	1,08E-06	630,12	630,12	633,14	1,381	6,25
0,0000	0,91	1,00	1,00	2,56E-06	3	-41	0,192027	0,309025	2,236102	3,53E-06	636,17	636,16	639,25	1,380	6,26

0,0000	0,94	1,00	1,00	9,63E-06	4	-40	0,187249	0,295115	2,180459	8,62E-06	642,34	642,33	645,50	1,379	6,28
0,0000	0,97	1,00	1,00	2,69E-05	5	-39	0,182557	0,281455	2,125821	1,76E-05	648,66	648,65	651,91	1,378	6,29
0,0001	1,01	1,00	1,00	6,22E-05	6	-38	0,177953	0,268053	2,072213	3,21E-05	655,16	655,16	658,54	1,377	6,31
0,0001	1,05	1,00	1,00	0,000126	7	-37	0,17344	0,254915	2,01966	5,36E-05	661,91	661,90	665,43	1,375	6,33
0,0002	1,09	1,00	1,00	0,000233	8	-36	0,16902	0,242047	1,968188	8,39E-05	668,95	668,94	672,65	1,374	6,34
0,0003	1,13	1,00	1,00	0,000401	9	-35	0,164695	0,229455	1,917822	0,000125	676,36	676,34	680,29	1,373	6,36
0,0004	1,17	1,00	1,00	0,000652	10	-34	0,160466	0,217146	1,868584	0,000179	684,23	684,21	688,44	1,372	6,38
0,0005	1,21	1,00	1,00	0,00101	11	-33	0,156337	0,205125	1,8205	0,000248	692,65	692,63	697,21	1,370	6,40
0,0007	1,26	1,00	1,00	0,001507	12	-32	0,152309	0,193398	1,773591	0,000335	701,76	701,74	706,72	1,369	6,42
0,0009	1,32	1,00	1,00	0,002176	13	-31	0,148383	0,18197	1,72788	0,000441	711,68	711,65	717,12	1,368	6,44
0,0011	1,37	1,00	1,00	0,003059	14	-30	0,144563	0,170848	1,68339	0,00057	722,56	722,52	728,56	1,366	6,47
0,0014	1,43	1,00	1,00	0,004199	15	-29	0,140849	0,160036	1,640142	0,000724	734,56	734,50	741,21	1,364	6,49
0,0018	1,49	1,00	1,00	0,005647	16	-28	0,137243	0,149539	1,598157	0,000905	747,85	747,79	755,25	1,362	6,52
0,0022	1,56	1,00	1,00	0,007456	17	-27	0,133748	0,139364	1,557454	0,001116	762,64	762,56	770,88	1,361	6,55
0,0027	1,64	1,00	1,00	0,009688	18	-26	0,130364	0,129514	1,518054	0,001359	779,12	779,02	788,31	1,358	6,58
0,0033	1,72	1,00	1,00	0,012406	19	-25	0,127094	0,119994	1,479977	0,001638	797,51	797,38	807,76	1,356	6,61
0,0039	1,81	1,00	1,00	0,015681	20	-24	0,123939	0,11081	1,443239	0,001953	818,01	817,85	829,45	1,354	6,65
0,0046	1,91	1,00	1,00	0,019588	21	-23	0,120901	0,101965	1,407861	0,002308	840,88	840,68	853,60	1,351	6,69
0,0054	2,01	1,00	1,00	0,024205	22	-22	0,117981	0,093464	1,373857	0,002705	866,32	866,07	880,45	1,349	6,73
0,0063	2,13	1,00	1,00	0,029615	23	-21	0,115181	0,085312	1,341246	0,003144	894,57	894,26	910,22	1,346	6,78
0,0073	2,26	1,00	1,00	0,035903	24	-20	0,112501	0,077511	1,310043	0,003627	925,86	925,47	943,13	1,343	6,83
0,0083	2,40	1,00	1,00	0,043157	25	-19	0,109944	0,070066	1,280263	0,004155	960,40	959,91	979,39	1,340	6,88
0,0095	2,55	1,00	1,00	0,051467	26	-18	0,10751	0,06298	1,251922	0,004727	998,39	997,79	1019,20	1,337	6,93
0,0107	2,72	1,00	1,00	0,060921	27	-17	0,105201	0,056258	1,225032	0,005344	1040,02	1039,29	1062,74	1,334	6,99
0,0120	2,90	1,00	1,00	0,071608	28	-16	0,103017	0,049902	1,199607	0,006003	1085,46	1084,58	1110,15	1,331	7,04
0,0134	3,09	1,00	1,00	0,083614	29	-15	0,100961	0,043915	1,17566	0,006702	1134,84	1133,78	1161,56	1,328	7,10
0,0149	3,30	1,00	1,00	0,097019	30	-14	0,099032	0,038301	1,153202	0,007439	1188,28	1187,01	1217,06	1,325	7,16
0,0164	3,53	1,01	1,01	0,111898	31	-13	0,097232	0,033061	1,132245	0,008209	1245,84	1244,34	1276,69	1,322	7,22
0,0180	3,77	1,01	1,01	0,128316	32	-12	0,095562	0,028199	1,112798	0,009007	1307,54	1305,79	1340,46	1,319	7,28
0,0197	4,03	1,01	1,01	0,14633	33	-11	0,094023	0,023718	1,094871	0,009825	1373,38	1371,35	1408,33	1,316	7,33
0,0213	4,30	1,01	1,01	0,165981	34	-10	0,092615	0,019618	1,078474	0,010658	1443,28	1440,95	1480,19	1,313	7,39
0,0230	4,59	1,01	1,01	0,187296	35	-9	0,091339	0,015903	1,063614	0,011494	1517,11	1514,46	1555,90	1,310	7,44
0,0246	4,89	1,01	1,01	0,210284	36	-8	0,090195	0,012574	1,050298	0,012325	1594,68	1591,71	1635,22	1,308	7,50
0,0263	5,20	1,01	1,01	0,234934	37	-7	0,089185	0,009633	1,038533	0,013139	1675,75	1672,43	1717,88	1,305	7,55

0,0278	5,52	1,01	1,01	0,261212	38	-6	0,088308	0,007081	1,028325	0,013924	1760,00	1756,33	1803,53	1,303	7,60
0,0293	5,85	1,01	1,01	0,28906	39	-5	0,087566	0,00492	1,019679	0,014668	1847,05	1843,03	1891,75	1,301	7,65
0,0307	6,19	1,02	1,02	0,318396	40	-4	0,086958	0,00315	1,012599	0,015357	1936,45	1932,08	1982,07	1,299	7,69
0,0320	6,52	1,02	1,02	0,34911	41	-3	0,086485	0,001772	1,007089	0,015977	2027,69	2022,97	2073,95	1,297	7,73
0,0330	6,86	1,02	1,02	0,381063	42	-2	0,086146	0,000788	1,003151	0,016515	2120,21	2115,14	2166,79	1,295	7,77
0,0339	7,19	1,02	1,02	0,414094	43	-1	0,085943	0,000197	1,000788	0,016959	2213,37	2207,98	2259,95	1,294	7,81
0,0346	7,51	1,02	1,02	0,448011	44	0	0,085876	0	1	0,017295	2306,53	2300,83	2352,75	1,292	7,84
0,0350	7,82	1,02	1,02	0,482602	45	1	0,085943	0,000197	1,000788	0,017515	2398,97	2392,98	2444,49	1,291	7,88
0,0352	8,11	1,03	1,03	0,517632	46	2	0,086146	0,000788	1,003151	0,017609	2490,00	2483,73	2534,43	1,290	7,91
0,0351	8,38	1,03	1,03	0,55285	47	3	0,086485	0,001772	1,007089	0,01757	2578,87	2572,35	2621,87	1,289	7,93
0,0348	8,63	1,03	1,03	0,58799	48	4	0,086958	0,00315	1,012599	0,017395	2664,87	2658,12	2706,09	1,288	7,96
0,0342	8,85	1,03	1,03	0,62278	49	5	0,087566	0,00492	1,019679	0,017084	2747,31	2740,35	2786,42	1,287	7,98
0,0333	9,04	1,03	1,03	0,656948	50	6	0,088308	0,007081	1,028325	0,016638	2825,53	2818,39	2862,23	1,286	8,00
0,0321	9,20	1,04	1,03	0,690225	51	7	0,089185	0,009633	1,038533	0,016064	2898,93	2891,63	2932,96	1,285	8,01
0,0307	9,32	1,04	1,04	0,722353	52	8	0,090195	0,012574	1,050298	0,015371	2966,98	2959,55	2998,11	1,285	8,03
0,0291	9,41	1,04	1,04	0,753094	53	9	0,091339	0,015903	1,063614	0,014571	3029,24	3021,70	3057,30	1,284	8,04
0,0274	9,47	1,04	1,04	0,782235	54	10	0,092615	0,019618	1,078474	0,013679	3085,35	3077,72	3110,21	1,284	8,05
0,0254	9,49	1,04	1,04	0,809593	55	11	0,094023	0,023718	1,094871	0,012713	3135,06	3127,35	3156,64	1,283	8,06
0,0234	9,48	1,04	1,04	0,835018	56	12	0,095562	0,028199	1,112798	0,011692	3178,22	3170,46	3196,51	1,283	8,07
0,0213	9,44	1,04	1,04	0,858402	57	13	0,097232	0,033061	1,132245	0,010637	3214,80	3207,01	3229,83	1,283	8,08
0,0191	9,36	1,05	1,04	0,879677	58	14	0,099032	0,038301	1,153202	0,009569	3244,86	3237,06	3256,72	1,282	8,08
0,0170	9,26	1,05	1,05	0,898816	59	15	0,100961	0,043915	1,17566	0,008508	3268,58	3260,77	3277,40	1,282	8,09
0,0149	9,13	1,05	1,05	0,915833	60	16	0,103017	0,049902	1,199607	0,007474	3286,22	3278,42	3292,17	1,282	8,09
0,0130	8,98	1,05	1,05	0,93078	61	17	0,105201	0,056258	1,225032	0,006483	3298,116	3290,343	3301,396	1,282	8,09
0,0111	8,81	1,05	1,05	0,943746	62	18	0,10751	0,06298	1,251922	0,00555	3304,68	3296,94	3305,52	1,282	8,09
0,0094	8,63	1,05	1,05	0,954846	63	19	0,109944	0,070066	1,280263	0,004688	3306,36	3298,67	3305,01	1,282	8,09
0,0078	8,43	1,05	1,05	0,964222	64	20	0,112501	0,077511	1,310043	0,003904	3303,66	3296,02	3300,36	1,282	8,09
0,0064	8,22	1,05	1,05	0,97203	65	21	0,115181	0,085312	1,341246	0,003204	3297,07	3289,50	3292,10	1,282	8,09
0,0052	8,00	1,05	1,05	0,978438	66	22	0,117981	0,093464	1,373857	0,00259	3287,12	3279,62	3280,70	1,282	8,09
0,0041	7,78	1,05	1,05	0,983619	67	23	0,120901	0,101965	1,407861	0,002062	3274,29	3266,86	3266,67	1,282	8,08
0,0032	7,56	1,05	1,05	0,987742	68	24	0,123939	0,11081	1,443239	0,001614	3259,05	3251,70	3250,45	1,282	8,08
0,0025	7,33	1,05	1,05	0,990971	69	25	0,127094	0,119994	1,479977	0,001243	3241,84	3234,58	3232,45	1,283	8,08
0,0019	7,11	1,05	1,05	0,993458	70	26	0,130364	0,129514	1,518054	0,000941	3223,06	3215,88	3213,05	1,283	8,07
0,0014	6,89	1,05	1,05	0,995339	71	27	0,133748	0,139364	1,557454	0,000699	3203,05	3195,96	3192,58	1,283	8,07

0,0010	6,67	1,05	1,05	0,996738	72	28	0,137243	0,149539	1,598157	0,00051	3182,11	3175,11	3171,31	1,283	8,07
0,0007	6,45	1,05	1,05	0,997758	73	29	0,140849	0,160036	1,640142	0,000365	3160,50	3153,59	3149,47	1,283	8,06
0,0005	6,24	1,05	1,05	0,998488	74	30	0,144563	0,170848	1,68339	0,000256	3138,44	3131,62	3127,27	1,283	8,06
0,0004	6,04	1,05	1,05	0,999	75	31	0,148383	0,18197	1,72788	0,000176	3116,09	3109,37	3104,85	1,284	8,05

Таблица А6 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 7000 \text{ мин}^{-1}$

DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Тпре д	Т2ист ина	Средня я темпер атура на участке	k1-2	K1-2
1,3E-06	2,47254	1	1	0	0	-15	866,1366	866,1366	0,09605	0,0439	1,1866	6,5E-07	869,2227		
2,2E-05	2,5413	1	1	1,29E-06	1	-14	872,3089	872,328	0,09412	0,0383	1,1627	1,1E-05	875,3677	1,3472	6,7597
0,00011	2,60919	1	1	2,37E-05	2	-13	878,4264	878,4833	0,09231	0,0331	1,1405	5,3E-05	881,6078	1,3466	6,77
0,00031	2,67669	1	1	0,00013	3	-12	884,7893	884,8865	0,09064	0,0282	1,1198	0,00015	888,3093	1,346	6,7805
0,00068	2,74483	1	1	0,000436	4	-11	891,8294	891,9723	0,0891	0,0237	1,1008	0,00034	895,9816	1,3453	6,7916
0,00128	2,81516	1,0001	1	0,001112	5	-10	900,1338	900,3315	0,08769	0,0196	1,0834	0,00064	905,2895	1,3446	6,8042
0,00217	2,88987	1,0001	1,0001	0,00239	6	-9	910,4451	910,7115	0,08641	0,0159	1,0676	0,00109	917,0498	1,3437	6,8194
0,00342	2,97169	1,0002	1,0002	0,004562	7	-8	923,6544	924,0091	0,08527	0,0126	1,0534	0,00171	932,2201	1,3426	6,8383
0,00507	3,06392	1,0004	1,0003	0,007979	8	-7	940,7858	941,2543	0,08426	0,0096	1,0409	0,00254	951,8774	1,3412	6,8621
0,00719	3,1703	1,0007	1,0005	0,013052	9	-6	962,969	963,5826	0,08338	0,0071	1,0301	0,0036	977,1841	1,3394	6,8923
0,00981	3,29482	1,001	1,0008	0,020243	10	-5	991,3992	992,1938	0,08264	0,0049	1,0209	0,00491	1009,341	1,3373	6,9297
0,01297	3,44153	1,0015	1,0013	0,030057	11	-4	1027,284	1028,298	0,08203	0,0031	1,0134	0,00649	1049,53	1,3347	6,9751
0,01667	3,61424	1,0022	1,0018	0,043028	12	-3	1071,776	1073,048	0,08155	0,0018	1,0075	0,00834	1098,839	1,3317	7,0289
0,0209	3,81622	1,003	1,0026	0,059699	13	-2	1125,901	1127,464	0,08122	0,0008	1,0033	0,01045	1158,187	1,3284	7,0907
0,0256	4,04982	1,0041	1,0035	0,080597	14	-1	1190,472	1192,356	0,08101	0,0002	1,0008	0,0128	1228,242	1,3247	7,1597
0,03071	4,3162	1,0054	1,0047	0,106202	15	0	1266,012	1268,234	0,08094	0	1	0,01535	1309,341	1,3208	7,2342
0,03607	4,61498	1,0069	1,0061	0,136907	16	1	1352,67	1355,24	0,08101	0,0002	1,0008	0,01804	1401,414	1,3168	7,3125
0,04154	4,94403	1,0088	1,0078	0,17298	17	2	1450,158	1453,072	0,08122	0,0008	1,0033	0,02077	1503,923	1,3129	7,3925
0,04689	5,29929	1,0109	1,0098	0,21452	18	3	1557,689	1560,935	0,08155	0,0018	1,0075	0,02345	1615,82	1,309	7,472
0,05189	5,6747	1,0132	1,012	0,261413	19	4	1673,951	1677,508	0,08203	0,0031	1,0134	0,02594	1735,526	1,3054	7,549
0,05626	6,06231	1,0159	1,0145	0,313302	20	5	1797,101	1800,94	0,08264	0,0049	1,0209	0,02813	1860,952	1,302	7,622

0,05974	6,45248	1,0187	1,0173	0,369562	21	6	1924,802	1928,892	0,08338	0,0071	1,0301	0,02987	1989,554	1,299	7,6896
0,06206	6,83434	1,0217	1,0202	0,429298	22	7	2054,306	2058,611	0,08426	0,0096	1,0409	0,03103	2118,442	1,2963	7,7509
0,06304	7,19632	1,0249	1,0233	0,491361	23	8	2182,578	2187,064	0,08527	0,0126	1,0534	0,03152	2244,523	1,2939	7,8052
0,06252	7,52691	1,028	1,0265	0,554397	24	9	2306,469	2311,101	0,08641	0,0159	1,0676	0,03126	2364,691	1,2919	7,8524
0,06048	7,81544	1,0312	1,0296	0,616919	25	10	2422,913	2427,658	0,08769	0,0196	1,0834	0,03024	2476,028	1,2902	7,8924
0,05697	8,05287	1,0343	1,0327	0,677395	26	11	2529,142	2533,97	0,0891	0,0237	1,1008	0,02849	2576,012	1,2888	7,9255
0,05219	8,23257	1,0372	1,0357	0,734369	27	12	2622,882	2627,766	0,09064	0,0282	1,1198	0,0261	2662,702	1,2877	7,9521
0,04642	8,35076	1,0398	1,0385	0,786563	28	13	2702,522	2707,439	0,09231	0,0331	1,1405	0,02321	2734,868	1,2868	7,9726
0,04001	8,40679	1,0421	1,041	0,832984	29	14	2767,215	2772,145	0,09412	0,0383	1,1627	0,02001	2792,062	1,2862	7,9879
0,03336	8,40306	1,0442	1,0432	0,872994	30	15	2816,909	2821,837	0,09605	0,0439	1,1866	0,01668	2834,601	1,2858	7,9985
0,02685	8,34464	1,0459	1,045	0,906351	31	16	2852,294	2857,207	0,09811	0,0499	1,212	0,01342	2863,484	1,2855	8,0053
0,02081	8,23862	1,0472	1,0465	0,933198	32	17	2874,673	2879,562	0,10029	0,0562	1,239	0,01041	2880,229	1,2854	8,0089
0,01551	8,09329	1,0483	1,0477	0,954011	33	18	2885,786	2890,644	0,1026	0,063	1,2676	0,00775	2886,691	1,2853	8,01
0,01108	7,91733	1,0491	1,0487	0,96952	34	19	2887,595	2892,419	0,10504	0,07	1,2977	0,00554	2884,843	1,2853	8,0092
0,00758	7,71907	1,0496	1,0493	0,980603	35	20	2882,092	2886,877	0,1076	0,0775	1,3293	0,00379	2876,605	1,2854	8,007
0,00494	7,50595	1,05	1,0498	0,988178	36	21	2871,119	2875,866	0,11028	0,0853	1,3625	0,00247	2863,691	1,2856	8,0038
0,00307	7,28414	1,0502	1,0501	0,993119	37	22	2856,264	2860,972	0,11309	0,0934	1,3971	0,00153	2847,53	1,2857	7,9999
0,00181	7,05848	1,0504	1,0503	0,996186	38	23	2838,795	2843,466	0,11601	0,1019	1,4332	0,0009	2829,231	1,2859	7,9955
0,00101	6,83258	1,0505	1,0504	0,997993	39	24	2819,666	2824,299	0,11905	0,1108	1,4708	0,0005	2809,605	1,2861	7,9908
0,00053	6,60893	1,0505	1,0505	0,999	40	25	2799,545	2804,141	0,12221	0,12	1,5098	0,00026	2789,21	1,2863	7,986

Таблица А7 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 8000 \text{ мин}^{-1}$

DX1-2	P	m	m1-2	X	f	f1	Vст	s	y (f1)	X1-2	Tпред	Tист	T1-2	k1-2	K1-2
5,26E-08	0,93945	1	1	0	0	-40	660,512	660,512	0,1928	0,295	2,2539	2,6E-08	663,757		
1,06E-06	0,97375	1	1	5,26E-08	1	-39	667,002	667,002	0,1878	0,2814	2,1958	5,3E-07	670,301	1,37455	6,33968
5,5E-06	1,00956	1	1	1,11E-06	2	-38	673,599	673,6	0,1829	0,268	2,1389	2,8E-06	676,961	1,37343	6,355811
1,68E-05	1,04697	1	1	6,61E-06	3	-37	680,323	680,326	0,1782	0,2548	2,0831	8,4E-06	683,766	1,3723	6,372009
3,91E-05	1,08608	1	1,000001	2,34E-05	4	-36	687,209	687,215	0,1735	0,242	2,0284	2E-05	690,759	1,37117	6,388336
7,7E-05	1,12703	1	1,000002	6,26E-05	5	-35	694,309	694,318	0,1689	0,2294	1,9749	3,8E-05	697,999	1,37004	6,404884
0,000135	1,17001	1,00001	1,000005	0,00014	6	-34	701,688	701,703	0,1644	0,2171	1,9226	6,8E-05	705,561	1,36888	6,421776
0,00022	1,21522	1,00001	1,000011	0,000275	7	-33	709,433	709,454	0,1601	0,2051	1,8715	0,00011	713,54	1,3677	6,439168
0,000336	1,26294	1,00003	1,00002	0,000495	8	-32	717,647	717,676	0,1558	0,1933	1,8217	0,00017	722,05	1,36649	6,457245

0,00049	1,31348	1,00004	1,000034	0,000831	9	-31	726,452	726,49	0,1517	0,1819	1,7732	0,00024	731,221	1,36522	6,476222
0,000687	1,36721	1,00007	1,000055	0,00132	10	-30	735,991	736,041	0,1476	0,1708	1,7259	0,00034	741,208	1,36388	6,496335
0,000935	1,42458	1,0001	1,000085	0,002007	11	-29	746,425	746,489	0,1437	0,16	1,68	0,00047	752,18	1,36246	6,517842
0,00124	1,48609	1,00015	1,000127	0,002942	12	-28	757,935	758,017	0,1399	0,1495	1,6354	0,00062	764,328	1,36094	6,541014
0,001607	1,55232	1,00021	1,000182	0,004182	13	-27	770,72	770,824	0,1362	0,1393	1,5921	0,0008	777,859	1,35932	6,566123
0,002045	1,62393	1,0003	1,000255	0,005789	14	-26	784,998	785,128	0,1326	0,1295	1,5503	0,00102	793	1,35756	6,593439
0,002559	1,70164	1,0004	1,000349	0,007835	15	-25	801,001	801,162	0,1291	0,12	1,5098	0,00128	809,988	1,35567	6,623213
0,003156	1,78627	1,00053	1,000466	0,010394	16	-24	818,974	819,174	0,1258	0,1108	1,4708	0,00158	829,074	1,35363	6,655665
0,003841	1,87869	1,00069	1,000613	0,01355	17	-23	839,173	839,419	0,1226	0,1019	1,4332	0,00192	850,518	1,35143	6,690975
0,004619	1,97983	1,00089	1,000792	0,017391	18	-22	861,863	862,164	0,1195	0,0934	1,3971	0,00231	874,586	1,34908	6,729264
0,005495	2,09069	1,00113	1,001008	0,02201	19	-21	887,309	887,675	0,1165	0,0853	1,3625	0,00275	901,544	1,34659	6,770588
0,006473	2,21229	1,00141	1,001267	0,027505	20	-20	915,778	916,221	0,1137	0,0775	1,3293	0,00324	931,654	1,34394	6,814925
0,007556	2,34569	1,00174	1,001573	0,033978	21	-19	947,531	948,062	0,111	0,07	1,2977	0,00378	965,173	1,34117	6,862173
0,008743	2,49193	1,00213	1,001932	0,041534	22	-18	982,816	983,449	0,1084	0,063	1,2676	0,00437	1002,34	1,33829	6,912145
0,010036	2,652	1,00257	1,002349	0,050277	23	-17	1021,87	1022,61	0,106	0,0562	1,239	0,00502	1043,38	1,33531	6,964575
0,011432	2,82686	1,00309	1,002829	0,060313	24	-16	1064,9	1065,77	0,1037	0,0499	1,212	0,00572	1088,49	1,33227	7,019125
0,012926	3,01734	1,00367	1,003378	0,071745	25	-15	1112,08	1113,1	0,1015	0,0439	1,1866	0,00646	1137,83	1,3292	7,075395
0,014512	3,22413	1,00433	1,004001	0,084671	26	-14	1163,58	1164,75	0,0994	0,0383	1,1627	0,00726	1191,54	1,32611	7,132941
0,016181	3,44774	1,00507	1,004703	0,099183	27	-13	1219,5	1220,83	0,0975	0,0331	1,1405	0,00809	1249,7	1,32303	7,191286
0,017921	3,68843	1,0059	1,005489	0,115364	28	-12	1279,9	1281,4	0,0958	0,0282	1,1198	0,00896	1312,34	1,32	7,249945
0,019716	3,94618	1,00682	1,006361	0,133285	29	-11	1344,78	1346,47	0,0941	0,0237	1,1008	0,00986	1379,44	1,31704	7,308436
0,02155	4,22065	1,00783	1,007324	0,153001	30	-10	1414,1	1415,98	0,0927	0,0196	1,0834	0,01078	1450,92	1,31415	7,366296
0,023401	4,51111	1,00893	1,00838	0,174551	31	-9	1487,74	1489,81	0,0913	0,0159	1,0676	0,0117	1526,63	1,31138	7,423094
0,025246	4,81642	1,01013	1,009529	0,197953	32	-8	1565,52	1567,78	0,0901	0,0126	1,0534	0,01262	1606,34	1,30872	7,478441
0,027058	5,13502	1,01142	1,010774	0,223198	33	-7	1647,17	1649,63	0,089	0,0096	1,0409	0,01353	1689,76	1,30619	7,531996
0,028808	5,46488	1,0128	1,012112	0,250256	34	-6	1732,36	1735,01	0,0881	0,0071	1,0301	0,0144	1776,51	1,30379	7,58347
0,030466	5,8035	1,01428	1,013541	0,279064	35	-5	1820,67	1823,51	0,0873	0,0049	1,0209	0,01523	1866,14	1,30154	7,632623
0,032001	6,14793	1,01584	1,015058	0,309531	36	-4	1911,62	1914,65	0,0867	0,0031	1,0134	0,016	1958,13	1,29943	7,67927
0,033379	6,49483	1,01747	1,016656	0,341531	37	-3	2004,63	2007,84	0,0862	0,0018	1,0075	0,01669	2051,86	1,29747	7,723271
0,034569	6,84049	1,01918	1,018328	0,37491	38	-2	2099,09	2102,46	0,0858	0,0008	1,0033	0,01728	2146,68	1,29566	7,764531
0,035541	7,1809	1,02095	1,020066	0,409479	39	-1	2194,28	2197,81	0,0856	0,0002	1,0008	0,01777	2241,87	1,29399	7,802995
0,036266	7,51185	1,02277	1,02186	0,44502	40	0	2289,47	2293,15	0,0855	0	1	0,01813	2336,67	1,29246	7,838642
0,03672	7,82906	1,02462	1,023697	0,481286	41	1	2383,88	2387,69	0,0856	0,0002	1,0008	0,01836	2430,29	1,29106	7,871482
0,036885	8,12827	1,0265	1,025564	0,518006	42	2	2476,7	2480,64	0,0858	0,0008	1,0033	0,01844	2521,91	1,28979	7,901548

0,036746	8,40536	1,02839	1,027447	0,554891	43	3	2567,12	2571,17	0,0862	0,0018	1,0075	0,01837	2610,74	1,28865	7,928898
0,036296	8,65651	1,03027	1,029331	0,591636	44	4	2654,36	2658,51	0,0867	0,0031	1,0134	0,01815	2696	1,28762	7,953605
0,035538	8,87831	1,03213	1,031199	0,627933	45	5	2737,64	2741,88	0,0873	0,0049	1,0209	0,01777	2776,95	1,28671	7,975757
0,034478	9,06785	1,03395	1,033037	0,66347	46	6	2816,26	2820,58	0,0881	0,0071	1,0301	0,01724	2852,92	1,2859	7,995455
0,033135	9,22282	1,03571	1,034828	0,697949	47	7	2889,58	2893,97	0,089	0,0096	1,0409	0,01657	2923,31	1,28519	8,012811
0,031534	9,34163	1,03741	1,036558	0,731084	48	8	2957,05	2961,48	0,0901	0,0126	1,0534	0,01577	2987,62	1,28458	8,027941
0,029705	9,42336	1,03902	1,038212	0,762617	49	9	3018,2	3022,68	0,0913	0,0159	1,0676	0,01485	3045,46	1,28405	8,040971
0,027689	9,46789	1,04054	1,039779	0,792323	50	10	3072,71	3077,22	0,0927	0,0196	1,0834	0,01384	3096,53	1,28361	8,052029
0,025529	9,47576	1,04196	1,041247	0,820012	51	11	3120,35	3124,88	0,0941	0,0237	1,1008	0,01276	3140,69	1,28324	8,061248
0,023271	9,44826	1,04326	1,042609	0,84554	52	12	3161,02	3165,57	0,0958	0,0282	1,1198	0,01164	3177,89	1,28293	8,068762
0,020964	9,38723	1,04445	1,043857	0,868811	53	13	3194,76	3199,31	0,0975	0,0331	1,1405	0,01048	3208,23	1,2827	8,074706
0,018656	9,29509	1,04552	1,044989	0,889775	54	14	3221,69	3226,24	0,0994	0,0383	1,1627	0,00933	3231,89	1,28252	8,079213
0,016392	9,17466	1,04648	1,046002	0,90843	55	15	3242,09	3246,63	0,1015	0,0439	1,1866	0,0082	3249,18	1,28239	8,082416
0,014215	9,02907	1,04732	1,046899	0,924823	56	16	3256,28	3260,8	0,1037	0,0499	1,212	0,00711	3260,49	1,28231	8,084443
0,01216	8,86164	1,04805	1,047682	0,939038	57	17	3264,7	3269,2	0,106	0,0562	1,239	0,00608	3266,27	1,28227	8,085419
0,010256	8,67578	1,04867	1,048356	0,951198	58	18	3267,83	3272,31	0,1084	0,063	1,2676	0,00513	3267,02	1,28227	8,085464
0,008524	8,47485	1,04919	1,04893	0,961454	59	19	3266,2	3270,65	0,111	0,07	1,2977	0,00426	3263,29	1,2823	8,08469
0,006977	8,26211	1,04963	1,04941	0,969977	60	20	3260,37	3264,77	0,1137	0,0775	1,3293	0,00349	3255,62	1,28236	8,083205
0,005622	8,04063	1,04999	1,049807	0,976954	61	21	3250,87	3255,24	0,1165	0,0853	1,3625	0,00281	3244,57	1,28244	8,081107
0,004456	7,8132	1,05027	1,050129	0,982576	62	22	3238,27	3242,59	0,1195	0,0934	1,3971	0,00223	3230,66	1,28255	8,078485
0,003473	7,58234	1,0505	1,050387	0,987032	63	23	3223,06	3227,34	0,1226	0,1019	1,4332	0,00174	3214,39	1,28267	8,075422
0,00266	7,35025	1,05068	1,05059	0,990506	64	24	3205,73	3209,96	0,1258	0,1108	1,4708	0,00133	3196,21	1,28281	8,071991
0,002001	7,11879	1,05081	1,050747	0,993166	65	25	3186,7	3190,89	0,1291	0,12	1,5098	0,001	3176,53	1,28296	8,068254
0,001477	6,88955	1,05092	1,050866	0,995167	66	26	3166,36	3170,5	0,1326	0,1295	1,5503	0,00074	3155,7	1,28311	8,064268
0,001069	6,66379	1,05099	1,050955	0,996644	67	27	3145,04	3149,13	0,1362	0,1393	1,5921	0,00053	3134,02	1,28328	8,060081
0,000759	6,44252	1,05105	1,05102	0,997714	68	28	3123	3127,04	0,1399	0,1495	1,6354	0,00038	3111,74	1,28346	8,055731
0,000528	6,22651	1,05109	1,051067	0,998473	69	29	3100,48	3104,47	0,1437	0,16	1,68	0,00026	3089,07	1,28364	8,051252
0,000359	6,01633	1,05111	1,0511	0,999	70	30	3077,67	3081,61	0,1476	0,1708	1,7259	0,00018	3034,52	1,28382	8,046672

Таблица А8 - Результаты теплового расчета роторно-поршневого двигателя адаптированного для нужд малой авиации при $n = 9000 \text{ мин}^{-1}$

k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного	m_{1-2}	Характеристика тепловы-	Угол ПКВ от начала	Текущий угол ПКВ	Температура предпо-	Температура дейст-	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выделившегося	Средняя на участке
------	------	-------	----------	---------------------------	-----------	-------------------------	--------------------	------------------	---------------------	--------------------	----------------	---	--------	--------------------	--------------------

				изменения смеси		деления	горения		логарифмическая, К	вспомогательная				на участке тепла	температура, К
		2,88E-07	0,764991	1	1	0	0	-45	630,54	630,54	0,226	0,36705	2,5599	1,44E-07	591,18
1,389	6,14	4,32E-06	0,791988	1	1	2,88E-07	1	-44	551,82	636,70	0,2204	0,3522	2,4968	2,16E-06	554,75
1,397	6,03	1,87E-05	0,820442	1	1	4,6E-06	2	-43	557,67	643,16	0,2149	0,33757	2,4347	9,35E-06	560,69
1,396	6,05	5,03E-05	0,850271	1,000001	1,000001	2,33E-05	3	-42	563,70	649,80	0,2095	0,32318	2,3735	2,52E-05	566,84
1,394	6,07	0,000106	0,881615	1,000004	1,000002	7,37E-05	4	-41	569,97	656,67	0,2042	0,30903	2,3134	5,31E-05	573,26
1,393	6,09	0,000193	0,914644	1,000009	1,000006	0,00018	5	-40	576,55	663,86	0,199	0,29511	2,2542	9,65E-05	580,05
1,391	6,11	0,000318	0,949563	1,000019	1,000014	0,000373	6	-39	583,54	671,45	0,1939	0,28146	2,1962	0,000159	587,29
1,390	6,13	0,000487	0,986617	1,000035	1,000027	0,000691	7	-38	591,03	679,55	0,1889	0,26805	2,1392	0,000244	595,10
1,388	6,16	0,000708	1,026089	1,00006	1,000048	0,001178	8	-37	599,16	688,28	0,1839	0,25492	2,0834	0,000354	603,60
1,386	6,18	0,000987	1,068308	1,000097	1,000078	0,001886	9	-36	608,05	697,76	0,1791	0,24205	2,0287	0,000494	612,95
1,384	6,21	0,001331	1,113647	1,000147	1,000122	0,002873	10	-35	617,85	708,16	0,1744	0,22946	1,9752	0,000665	623,29
1,382	6,24	0,001745	1,162527	1,000215	1,000181	0,004204	11	-34	628,72	719,62	0,1698	0,21715	1,9229	0,000872	634,78
1,380	6,27	0,002235	1,21542	1,000304	1,00026	0,005948	12	-33	640,83	732,31	0,1652	0,20512	1,8718	0,001118	647,60
1,377	6,30	0,002808	1,272845	1,000419	1,000362	0,008184	13	-32	654,36	746,42	0,1608	0,1934	1,8219	0,001404	661,93
1,375	6,34	0,003468	1,33537	1,000563	1,000491	0,010992	14	-31	669,49	762,11	0,1566	0,18197	1,7734	0,001734	677,95
1,372	6,38	0,004219	1,403611	1,00074	1,000651	0,01446	15	-30	686,41	779,58	0,1524	0,17085	1,7261	0,00211	695,85
1,369	6,42	0,005065	1,478224	1,000956	1,000848	0,018679	16	-29	705,30	799,00	0,1483	0,16004	1,6802	0,002532	715,82
1,366	6,46	0,006008	1,559903	1,001215	1,001086	0,023744	17	-28	726,34	820,57	0,1444	0,14954	1,6355	0,003004	738,03
1,363	6,51	0,007049	1,649371	1,001523	1,001369	0,029751	18	-27	749,72	844,45	0,1406	0,13936	1,5923	0,003525	762,65
1,359	6,56	0,00819	1,747372	1,001884	1,001703	0,036801	19	-26	775,59	870,82	0,1369	0,12951	1,5504	0,004095	789,85
1,356	6,62	0,009427	1,854657	1,002303	1,002093	0,044991	20	-25	804,12	899,82	0,1333	0,11999	1,51	0,004714	819,78
1,352	6,68	0,010759	1,971973	1,002785	1,002544	0,054418	21	-24	835,44	931,58	0,1299	0,11081	1,4709	0,00538	852,55
1,349	6,74	0,012181	2,100042	1,003336	1,003061	0,065177	22	-23	869,66	966,23	0,1265	0,10197	1,4334	0,00609	888,27
1,345	6,80	0,013684	2,239544	1,003959	1,003648	0,077358	23	-22	906,89	1003,86	0,1233	0,09346	1,3972	0,006842	927,03
1,341	6,86	0,015261	2,391095	1,00466	1,00431	0,091042	24	-21	947,18	1044,52	0,1203	0,08531	1,3626	0,00763	968,87
1,338	6,92	0,016899	2,55522	1,005441	1,00505	0,106303	25	-20	990,57	1088,26	0,1174	0,07751	1,3294	0,008449	1013,81
1,334	6,98	0,018585	2,732328	1,006306	1,005873	0,123202	26	-19	1037,06	1135,06	0,1146	0,07007	1,2978	0,009293	1061,84
1,331	7,05	0,020303	2,922679	1,007257	1,006781	0,141787	27	-18	1086,61	1184,89	0,1119	0,06298	1,2677	0,010152	1112,88
1,327	7,11	0,022035	3,126358	1,008296	1,007776	0,16209	28	-17	1139,15	1237,68	0,1094	0,05626	1,2391	0,011017	1166,85
1,324	7,17	0,023759	3,343238	1,009424	1,00886	0,184125	29	-16	1194,55	1293,29	0,107	0,0499	1,2121	0,01188	1223,60
1,321	7,23	0,025454	3,57295	1,01064	1,010032	0,207884	30	-15	1252,65	1351,57	0,1048	0,04392	1,1866	0,012727	1282,95

1,318	7,28	0,027094	3,814855	1,011943	1,011291	0,233338	31	-14	1313,24	1412,30	0,1027	0,0383	1,1628	0,013547	1344,65
1,315	7,34	0,028655	4,068019	1,013329	1,012636	0,260432	32	-13	1376,05	1475,22	0,1007	0,03306	1,1405	0,014327	1408,42
1,313	7,39	0,03011	4,331189	1,014796	1,014063	0,289087	33	-12	1440,79	1540,03	0,0989	0,0282	1,1198	0,015055	1473,94
1,310	7,44	0,031432	4,602785	1,016337	1,015567	0,319197	34	-11	1507,09	1606,38	0,0972	0,02372	1,1008	0,015716	1540,83
1,308	7,49	0,032595	4,880895	1,017946	1,017141	0,350628	35	-10	1574,58	1673,89	0,0956	0,01962	1,0834	0,016297	1608,69
1,306	7,54	0,033575	5,163283	1,019614	1,01878	0,383223	36	-9	1642,80	1742,12	0,0942	0,0159	1,0676	0,016787	1677,06
1,304	7,58	0,034348	5,447413	1,021332	1,020473	0,416798	37	-8	1711,31	1810,62	0,093	0,01257	1,0534	0,017174	1745,46
1,302	7,62	0,034894	5,730482	1,02309	1,022211	0,451145	38	-7	1779,61	1878,90	0,0919	0,00963	1,0409	0,017447	1813,41
1,301	7,65	0,035196	6,009474	1,024876	1,023983	0,486039	39	-6	1847,20	1946,48	0,0909	0,00708	1,0301	0,017598	1880,38
1,299	7,69	0,035243	6,28122	1,026678	1,025777	0,521235	40	-5	1913,55	2012,82	0,0901	0,00492	1,0209	0,017622	1945,85
1,298	7,72	0,035027	6,542475	1,028482	1,02758	0,556479	41	-4	1978,15	2077,45	0,0895	0,00315	1,0134	0,017513	2009,33
1,296	7,75	0,034545	6,790004	1,030274	1,029378	0,591505	42	-3	2040,51	2139,84	0,0889	0,00177	1,0075	0,017273	2070,32
1,295	7,77	0,033802	7,020673	1,032042	1,031158	0,626051	43	-2	2100,12	2199,55	0,0886	0,00079	1,0033	0,016901	2128,34
1,294	7,79	0,032808	7,231541	1,033772	1,032907	0,659853	44	-1	2156,56	2256,11	0,0884	0,0002	1,0008	0,016404	2182,99
1,293	7,81	0,031579	7,419952	1,035452	1,034612	0,692661	45	0	2209,41	2309,15	0,0883	0	1	0,015789	2233,87
1,293	7,83	0,030135	7,583616	1,037068	1,03626	0,72424	46	1	2258,33	2358,30	0,0884	0,0002	1,0008	0,015068	2280,67
1,292	7,85	0,028504	7,72068	1,03861	1,037839	0,754375	47	2	2303,01	2403,28	0,0886	0,00079	1,0033	0,014252	2323,12
1,291	7,86	0,026717	7,829784	1,040069	1,03934	0,782879	48	3	2343,24	2443,88	0,0889	0,00177	1,0075	0,013359	2361,04
1,291	7,87	0,024808	7,910095	1,041437	1,040753	0,809597	49	4	2378,85	2479,92	0,0895	0,00315	1,0134	0,012404	2394,30
1,291	7,88	0,022814	7,961321	1,042706	1,042072	0,834405	50	5	2409,76	2511,32	0,0901	0,00492	1,0209	0,011407	2422,85
1,290	7,89	0,020771	7,983703	1,043874	1,04329	0,857218	51	6	2435,95	2538,08	0,0909	0,00708	1,0301	0,010386	2446,72
1,290	7,90	0,018718	7,977991	1,044937	1,044406	0,87799	52	7	2457,49	2560,23	0,0919	0,00963	1,0409	0,009359	2465,99
1,290	7,90	0,016691	7,945393	1,045895	1,045416	0,896708	53	8	2474,49	2577,89	0,093	0,01257	1,0534	0,008345	2480,81
1,290	7,91	0,014721	7,887517	1,046749	1,046322	0,913399	54	9	2487,13	2591,24	0,0942	0,0159	1,0676	0,007361	2491,38
1,290	7,91	0,012839	7,806299	1,047503	1,047126	0,92812	55	10	2495,63	2600,48	0,0956	0,01962	1,0834	0,006419	2497,95
1,289	7,91	0,011068	7,703922	1,04816	1,047831	0,940959	56	11	2500,27	2605,90	0,0972	0,02372	1,1008	0,005534	2500,81
1,289	7,91	0,009428	7,582737	1,048726	1,048443	0,952026	57	12	2501,35	2607,76	0,0989	0,0282	1,1198	0,004714	2500,27
1,290	7,91	0,007933	7,445184	1,049209	1,048968	0,961454	58	13	2499,18	2606,40	0,1007	0,03306	1,1405	0,003966	2496,64
1,290	7,91	0,006591	7,293718	1,049615	1,049412	0,969387	59	14	2494,10	2602,12	0,1027	0,0383	1,1628	0,003295	2490,28
1,290	7,90	0,005405	7,130746	1,049952	1,049784	0,975978	60	15	2486,45	2595,26	0,1048	0,04392	1,1866	0,002702	2481,50
1,290	7,90	0,004373	6,958571	1,050229	1,050091	0,981382	61	16	2476,552	2586,15	0,107	0,0499	1,2121	0,002186	2470,637
1,290	7,90	0,003489	6,779352	1,050453	1,050341	0,985755	62	17	2464,72	2575,08	0,1094	0,05626	1,2391	0,001745	2457,99
1,290	7,89	0,002745	6,595072	1,050631	1,050542	0,989245	63	18	2451,26	2562,35	0,1119	0,06298	1,2677	0,001373	2443,85
1,290	7,89	0,002128	6,407522	1,050772	1,050702	0,99199	64	19	2436,44	2548,24	0,1146	0,07007	1,2978	0,001064	2428,47

1,291	7,88	0,001625	6,218285	1,050881	1,050826	0,994118	65	20	2420,50	2532,97	0,1174	0,07751	1,3294	0,000813	2412,09
1,291	7,88	0,001222	6,028745	1,050964	1,050922	0,995743	66	21	2403,68	2516,77	0,1203	0,08531	1,3626	0,000611	2394,92
1,291	7,87	0,000905	5,840083	1,051027	1,050995	0,996966	67	22	2386,15	2499,84	0,1233	0,09346	1,3972	0,000452	2377,13
1,291	7,87	0,000659	5,6533	1,051073	1,05105	0,99787	68	23	2368,10	2482,33	0,1265	0,10197	1,4334	0,000329	2358,89
1,292	7,86	0,000472	5,469221	1,051107	1,05109	0,998529	69	24	2349,67	2464,39	0,1299	0,11081	1,4709	0,000236	2340,32
1,292	7,85	0,000332	5,28852	1,051131	1,051119	0,999	70	25	2330,97	2446,13	0,1333	0,11999	1,51	0,000166	2321,53