

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Повышение эффективности рабочего процесса двигателя ВАЗ

Студент

Д.С. Масленников

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.Н. Брега

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

к.т.н., Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тольятти 2017

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

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Зав. кафедрой ЭМиСУ

\_\_\_\_\_ Д.А. Павлов  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение бакалаврской работы**

Студент Масленников Дмитрий Сергеевич

1. Тема Повышение эффективности рабочего процесса двигателя ВАЗ

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

3. Исходные данные к бакалаврской работе  $V_L = 1.5$  л;  $n_N = 5600$  мин<sup>-1</sup>;  $i = 4$  – число цилиндров; частота вращения  $n_N = 5600$  мин<sup>-1</sup>; Степень сжатия  $\epsilon = 10,5$ .

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

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

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

7. Дата выдачи задания « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Руководитель бакалаврской работы \_\_\_\_\_

(подпись)

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

(подпись)

Д.С. Масленников

(И.О. Фамилия)

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

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Зав. кафедрой ЭМиСУ

\_\_\_\_\_ Д.А. Павлов  
(подпись) (И.О. Фамилия)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН  
выполнения бакалаврской работы**

Студента Масленникова Дмитрия Сергеевича  
по теме Повышение эффективности рабочего процесса двигателя ВАЗ

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

Руководитель бакалаврской работы

\_\_\_\_\_ (подпись)

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ (подпись)

Д.С. Масленников

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Повышение эффективности рабочего процесса в бензиновых двигателях является значимой и актуальной задачей над которой работают многие автопроизводители. В бакалаврской работе представлен способ повышения эффективности рабочего процесса с помощью применения добавки водорода, позволяющей активировать процесс сгорания и повысить его эффективность на частичных нагрузках. Как показывают многие исследователи, эффективность процесса сгорания повышается при смещении рабочего процесса в область с бедной смесью.

По этому в данном бакалаврской работе представлены результаты проектирования 8 клапанного двигателя ВАЗ-2111 с рабочим 1,5 л с повышенной эффективностью процесса сгорания. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обоснование эффективности применения добавки водорода в бензиновых двигателях.
- Тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, где проведен расчет основных параметров проектируемого двигателя.
- Кинематический расчет показывает изменение кинематических параметров поршневой группы.
- Динамический расчет, где определяются силы и нагрузки действующие в кривошипно-шатунном механизме, а также условия для уравнивания двигателя.
- В разделе специальной части, проведен анализ эффективности спроектированного двигателя.

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

The graduation work deals with the efficiency increasing of the working process in gasoline engines is a significant and urgent task over which many automakers are working. The graduation work touches upon presents a way to increase the efficiency of the working process by using the hydrogen additive, which allows activating the combustion process and increasing its efficiency at partial loads.

Therefore, in this graduation work, the results of designing the 8-valve VAZ-2111 engine with a working capacity of 1.5 liter with a system are presented to increase the efficiency of the combustion process. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- Thermal account and heat balance of the engine, where the accounts of the main parameters of the engine are designed.
- Kinematic account shows the change in the kinematic parameters of the piston group.
- In the section of the special section, an analysis is made of the effectiveness of the use of hydrogen with its additives at various regimes.

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

In the section, the analysis of efficiency of application, of hydrogen in its additives in different modes.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
1 Обзор источников по проблеме повышения эффективности процесса сгорания в ДВС с искровым зажиганием .....	7
1.1 Пути и способы повышения эффективности процесса сгорания в ДВС с искровым зажиганием .....	7
1.2 Обзор литературы по теме работы на иностранном языке.....	12
2 Тепловой расчет двигателя.....	21
3 Расчет кинематики и динамики двигателя.....	33
3.1 Кинематический расчет.....	33
3.2 Динамический расчет.....	33
4 Описание конструкции модернизированного двигателя .....	39
5 Безопасность и экологичность объекта бакалаврской работы .....	40
5.1 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов, объекта разработки бакалаврской работы .....	40
5.2 Шумность при работе ДВС с новыми впускными каналами и компактной камерой сгорания.....	41
5.3 Эффективность применения новой камеры сгорания и впускных каналов.....	41
5.4 Выводы по разделу безопасность и экологичность.....	42
Заключение .....	43
Список использованных источников.....	44
Приложение А - Результаты теплового расчета.....	46
Приложение Б - Результаты динамического расчета .....	68
Приложение В - Результаты расчетов сил действующих в КШМ .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Снижение токсичности отработавших газов (ОГ) при улучшении топливной экономичности и сохранении мощностных показателей остается наиболее актуальной проблемой современного двигателестроения. Регулярное ужесточение законодательных требований к выделению автомобилями вредных веществ служит стимулом для постоянных исследований в этом направлении. Основными токсичными компонентами продуктов сгорания являются оксид углерода (СО), несгоревшие углеводороды (СН), оксиды азота (NO). Наиболее сложен комплекс мер, направленных на снижение выделения СН, как продукта неполного сгорания, совместно с оксидами азота. Поэтому снижение токсичности при соблюдении современных норм образования углеводородов и оксидов азота в цилиндре двигателя внутреннего сгорания (ДВС) весьма актуально.

В современном автомобилестроении существуют различные тенденции решения проблем экологической безопасности. Разрабатываются автомобили с электроприводом, однако в настоящее время электропривод, как силовой агрегат автомобиля, не заменит традиционный ДВС в силу недостаточного уровня потребительских качеств. Применение альтернативных топлив не решает полностью проблем токсичности автомобильных двигателей и сдерживается проблемами, связанными с инфраструктурой и дороговизной этих технологий. Широко распространенные системы каталитической нейтрализации ОГ с использованием благородных металлов являются дорогостоящими и снижают эффективность работы двигателя.

Наиболее эффективные методы снижения токсичности ДВС связаны с комплексным воздействием как на рабочий процесс, т.е. непосредственно на причины образования токсичных веществ, так и направленные на очистку выхлопных газов. Такие способы связаны с осуществлением рабочего процесса на бедных смесях при различных способах интенсификации сгорания и сохранении эффективности. В частности, применением расслоения топливно-воздушного заряда. Этот способ не требует значительного усложнения конструкции автомобиля и не ухудшает безопасность.

# 1 Обзор источников по проблеме повышения эффективности процесса сгорания в ДВС с искровым зажиганием

## 1.1 Пути и способы повышения эффективности процесса сгорания в ДВС с искровым зажиганием

Повышение эффективности процесса сгорания в бензиновых ДВС может осуществляться различными подходами, а именно:

- применение непосредственного впрыска топлива в цилиндр, но такое техническое решение связано со значительным удорожанием двигателя и затрат на его проектирование, также имеется непосредственная зависимость с уровнем развития машиностроения, т.к. непосредственный впрыск требует высокую точность изготовления деталей форсунок, а это требует как правило обновления парка станков, что часто не является возможным в связи с санкциями;
- применение наддува, это известный и хорошо отработанный способ повышения эффективности рабочего процесса в дизельных двигателях, но для малолитражных ДВС в России, по технологическим причинам, компрессоры не выпускают, а закупать иностранные экономически не выгодно;
- применение активирующих добавок в топливо, этот подход известен и хорошо изучен, но и здесь есть свои недостатки, а именно, при добавке газового активатора горения, требуется размещение второй системы питания и алгоритм смешивания топлива, а жидкие активаторы горения либо повышают токсичность выше допустимых норм, либо приводят к нестабильности топлива и как следствие его расслаивание, отложения которые негативно влияют на состояние топливной системы и условий сгорания в цилиндре двигателя, по этому этот способ повышения эффективности процесса сгорания серийно никто в мире не применяет;

- повышение степени сжатия, здесь только одно ограничение это появление детонации при работе, что может свести на нет все положительные эффекты данного решения;
- и последний это создание условий для более быстрого и стабильного сгорания топливно-воздушной смеси в цилиндре двигателя, данный подход технологически не ограничивается уровнем развития машиностроения и позволяет проявить инженеру свои навыки и способности в полной мере, рассмотрим этот способ повышения эффективности процесса сгорания подробнее.

Анализ литературы показал, что наиболее эффективными способами повысить эффективность процесса сгорания является модернизация камеры сгорания и создание в цилиндре двигателя устойчивого вихревого движения заряда при впуске, которое обеспечит свой вклад на процесс сгорания. Рассмотрим эти технические решения по порядку и предложим свое видение по возможностям модернизации двигателя ВАЗ-2112.

В работе представленной инженерами корпорации Мазда показано, что классическая шатровая камера имеет ряд недостатков, связанных со значительным количеством смеси догорающей в удаленных частях камеры в процессе расширения, что снижает эффективность процесса сгорания и ограничивает степень сжатия. На рисунке 1.1 представлено сравнение базовой шатровой камеры и предложенной для модернизации компактной шатровой камерой, в которой часть камеры сгорания размещается в поршне, что позволяет снизить её габариты, а также значительно увеличить площадь вытеснителей. Данная модернизация позволила сократить продолжительность процесса сгорания, как это представлено на рисунке 1.2, где показано сокращение продолжительности всех фаз сгорания. Помимо сокращения фаз сгорания была повышена детонационная стойкость, что позволило подбирать более оптимальные углы опережения зажигания, что в сумме позволило поднять мощность двигателя при прочих равных условиях на 5-9%, что является заслуживающим внимания результатом.



Обычная шатровая

Компактная шатровая

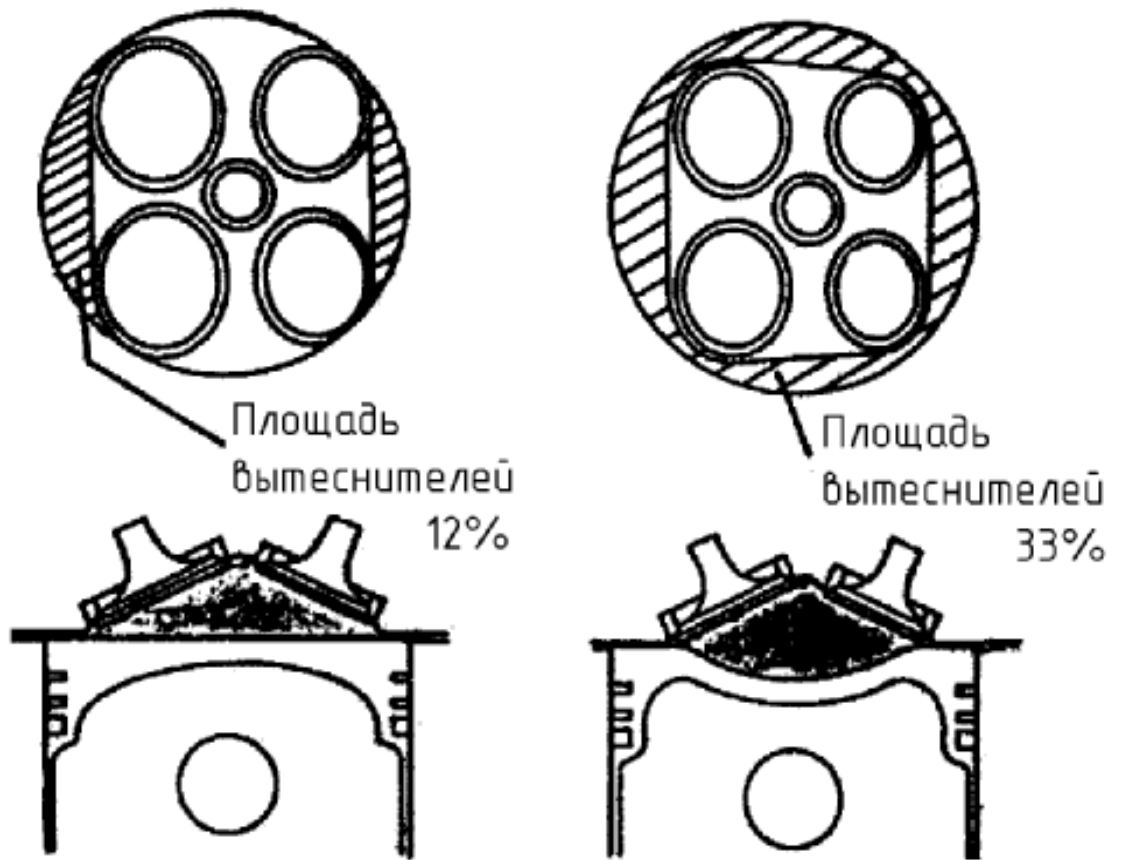


Рисунок 1.1 - Сравнение формы камеры сгорания.

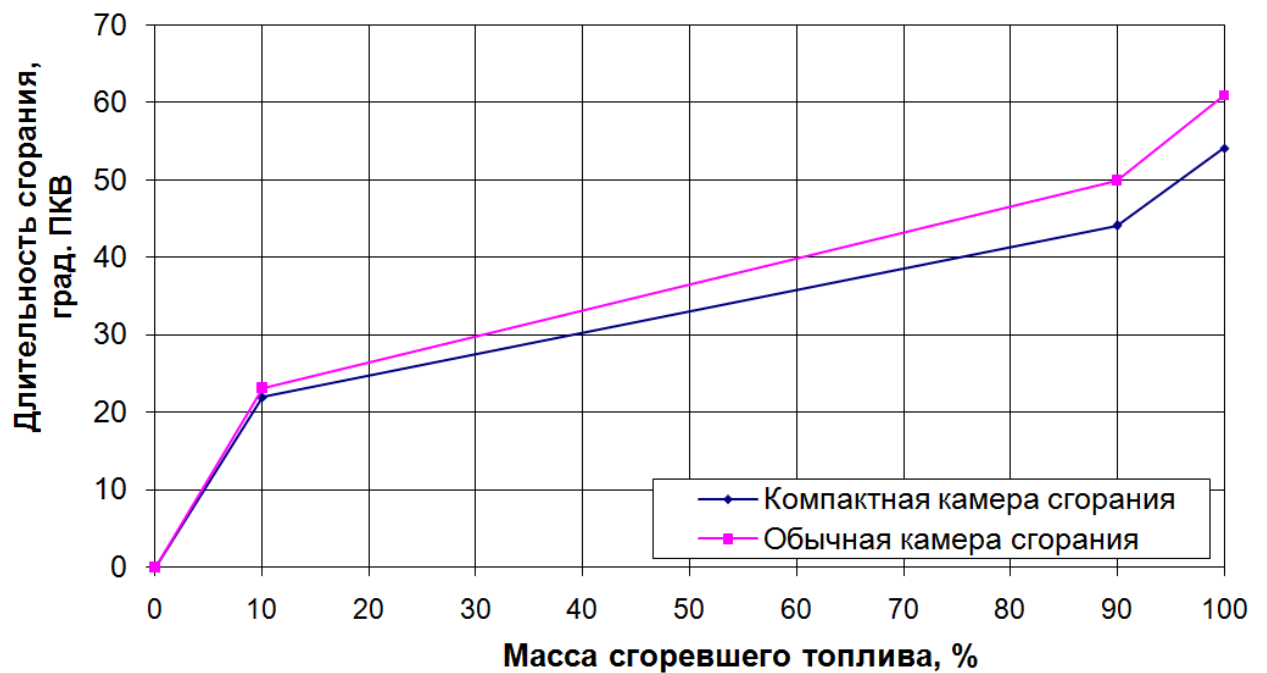


Рисунок 1.2 - Длительность сгорания компактной камеры сгорания по сравнению с обычной шатровой камерой сгорания.

В работе [4,6] авторами проведен анализ влияния вихревого движения заряда на условия состояния потока в процессе сгорания и их влияние на эффективность процесса горения. Для этого было предложено провести анализ пяти вариаций условий работы клапанов при впуске, как это представлено на рисунке 1.3.

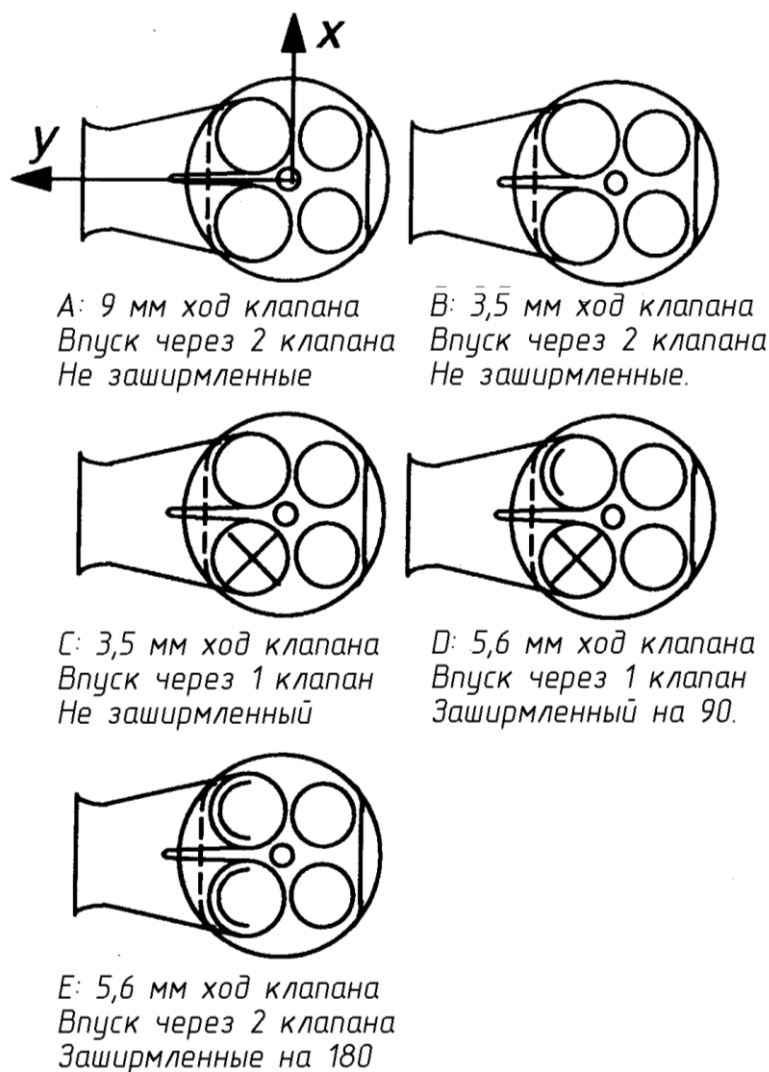


Рисунок 1.3 - Пять вариаций условий работы клапанов при впуске

В итоге получено что в зависимости от параметров потока на впуску изменяются характеристики вихревого движения потока в конце сжатия, как это показано на рисунке 1.4. При этом следует отметить что при классическом впуске к концу процесса сжатия из-за диссипации потока устойчивых вихрей практически не остается. В тоже время при других компоновках возможно образования горизонтального вихря который отвечает за конвективный перенос и

практически не разрушается в процессе сжатия расширения, и вертикальный вихрь, показанный на рисунке 1.4, интенсивность которого зависит от условий сжатия, а также одним из значимых эффектов этого вихря является его разрушение в конце сжатия и в процессе сгорания с образованием значительного количества турбулентных пульсаций, что повышает скорость сгорания и его полноту.

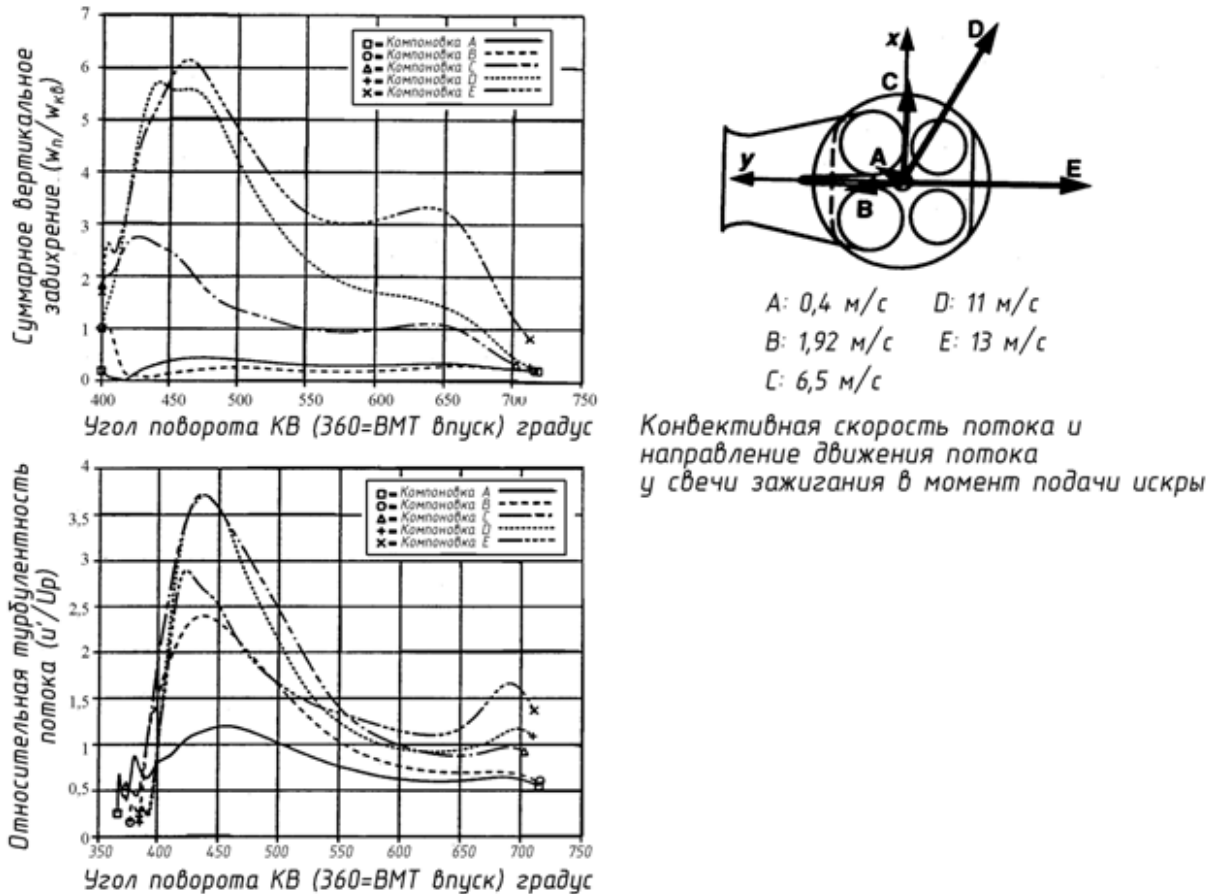


Рисунок 1.4 - Сравнение характеристик вертикального вихря для представленных компоновок системы впуска

В результате проведено сравнение характеристик сгорания при пятой компоновке, представленное на рисунке 1.5, когда образуется максимальный вертикальный вихрь и первой в которой вихрь практически сразу начинает распадаться и не доживает до процесса сгорания. Из рисунка видно, что наличие вертикального вихря значительно повышает эффективность сгорания, снижает его продолжительность и повышает КПД двигателя.

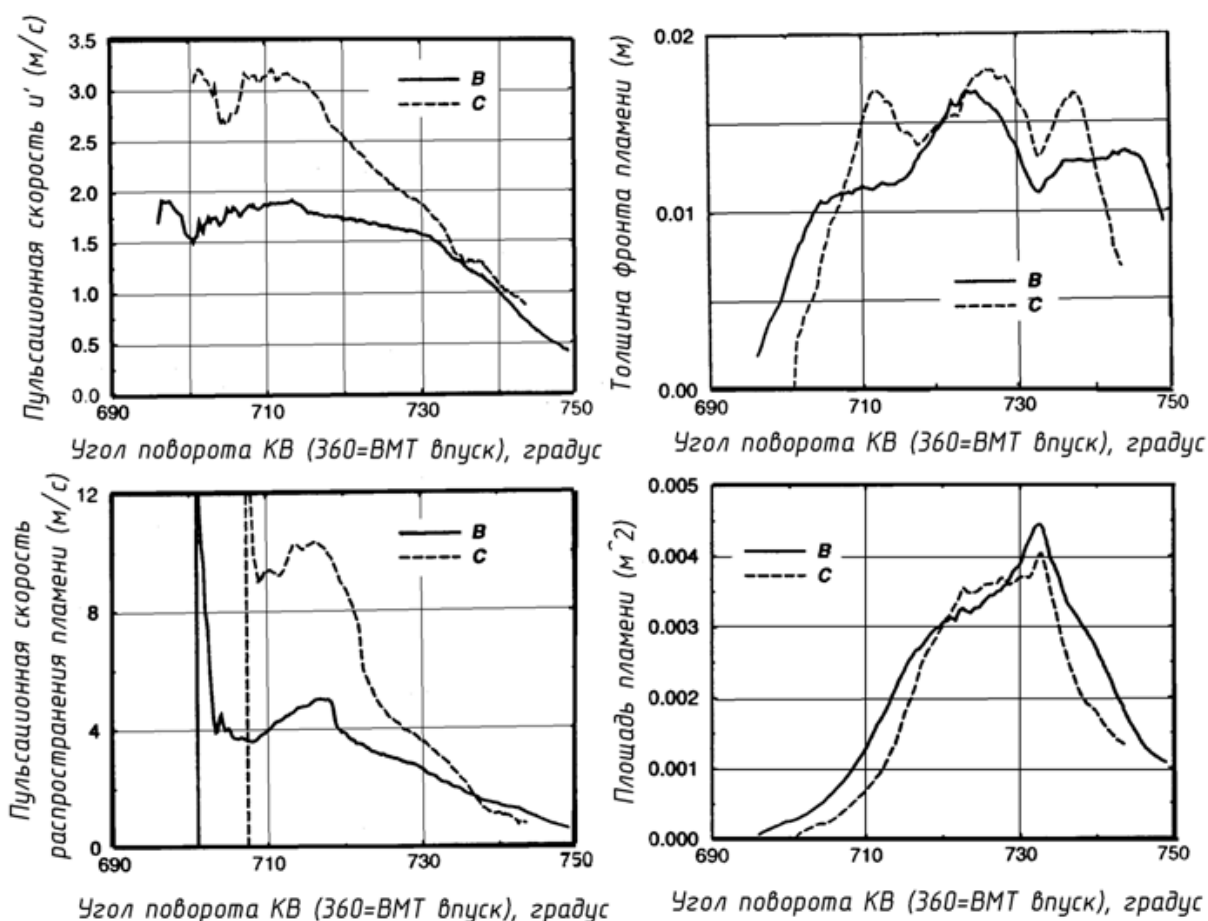


Рисунок 1.5 - Сравнение характеристик сгорания для первой и пятой компоновки системы впуска

## 1.2 Обзор литературы по теме работы на иностранном языке

### Оригинал и перевод научного текста

Numerical Analyses of the Combustion Process in a Spark-Ignition Engine	Численные Анализы Процесса сгорания в двигателе с искровым зажиганием
<p>Abstract</p> <p>The development and optimization of internal combustion engines requires the application of advanced development tools. In addition to experimental methods, numerical calculations are needed in order to obtain an insight into the complex in-cylinder processes. In this context, the modeling of the combustion phenomena represents an important aspect. Therefore the objective of this paper is to present numerical methods to analyse the combustion process in premixed spark-ignition en-</p>	<p>Реферат</p> <p>Разработка и оптимизация двигателей внутреннего сгорания требует применения передовых инструментов разработки. В дополнение к экспериментальным методам, численные расчеты необходимы для того, чтобы получить представление о сложных процессах в цилиндре. Важным аспектом в этом контексте представляет собой, моделирование явлений горения. Поэтому целью данной работы является представление численных методов для анализа горения Процесс в предварительно смешан двигателей с искровым зажиганием.</p> <p>Исследования проводились в 6-цилиндровом 2,8</p>

gines.

The investigations were performed in a 6-cylinder 2.8 l SI-engine running at wide open throttle. The numerical calculations were performed using the finite volume CFD code STAR-CD. The mesh generation process, including the description of the piston and the valve motion, was automated using ICE. Combustion in the present study was treated with the one-equation Weller flamelet model. This model was implemented in Star-CD. The mass fractions of the combustion products were assumed to follow the local and instantaneous thermodynamic equilibrium values. The equilibrium composition of the cylinder charge was calculated according to Olikara/Borman. Eleven species were considered: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, H, O, N, H<sub>2</sub>, OH, CO and NO. Isooctane was used as fuel. For the calculation of the convective heat transfer during the combustion process a further submodel for the calculation of the heat transfer coefficient was used.

In this work, different operating conditions were analysed. For all operating conditions the gas exchange process and the combustion process were calculated. Every calculation started 40° CA BTDC and finished when the combustion was completed. The boundary conditions were gained by experimental investigations.

For the verification of the combustion model, calculated cylinder pressure data and mass fractions burned are compared to experimental results. The results of the combustion process are discussed for different engine speeds and equivalence ratios. This discussion reveals that the combustion model used shows encouraging results. The comparison of the calculated and measured in-cylinder pressure indicates good agreement for equivalence ratios between 0.87 and 1.25 and engine speeds up to 3000 r/min. The shape of the predicted flame appears to be reasonable.

#### INTRODUCTION

Due to increasing market demands, there is a great need to design and develop cleaner and optimized spark-ignition engines in ever shorter time periods. The ex-

л SI-двигатель работает при полностью открытой дроссельной заслонке. Численные расчеты проводились с использованием конечного объема CFD кода STAR-CD. Процесс генерации сетки, в том числе.

Описание поршня и движение клапана, было автоматизировано с помощью ICE. Горение в настоящем исследовании, обрабатывали с одним уравнением Weller модели пламягаситель. Эта модель была реализована в Star-CD. Предполагалось, что продукты сгорания массовые фракции следовать местным и мгновенные термодинамические равновесные значения.

Равновесный состав заряда цилиндра рассчитан в соответствии с Olikara / Борман. Одиннадцать видов считается: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, H, O, N, H<sub>2</sub>, OH, CO и NO. Изооктан был использован в качестве топлива. Для расчета из конвективный теплообмен в процессе сгорания был использован еще один подмоделью для расчета теплопередачи коэффициента. В данной работе были проанализированы различные условия эксплуатации. Для всех рабочих условий были рассчитаны процессы газообмена и процесс горения. Каждый расчет начал 40 ° CA ВМТ и законченной, когда горение было выполнено. Граничные условия были получены экспериментальные исследования.

Для проверки модели сгорания, являются расчетные данные о давлении в баллоне и массовые доли сожженных по сравнению с экспериментальными результатами. Результаты процесса горения обсуждаются на разных частотах вращения двигателя и отношения эквивалентности. Это обсуждение показывает, что модель горения используется и показывает обнадеживающие результаты. Сравнение вычисленных и измеренных давлений в цилиндре указывает на хорошее согласие для эквивалентных отношений между 0,87 и 1,25 и числа оборотов двигателя до 3000 об / мин. Форма предсказанного пламени представляется разумным.

#### ВВЕДЕНИЕ

Из-за растущего спроса на рынке, есть большая потребность в проектировании и разработке экологически чистой и оптимизированный с искровым зажиганием во все более короткие периоды времени. Точное понимание физических и химических процессов необходимо ускорить процесс проектирования. Кроме последних оптических методов диагностики [1, 2, 3], численные методы обеспечивают улучшенное проникновение в комплекс в цилиндре процессы. Благодаря использо-

act understanding of the physical and chemical processes is necessary to speed up the design process.

Beside latest optical diagnostic techniques [1, 2, 3], numerical methods provide an improved insight into the complex in-cylinder processes. Through the use of 3-dimensional CFD simulations the amount of manufacturing and testing of prototypes can be reduced. The success in meeting this goal is first of all based on the adequate modeling of the different engine processes.

Of these processes, the numerical simulation of

the combustion process has one of the highest levels of complexity. Several processes and parameters of interest like specific NO-emissions, knock tendency or lean burn limit depend on the adequate modeling of the combustion process. Numerous models can be found in the literature treating the problem of premixed combustion [4, 5, 6, 7]. Most authors using these models concentrate their investigations on the analyses of a single operating point or a narrow range of operating points [8, 9, 10]. A comparison of numerical investigations to experimental results, e.g. under a wide range of different engine speeds

are difficult to find [11]. For this purpose, in the present study a flamelet combustion model [12] has been tested against experimental results under a wide range of different engine conditions. The combustion process was investigated in a DaimlerChrysler 2.8 l SI-engine. The following sections will describe the experimental and numerical setups utilized. A brief review of the theory behind the combustion model used for the simulations will be presented. The results will be discussed and necessary improvements to the combustion model will be shown.

## CONCLUSIONS

The premixed combustion process in a 2.8 l SI-engine has been simulated using a modified STAR-CD code. The flamelet combustion model used for the calculations has been tested against experimental results under a wide range of different en-

ванию 3-мерного CFD моделирования, количество производства и испытаний опытных образцов может быть уменьшено. Успех в достижении этой цели, прежде всего, на основе адекватного моделирования различных процессов двигателя. Из этих процессов, численное моделирование процесс сгорания имеет один из самых высоких уровней сложности. Несколько процессов и параметры, представляющие интерес как конкретные NO-выбросов, постучать тенденцию или постное ожог обработать предел зависит от адекватного моделирования горения. Многочисленные модели можно найти в литературе рассматривая проблему предварительно перемешанного горения [4, 5, 6, 7]. Большинство авторов, использующих эти модели, сконцентрировали свои исследования по анализу одной рабочей точки или узкого диапазона рабочих точек [8, 9, 10]. Сравнение численных исследований результатов с экспериментальными, например, в широком диапазоне различных скоростей двигателя трудно найти [11]. Для этой цели в настоящем исследовании Aflamelet модель горения [12] была испытана против

экспериментальные результаты в широком диапазоне различных Условия работы двигателя. Процесс горения был исследовалось в DaimlerChrysler 2,8 л SI-двигателя. В следующих разделах будут описаны экспериментальные и численные расстановок используется. Краткий обзор теории позади модели сгорания, используемые при моделировании будет представлен.

## ВЫВОДЫ

Процесс горения был смоделирован в СИ-двигатель 2,8 л с использованием модифицированного CD-код предварительно смешивают звездотрясения. Модель горения flamelet используется для Расчеты были проверены на экспериментальных результатах в широком диапазоне различных условий работы двигателя. Эта исследование приводит к выводу о том, что модель горения протестирована и показывает обнадеживающие результаты. Сравнение расчетных и измеренных входов давление в цилиндре указано на хорошее согласие для отношения эквивалентности между 0,87 и 1,25 и двигателем со скоростью до 3000 об / мин. Предсказанная форма пламя оказалась разумной. Расчеты на более высоких оборотах двигателя показали, что модель необходима для моделирования горения и дальнейшее развитие воспламенения и горения процесс при более высоких оборотах двигателя. Дальнейшие

<p>gine conditions. This study leads to the conclusion that the combustion model tested shows encouraging results. A comparison of the calculated and measured in-cylinder pressure indicated good agreement for equivalence ratios between 0.87 and 1.25 and engine speeds up to 3000 r/min. The shape of the predicted flame appeared to be reasonable. Calculations at higher engine speeds showed that further development of the ignition and combustion model is necessary for the simulation of the combustion process at higher engine speeds. Further investigations showed that the use of the combustion model for the calculation of the partially premixed combustion in a Gasoline Direct Injection Spark-Ignition engine also seems to be very promising [17]. At the “Institut für Kolbenmaschinen” of the University of Karlsruhe this work is currently in progress.</p>	<p>исследования показали, что использование модели для горения в Предварительный расчет частично перемешанной смеси горения в бензиновом двигателе с непосредственным впрыском с искровым зажиганием также представляется весьма перспективным [17]. В "Institut für Kolbenmaschinen" Университета Карлсруэ эта работа в настоящее время в стадии разработки.</p>
<p>Homogeneous charge compression ignition engine: a simulation study on the effects of inhomogeneities</p>	<p>Гомогенный заряд с воспламенением от сжатия в двигателе: симуляция исследования влияния неоднородностей</p>
<p><b>ABSTRACT</b> A new stochastic model for the HCCI engine is presented. The model is based on the PaSPFR-IEM model and accounts for inhomogeneities in the combustion chamber while including a detailed chemical model for natural gas combustion consisting of 53 chemical species and 590 elementary chemical reactions. With this model the effect of temperature differences caused by the thermal boundary layer and crevices in the cylinder for a particular engine speed and fuel to air ratio is studied. The boundary layer is divided into a laminar film layer and a turbulent buffer zone. There are also colder zones due to crevices. All zones are modeled by a characteristic temperature distribution. The simulation results are compared with experiments and a previous numerical study employing a PFR model. In all cases the PaSPFR-IEM model leads to a better agreement between simulations and experiment for temperature and pressure. In addition a sensitivity study on the effect of different intensities of turbulent mixing in the combustion is performed. This study</p>	<p>Реферат Представлена новая модель стохастической для двигателя HCCI. Модель основана на модели PaSPFR-IEM и учитывает неоднородности в камере сгорания в во время, включая детальные данные по химической модели для сжигания природного газа, состоящий из 53 видов химических веществ и 590 элементарных химических реакций. Наряду с этой моделью изучается действие разниц температур, вызванных тепловым пограничным слоем и трещинами в цилиндрах для определенной частоты вращения двигателя и отношение топлива воздуха. Пограничный слой разделяется на слой ламинарный пленки и турбулентный буферной зоны. Есть также более холодные зоны из-за расщелины. Все зоны моделируются характерной температурой распределения. Результаты моделирования сравниваются с экспериментом и предыдущего численного исследование с использованием ПФР модель. Во всех случаях PaSPFR-IEM модель приводит к лучшему согласованию между моделированием и экспериментом для температуры и давления. Кроме того в исследование чувствительности на влияние различной интенсивности турбулентного перемешивания выполняется в результате сгорания. Это исследование показывает, что задержка</p>

reveals that the ignition delay is a function of turbulent mixing of the hot bulk and the colder boundary layer.

#### INTRODUCTION

The Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) engine is a promising alternative to the existing Spark Ignition (SI) engines and Compression Ignition (CI) engines.

As in a diesel engine, the fuel is exposed to sufficiently high temperature for autoignition to occur, but for HCCI a homogeneous fuel/air mixture is used. The homogeneous mixture is created in the intake system as in a SI engine, using a low-pressure injection system or by direct injection with very early injection timing.

To limit the rate of combustion, very diluted mixtures have to be used. Compared to the diesel engines the HCCI has a nearly homogeneous charge and virtually no problems with soot and NO<sub>x</sub> formation. On the other hand HC and CO levels are higher than in conventional SI engines. Overall, the HCCI engine shows high efficiency and fewer emissions than conventional internal combustion engines. The efficiency of the HCCI engine has previously been shown by a number of experiments. Parts of the experiments have been complemented by numerical studies modeling the engine as a plug flow reactor (PFR) [1][2]. In these simulations the ignition delay times for a set of different parameters were investigated. The results indicate that local inhomogeneities are responsible for differences between measurements and simulation results. One way of accounting for these inhomogeneities is to use multiple zones to model boundary layer effects. Such work has recently been performed using a 10 zone-model for the HCCI engine [12]. Another way is to use a model that is based on the probability density function of the physical variables that are important in the combustion process. If one wishes to study chemical reactions in detail, simplifying assumptions have to be introduced because the numerical cost to solve a model that describes chemistry and all aspects of flow would be too high.

#### CONCLUSION

зажигания является функцией турбулентное перемешивание горячей массы и более холодный пограничный слой.

#### ВВЕДЕНИЕ

Гомогенный заряд с воспламенением от сжатия в двигателе (HCCI) двигатель является перспективной альтернативой существующим воспламенения искрой (SI) двигателя и воспламенением от сжатия (CI) двигателя. Как и в дизельном двигателе самовоспламенения происходит, топливо подвергается достаточно высокой температуры, но а гомогенное топливо используется для HCCI воздушной смеси. Однородная смесь создается в системе впуска, как в двигателе SI, используя Систему впрыска низкого давления или путем прямой инъеции с очень ранним временем впрыска. Чтобы быть использованным ограничивают скорость горения, очень разбавленные смеси. По сравнению с дизельными двигателями HCCI имеет почти однородный заряд и практически не возникает проблем с сажей и образование NO<sub>x</sub>. На других уровнях HC и CO выше, чем в обычных двигателях SI. В целом, HCCI двигатель показывает высокую эффективность и меньше выбросов, чем обычные двигатели внутреннего сгорания. Эффективность двигателя HCCI ранее был показано в ряде экспериментов. Части экспериментов были дополнены численными исследованиями, моделирующими двигатель в качестве проточного реактора с задвижкой (РПП) [1] [2]. В этих моделях были исследованы время задержки зажигания для набора различных параметров. Эти результаты указывают на то, что локальные неоднородности отвечает за различия между измерениями и результаты симуляции. Одним из способов учета этих неоднородностей заключается в использовании несколько зон для моделирования эффектов пограничного слоя. Такая работа Недавно были проведены с использованием 10 зон-моделей для HCCI двигатель [12]. Другую важную роль в процессе сгорания заключается в использовании модели, способ который основан на функции плотности вероятности физических переменных,. Если кто-то хочет изучать химические реакции в деталях, упрощающие предположения должны быть введено потому, что численная стоимость, чтобы решить, что модель описывает химию и все аспекты течения будут слишком высокими.

#### ВЫВОД

В настоящей работе были представлены новая численная модель для моделирования процесса сгорания в двигателе HCCI имеет. Эта модель ос-



<p>In the present work a new model for the numerical simulation of the combustion process in the HCCI engine has been presented. This model is based on the PaSPFR-IEM model. It is capable of simulating inhomogeneities in the cylinder caused by the thermal boundary layer adjacent to the cylinder walls.</p> <p>The model results have been verified against engine measurements and results from a PFR model. Generally the new model shows very promising results by significantly improving the results from the PFR model. The simulated ignition curves for temperature and pressure are in very good agreement with the experiments. The modeling of the boundary layer in the cylinder results in a more “smooth” ignition curve as the cold and hot spots in the cylinder ignite at different times. The STDDEV of temperature gives evidence that not all of the boundary layer is burnt. This might explain the excess of unburnt hydrocarbons from the HCCI engine. The IEM mixing model, as simplest mixing model, needs to be replaced by more realistic models to simulate the mixing process in the engine. Furthermore a series of sensitivity studies have been</p>	<p>нована на PaSPFR-IEM модель. Она способна имитировать неоднородности в цилиндре, вызванный тепловым пограничным слоем, прилегающего к стенке цилиндра. Результаты моделирования были проверены на двигателе Измерения и результаты модели РПП. Как правило, новая модель демонстрирует весьма обнадеживающие результаты, значительно улучшая результаты от модели РПП. Моделируемые кривые зажигания температуры и давления находятся в очень хорошем согласии с экспериментами. В результате моделирования пограничного слоя в цилиндрах более «гладкой» кривой зажигания как холодных и горячих точек в цилиндре воспламеняется в разное время. STDDEV температуры дает доказательства того, что не все границы слой сжигается. Это могло бы объяснить избыток несгоревшего углеводородов от двигателя HCCI. IEM модель смешивания, в простейшей модели смешивания, должна быть заменена более реалистичных моделей для имитации процесса перемешивания в двигателе.</p>
<p><b>Engine control using combustion model</b></p>	<p><b>Управление двигателя с помощью модели сгорания</b></p>
<p>The combination of physical models of an advanced engine control system was proposed to obtain sophisticated combustion control in ultra-lean combustion, including homogeneous compression-ignition and activated radical combustion with a light load and in stoichiometric mixture combustion with a full load. Physical models of intake, combustion and engine thermodynamics were incorporated, in which the effects of residual gas from prior cycles on intake air mass and combustion were taken into consideration. The combined control of compression ignition at a light load and spark ignition at full load for a high compression ratio engine was investigated using simulations. The control strategies of the variable valve timing and the intake pressure were clarified to keep auto-ignition at a light load and prevent knock at a full load.</p>	<p>Была предложена комбинация физических моделей усовершенствованных системой управления двигателем, чтобы получить сложные регулируемые процессы горения в обедненной смеси сгорания, в том числе гомогенного, с воспламенением от сжатия и активированного радикального сгорания с легкой нагрузкой и в стехиометрическом сжигании смеси с полной нагрузкой. Физические модели потребления, внутреннего сгорания и термодинамики были включены, в котором эффекты остаточного газа из предыдущих циклов на потребление масса воздуха и сгорания были приняты во внимание. Объединенный контроль воспламенения от сжатия при малой нагрузке и искры зажигания при полной нагрузке на двигатель отношение высокой компрессии был исследован с помощью имитационного моделирования. Были выяснены стратегии управления регулирования фаз газораспределения и давление на входе держать самовоспламенение при малой нагрузке и предотвратить стук в полной загрузке.</p>

## INTRODUCTION

There are many strategies for improving fuel economy and reducing exhaust emission. Hydrocarbon emissions (HC) and carbon monoxide (CO) are reduced using catalyst. Reducing nitrogen oxides emissions (NOx), ultralean combustion, including homogeneous compression ignition and activated radical combustion, seems promising for the near future (Ohyama, 1999). In these systems, combustion takes place in a narrow region between extinction and ignition. Therefore, the implementation of more sophisticated physical models than those in conventional control systems is necessary. But, model on engine thermodynamics and combustion in the condition of high air fuel ratio (A/F), high exhaust gas re-circulation (EGR) and variable compression ratio (CR) have not yet been completely clarified (Ohyama *et al.*, 1998, 1999). In this paper, the combination of an intake model, combustion model and engine thermodynamic model was investigated to accurately estimate intake air mass, burn rate and autoignition delay. The combination can be applied to combustion, not only with flame propagation such as conventional spark ignition, but also with auto-ignition such as homogeneous compression-ignition.

## ENGINE CONTROL STRATEGIES

There are many control strategies in engine control to improve fuel economy and reduce exhaust emissions, including the following.

-Gasoline engine: variable valve timing, improved ignition systems, adapted boost, direct injection stratified charge, controlled combustion, cylinder deactivation, divided chamber stratified charge are included.

\*Diesel engine: direct injection, exhaust turbocharger are included.

-Ultra-lean combustion engine (homogeneous combustion or activated radical combustion):

In conventional direct injection diesel engines, direct injection gasoline engine combustion takes place at a stoichiometric contour, generating the highest temperature the fuel can attain with air, irrespec-

## ВВЕДЕНИЕ

Есть много стратегий для улучшения экономии топлива и сокращения выбросов выхлопных газов. Выбросы углеводородов (HC) и окись углерода (CO), уменьшаются с использованием катализатора. Сокращение выбросов оксидов азота (NOx), сгорание ультра-бедных, в том числе однородных с воспламенением от сжатия и активированного радикального сгорания, представляется перспективным на ближайшее будущее (Охиямы, 1999). В этих системах, горение происходит в узкой области между угасание и воспламенение. Таким образом, необходимо реализация более сложных физических моделей, чем в обычных системах управления. Но, на модель двигателя внутреннего сгорания и в термодинамики состоянии соотношения воздуха и топлива с высоким (A / F), высокой рециркуляции выхлопных газов (EGR) и переменной степенью сжатия (CR) еще не полностью выяснены (Охиямы и др., 1998, 1999). В этой статье было исследовано, сочетание модели впуска, модель сгорания и термодинамической модели двигателя чтобы точно оценить массы всасываемого воздуха, задержки скорости горения и самовоспламенения. Комбинация может быть применена к сгоранию, а не только к распространения пламени, такие как обычная искра зажигания, но и с самовоспламенением таких как однородное воспламенением от сжатия.

## ДВИГАТЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИИ

Есть много стратегий управления в управление двигателем Улучшающие экономию топлива и уменьшающиеся выбросы выхлопных газов, в том числе следующие.

- Бензиновый двигатель: изменяемыми фазами газораспределения, улучшенная системы зажигания, адаптированный наддув, прямой впрыск расслаивающийся заряд, контролируемое горение, деактивация цилиндра, разделена камера расслаивающего заряда включены.

- Дизельный двигатель: прямой впрыск, турбо-нагнетатель включен.

- Двигатель Ультра обедненного сгорания (гомогенное сгорание или активированное радикальное горение): В обычных прямых впрысках дизельных двигателей, прямое горение происходит впрыском бензина в двигатель на стехиометрический контур, наиболее высокую температуру топливо может достигнуть с воздухом, независимо от смеси отношение в цилиндре. Выполнение его экзотермической процесс с локально стехиометрическим составом смеси,

tive of the airfuel ratio in the cylinder. The execution of its exothermic process with locally stoichiometric composition of airfuel mixture is a natural kind of the process, such as fire, resulting in high NO<sub>x</sub>. Conventional compression ignition engine suffers from high soot formation.

### 2.1. Ultra-lean Combustion

For reducing NO<sub>x</sub>, ultra-lean combustion is promising (Ohyama, 1999; Pascal, 1999). Ultra-lean combustion in industrial combustion furnaces using preheated air of 1273 K (Tokumoto, 1994) and a porous body (Echigo, 1996) has been presented. Generally, ultra-lean combustion may be attained by:

- (a) catalytic combustion
- (b) radical addition
- (c) preheat (preheated air of 1273 K, fuel direct
- (d) high pressure, compression ignition
- (e) self ignition by elite nucleus
- (f) ignition by supplementary injection of high cetane fuel
- (g) jet ignition (Lavinia ActivatsiaGorenia, lean homogeneous mixtures in bulk gas supplied by direct fuel injection, with distributed ignition from highly reactive jets)
- (h) counter-acting jets of air-fuel mixture
- (i) atmospheric thermo-active combustion (АТАС)
- (j) Toyota-Soken combustion process
- (k) pulsed jet combustion (PJC)
- (l) self-ignition triggered by radical injection (APIR) (Pascal *et al.*, 1999)

АТАС requires high levels of combustion product recycling. АТАС design is more adapted to the twostroke engine. The key to the homogenous premixed charge compression-ignition engine and activated radical combustion is retarding the appearance of the hot flame until the appropriate time by controlling the lifetime of low temperature products, such as НСНО (aldehyde). It is necessary to get conditions for retardation. The use of the exhaust gas recycle (EGR) slows down the speed of chemical reactions, which retards the start of ignition, and reduces the rate of combustion. Rapid and complex combustion control may be adopted by using the combustion models (Ohyama, 1999). The im-

сесь представляет собой естественный вид процесса, таких, как пожар, что приводит к высокому NO<sub>x</sub>. Обычные зажигания сжатия двигатель страдает от высокой сажи formation.

### 2.1. Ультра обедненное сгорание

Для снижения содержания оксидов азота, ультра обедненного сгорания является перспективным (Охиямы, 1999; Паскаль, 1999). Ультра обедненного сгорания в Печи промышленные для сжигания с использованием предварительно нагретого воздуха 1273 К (Tokumoto, 1994) и пористое тело (Эчиго, 1996) был представлен. Как правило, ультра обедненное сгорания может быть достигнута с помощью:

- а) каталитического сжигания
- (Б) радикальное присоединение
- (С) предварительного нагрева (предварительно нагретый воздух 1273 К, прямой впрыск топлива)
- (D) высокого давления, с воспламенением от сжатия
- (Е) самовоспламенение от элитного ядра
- (Е) зажигания путем дополнительного впрыска высоким цетановым топливом
- (Г) струи зажигания (Лавиния ActivatsiaGorenia, наклониться однородная смеси в объемном газе, поставляемого прямого топлива впрыска, с распределенным зажиганием с высокой реакционной способностью струй)
- (Ч) против действия струи воздушно-топливной смеси
- (Я) атмосферные термо-активного горения (АТАС)

Процесс сгорания Toyota-Сокен (J)

(К) импульсного горения струи (СПС)

(Л) самовозгорание инициируется радикальная впрыска (APIR) (Паскаль и др., 1999)

АТАС требует высокого уровня продуктов сгорания переработка. АТАС конструкция более приспособлена к двухтактным двигателям. Ключ к гомогенной предварительно смешанному заряду двигатель с воспламенением от сжатия и активированного радикального сгорания замедляя появление горячего пламени до тех пор, пока соответствующее время, контролируя срок службы низкие продукты температуры, такие как НСНО (альдегид). Это условия необходимо получить для замедления. Использование выхлопных газов рециркуляции (EGR) замедляет скорость химические реакции, которые задерживает начало зажигания, и снижает скорость горения. Быстрый и сложный контроль сгорания может быть принят с использованием Модели сгорания (Охиямы,

plementation of more sophisticated physical models than those in the conventional systems seems to be necessary. For example, feed back control by using an in-cylinder pressure sensor is promising. The control using the information about the combustion in prior cycle causes one cycle delay. To avoid the delay, the model based control is effective.

## 2.2. Advanced Control Strategies

The engine control strategies presented in this paper is as follows. With a light load, homogeneous charge compression ignition (Thring, 1989) or efficient light load auto-ignition combustion (Duret, 1996) is executed. To control auto-ignition, it is necessary to retard thermal reaction until an appropriate period by controlling the lifetime of low temperature oxidation products. The use of EGR slows down the speed of chemical reactions, which retard ignition, and reduces the rate of combustion (Christensen, Johansson, 1998). Also, auto-ignition can be controlled by CR. EGR and CR are controlled by variable intake valve timing. CO and HC are reduced using oxidation catalysts. With a full load, compression ignition can not be controlled without heavy EGR or low CR, which reduce air mass in the cylinder, resulting in reducing engine power.

### SUMMARY

Physical models of an advanced engine control system were investigated. By the combination of an intake model, a combustion model and engine thermodynamic model, the control of in-cylinder air/fuel ratio, misfire, knocking and auto-ignition was analyzed. The combination of the models can solve the nonlinear dynamics arising from the effects of residual gas from prior cycles on combustion and make more inferences about the effects of engine variables. The combined control of compression ignition at a light load and spark ignition at a full load for high compression ratio engine was investigated using simulations. The combustion model for engines with a pre-chamber was presented.

1999). Для реализации более сложных физических моделей, чем те, в обычных системах, как представляется, необходимо. Например, контроль обратной связи с использованием в цилиндре датчика давления является перспективным. Контроль с помощью информации о горении в предыдущих причинах цикла задержка в один цикл. Для того, чтобы избежать задержки, модель, основана на контроле, является эффективным.

## 2.2. Стратегии продвинутого контроля.

Стратегии управления двигателем, как представленные в данной работе следующим образом. При малой нагрузке, однородный заряд сжатия зажигания (Thring, 1989) или эффективное самовоспламенение легкая нагрузка сгорания (Дюре, 1996) выполняется. Контролировать самовоспламенения, необходимо, чтобы замедлить тепловую реакцию до соответствующего периода путем регулирования времени жизни продуктов окисления при низкой температуре. Использование системы рециркуляции отработавших газов замедляет скорость химических реакций, замедляющее зажигание, а также снижает скорость горения (Кристенсен, Johansson, 1998). Кроме того, самовоспламенение можно контролировать по ЧР. EGR и CR управляются переменным потреблением фазами газораспределения. CO и HC уменьшаются с помощью окисления катализатора. При полной нагрузке, с воспламенением от сжатия, не может быть контролируемое без тяжелой EGR или низкой CR, которые уменьшают массы воздуха в цилиндре, что приводит к сокращению мощности двигателя

### РЕЗЮМЕ

Были исследованы физические модели усовершенствованной системы управления двигателем. При анализе модели комбинации с приемом, модель сгорания и термодинамическая модель двигателя, контроль соотношения воздух / топливо в цилиндре, пропуски зажигания, стука и самовоспламенения. О комбинации моделей можно сделать выводы и решить нелинейную динамику возникающую от воздействия остаточного газа из предыдущих циклов и более при сжигании. Влияние переменных двигателя. Было исследовано комбинированное управление воспламенения от сжатия при малой нагрузке и искровым зажиганием при полной нагрузке высокая степень сжатия двигателя с помощью моделирования. Был представлена модель горения для двигателей с предварительной камерой.

## 2 Тепловой расчет двигателя

Исходные данные:  $V_L = 1.5$  л;  $n_N = 5600$  мин<sup>-1</sup>;  $i = 4$ ;  $\tau = 4$ ;  $\varepsilon = 10,5$ ; частота вращения КВ:  $n_{\min} = 850$  мин<sup>-1</sup>;  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>;  $n_M = 3400$  мин<sup>-1</sup>;  $n_N = 5600$  мин<sup>-1</sup>;  $n_{\max} = 6200$  мин<sup>-1</sup>.

Средний элементарный состав и молекулярная масса топлива:

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

Низшая теплота сгорания топлива:

$$H_u = 33,91C + 125,6H - 10,89(O - S) - 2,51 \cdot (9H + W); \text{ кДж/кг} \quad (2.1)$$

$$H_u = 33,91 \cdot 0,855 + 125,6 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43930 \text{ кДж/кг.}$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

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

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

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

Количество горючей смеси:

$$M_1 = \alpha L_0 + 1/m_T; \text{ кмоль гор. см/кг топл.} \quad (2.4)$$

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}; M_{H_2O} = \frac{H}{2}; M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0; \text{ кмоль компонента/кг топл}; \quad (2.5)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2}; \text{ кмоль пр.сг/кг топл.} \quad (2.6)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (2.7)$$

Результаты расчета параметров рабочего тела приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры рабочего тела

$M_2$ , кмоль пр.сг./кг топл.	$\mu_0$	$M_1$ , кмоль гор.сг./кг топл.	$M_{CO_2}$ , кмоль CO <sub>2</sub> /кг топл.	$M_{CO}$ , кмоль CO/кг топл.	$M_{H_2O}$ , кмоль H <sub>2</sub> O/кг топл.	$M_{H_2}$ , кмоль H <sub>2</sub> /кг топл.	$M_{N_2}$ , кмоль N <sub>2</sub> /кг топл.
0,5524	1.052	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087

Атмосферные условия:  $p_0 = 0,1$  МПа и  $T_0 = 293$  К.

Давление остаточных газов:

$$p_r = p_k(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (2.8)$$

где  $p_{rN} = 1,18p_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118$  МПа;

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

Результаты расчета параметров окружающей среды и остаточных газов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

$p_r$ , Мпа	$\rho_k$ , кг/м <sup>3</sup>	$T_k$ , К	$p_k$ , Мпа	$T_r$ , К	$n$ , мин <sup>-1</sup>
0,103834	1,189	293	0,1	1100	850
0,105349	1,189	293	0,1	1135	2000
0,109164	1,189	293	0,1	1185	3400
0,118	1,189	293	0,1	1280	5600
0,121274	1,189	293	0,1	1320	6200
Двигатель ВАЗ-2112					
0,109	1,189	293	0,1	1080	900
0,112	1,189	293	0,1	1161	2600
0,114	1,189	293	0,1	1245	3700
0,116	1,189	293	0,1	1265	5000
0,118	1,189	293	0,1	1305	5600

Температура подогрева свежего заряда на номинальном скоростном режиме принимается  $\Delta T_N = 8^\circ\text{C}$ .

$$\text{Тогда, } A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125 n_N) = 8 / (110 - 0,0125 \cdot 5600) = 0,2;$$

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n) = 0,2 (110 - 0,0125n) = 22 - 0,0025n. \quad (2.9)$$

Плотность заряда на впуске:

$$\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ кг/м}^3.$$

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{BII}) A_n^2 n^2 \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа}. \quad (2.10)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа}. \quad (2.11)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} p_r}{\varepsilon \varphi_{доз} p_a - \varphi_{оч} p_r} = \frac{293 + 8}{1060} \cdot \frac{0,118}{9,9 \cdot 1,1 \cdot 0,085 - 0,118} = 0,0415, \quad (2.12)$$

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

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r); \text{ К}. \quad (2.13)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} (\varphi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \varphi_{оч} \cdot p_r). \quad (2.14)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \left[ \left( \alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_B} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / [(1 + \alpha \cdot l_0) p_a] \text{ (м}^3\text{)}, \quad (2.15)$$

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

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

$V_a, \text{M}^3$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta p_a, \text{Мпа}$	$p_a, \text{Мпа}$	$\Phi_{\text{оч}}$	$\Phi_{\text{доз}}$	$\gamma_r$	$T_a, \text{K}$	$\eta_v$	$n, \text{мин}^{-1}$
0,942	44,71875	0,00599	0,094	1,08	1	0,0318	323,2104	0,859	850
0,984	38,25	0,01012	0,0898	1,02	1,05	0,0293	320,799	0,917	2000
1,007	16,5625	0,01202	0,0879	0,98	1,1	0,0276	321,4435	0,940	3400
1,079	10	0,01664	0,0833	0,96	1,15	0,0277	326,3013	0,877	5600
1,168	8,125	0,02201	0,0779	0,94	1,2	0,0305	330,92	0,8806	6200
Двигатель ВАЗ-2112									
1,0004	19,75	0,0057	0,0942	1	0,85	0,0431	344,4703	0,721	900
1,034	15,5	0,01027	0,0897	0,94	0,93	0,0362	338,3532	0,770	2600
1,067	12,75	0,01358	0,0864	0,98	1	0,0337	336,4559	0,804	3700
1,079	9,5	0,01605	0,0839	0,81	0,95	0,0299	330,4714	0,758	5000
1,122	8	0,01942	0,08057	0,77	0,94	0,0297	330,0071	0,721	5600

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_o + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (2.16)$$

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (2.17)$$

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} \quad \text{МПа}; \quad T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad \text{K}. \quad (2.18)$$

Удельный объём, давление и температура рабочего тела в момент воспламенения, при угле опережения зажигания  $\Theta$ ,

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[ 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[ \left\{ 1 + \frac{1}{\lambda} \right\} - \left\langle \cos(\Theta) + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 (\sin(\Theta))^2} \right\rangle \right] \right]; \quad (2.19)$$

$$P_y = P_a \left( \frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1}; \text{МПа}; \quad T_y = T_a \left( \frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1-1}; \text{K}; \quad (2.20)$$



Результаты расчета процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Давление, температура и удельный объем в конце сжатия и воспламенения:

Θ°ПКВ	μ	n <sub>l</sub>	P <sub>c</sub> , МПа	T <sub>c</sub> , К	n, мин <sup>-1</sup>	V <sub>y</sub> , м <sup>3</sup> /кг	P <sub>y</sub> , МПа	T <sub>y</sub> , К
15	1,0508	1,3756	2,7055	808,878	850	0,1008	2,033	748,24
22	1,0184	1,37545	2,5855	802,549	2000	0,1204	1,616	705,99
26	1,0184	1,37603	2,5345	805,302	3400	0,1472	1,241	662,584
29	1,0184	1,3756	2,3988	816,614	5600	0,1892	0,914	627,63
32	1,0282	1,3756	2,2443	828,173	6200	0,2239	0,756	615,408
Двигатель ВА3-2112								
15	1,0604	1,37058	2,3646	823,349	900	0,1151	1,823	767,52
20	1,0505	1,372	2,2593	811,43	2600	0,1347	1,469	722,17
23	1,0507	1,3728	2,18	808,402	3700	0,1509	1,267	697,71
26	1,0509	1,37378	2,1227	795,855	5000	0,1660	1,098	665,27
28	1,0509	1,3753	2,0447	797,582	5600	0,1829	0,977	652,08

Коэффициент выделения теплоты δ, учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{[H_u - 119950(1 - \alpha)L_o]}{H_u}, \quad (2.21)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ:

$$\xi = \delta * \Psi; \quad (2.22)$$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi * H_u}{(1 + \gamma_r)(\alpha * l_0 + 1)}; \text{ кДж/кг.} \quad (2.23)$$

$$E_2 = \left( 0.002 \frac{\varepsilon}{V_a} \right) q_z; \text{ МПа.} \quad (2.24)$$

Давление газов в процессе сгорания

$$P_2 = \frac{E_2 \Delta X_{1-2} + P_1 \cdot (K_{1-2} \psi(\varphi'_1) - \psi(\varphi'_2))}{K_{1-2} \psi(\varphi'_1) - \psi(\varphi'_2)}, \quad (2.25)$$

$$\text{где } \psi(\varphi') = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left( \cos \varphi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi'} \right) \right]; \quad (2.26)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right], \quad (2.27)$$

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

$$\Delta \chi_{1-2} = \frac{1}{2} \left[ \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (2.28)$$

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[ 76.7 - \left( 13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left( 0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (2.29)$$

Фактор теплоёмкостей  $K_{1-2}$

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} \quad (2.30)$$

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

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (2.31)$$

Температура  $T_2$  газов в процессе сгорания:

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi(\varphi_2')}{P_y \psi(\varphi_2') \mu_{1-2}}, \quad (2.32)$$

где:

$$\Psi(\varphi') = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (2.33)$$

$$\sigma = \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) - \left[\cos(\varphi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\varphi'))^2}\right]; \quad (2.34)$$

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}; \quad (2.35)$$

где  $\mu_1 = 1 + \frac{(\mu_{0\max} - 1) \left[1 - \exp\left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z}\right]^{m+1}\right]\right]}{1 + \gamma_r}$ . (2.36)

Доля выгоревшего топлива  $\chi$  рассчитывается по уравнению выгорания:

$$\chi = 1 - \exp\left[-6.908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right]. \quad (2.37)$$

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета:

qz, кДж/кг	E2, МПа	$\varphi_z$ , град, пкв	m	n, мин-1	$\delta$	$\Psi$	$\xi$
2454,616	59,88841	35	2,5	850	1	0,92	0,92
2180,775	50,93971	45	2,6	2000	1	0,94	0,94
2207,782	50,37929	48	2,7	3400	1	0,95	0,95
2231,183	47,5213	55	2,8	5600	1	0,96	0,96
2149,469	42,31184	62	2,9	6200	1	0,97	0,97
Двигатель ВА3-2112							
2095,696	43,98798	40	3.1	900	0.9435	0,81	0,764277
2284,733	46,40438	48	3.2	2600	1	0,86	0,86
2556,549	50,28953	55	3.3	3700	1	0,96	0,96
2592,875	50,44589	58	3.4	5000	1	0,97	0,97
2646,799	49,49647	62	3.5	5600	1	0,99	0,99

Степень последующего расширения при  $V_z$

$$\delta = V_a / V_z \quad (2.38)$$

Средний показатель политропы расширения:

$$n_2 = 1 + \frac{8.314}{23.7 + 0.0046 \left( \frac{1}{\delta^{n_1-1}} + 1 \right) \cdot T_Z}; \quad (2.39)$$

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа}; \quad T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К}; \quad (2.40)$$

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры газов от конца процесса сгорания до  $540^\circ$  поворота коленчатого вала находятся из соотношений

$$V_{PT} = \frac{V_a}{\varepsilon} \left[ 1 + \frac{\varepsilon - 1}{1} \cdot \left( \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[ \cos(\varphi_{PT}) + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\varphi_{PT})} \right] \right) \right], \quad (2.41)$$

где  $\varphi_{PT}$  – текущее значение поворота коленчатого вала

$$P_{PT} = P_b \cdot \left( \frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2}; \quad T_{PT} = T_b \left( \frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2-1}; \quad (2.42)$$

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}} \quad \text{К} \quad (2.43)$$

погрешность расчёта  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{100(T_r - T_r')}{T_r} \quad \%. \quad (2.44)$$

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

$P_b$ , МПа	$T_b$ , К	$T_r$ , К	$\Delta$ , %	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$V_z$ , м <sup>3</sup>	$T_z$ , К	$P_z$ , МПа	$\delta$	$n_2$
0,6349	2337,02	1290,866	0,8489	850	0,1178	3357,56	7,925	8,687	1,168
0,5907	2241,572	1276,149	2,915	2000	0,1442	3156,08	6,048	7,273	1,173
0,5859	2248,466	1299,048	3,923	3400	0,1498	3150,69	5,808	7,073	1,173
0,5553	2238,257	1328,065	4,08	5600	0,1763	3082,31	4,831	6,317	1,174
0,5701	2315,608	1369,725	3,767	6200	0,1894	3142,67	4,615	5,965	1,171
Двигатель ВАЗ-2112									
0,5354	1846,58	1086,178	0,572	900	0,1494	2639,83	5,121	6,688	1,188
0,5504	1975,7	1162,08	0,093	2600	0,1684	2756,27	4,714	6,139	1,1835
0,5815	2155,05	1244,545	-0,036	3700	0,1951	2913,76	4,303	5,474	1,1775
0,5789	2168,77	1265,439	0,0347	5000	0,1972	2929,05	4,279	5,474	1,1767
0,5669	2209,79	1309,556	0,349	5600	0,2052	2976,31	4,179	5,474	1,175

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций:

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} |V_{2i} - V_{1i}|; \quad (2.45)$$

Расчётное среднее индикаторное давление

$$P_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{(\varepsilon - 1)V_a}, \quad \text{МПа}. \quad (2.46)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_V \cdot H_u}. \quad (2.47)$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u} \cdot 10^3, \quad \text{г/кВт} \cdot \text{ч}. \quad (2.48)$$

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

$P_i$ , МПа	$N_i$ , кВт	$\eta_i$	$g_i$ , г/кВт*ч	$L_i$ , кДж	$n$ , мин <sup>-1</sup>
0,903418	10,23873	0,42375	193,3912	0,9258707	850
0,884107	23,57619	0,423998	193,2782	0,9505903	2000
1,002157	46,76735	0,452917	198,4646	1,0680231	3400
0,951718	71,06159	0,433076	173,2271	1,0967292	5600
0,912496	75,43298	0,427829	171,504	1,1186531	6200
Двигатель ВАЗ-2112					
1,1060343	12,442886	0,4089854	191,03093	1,0012	900
1,1651984	37,868947	0,405874	186,00051	1,09	2600
1,2379594	57,255621	0,4184105	182,75552	1,1957	3700
1,2533459	78,334121	0,4013589	170,24613	1,224	5000
1,2210353	85,47247	0,3929888	166,22992	1,2406	5600

Давление механических потерь при  $S/D = 71/82 = 0.865$ , при средней скорости поршня определяемой из выражения  $v_n = \frac{Sn}{30}$ , м/с

Среднее давление механических потерь

$$P_M = 0.034 + 0.0113v \quad , \text{ МПа} . \quad (2.49)$$

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа} . \quad (2.50)$$

Механический К.П.Д.

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}} . \quad (2.51)$$

Эффективный К.П.Д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M . \quad (2.52)$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} . \quad (2.53)$$

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_L \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт} . \quad (2.54)$$

## Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч} \quad (2.55)$$

## Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.56)$$

Таблица 2.8 - Эффективные показатели двигателя

$G_T$ , кг/ч	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$V_{п.ср}$ , м/с	$p_m$ , Мпа	$p_e$ , Мпа	$\eta_m$	$\eta_e$	$g_e$ , г/(кВт.ч)	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н.м
1,9800	850	2,013	0,065554	1,1887	0,954	0,330	228,5221	9,495789	109,5998
4,5567	2000	4,733	0,10148	1,3626	0,929	0,403	220,5	24,87005	112,3744
9,2816	3400	8,283	0,14834	1,086	0,892	0,358	219,2	39,84481	118,7816
12,309	5600	13,253	0,213944	1,006	0,845	0,319	225,4	55,0871	107,45331
12,937	6200	14,673	0,232688	0,783	0,786	0,307	230,2072	56,19744	99,79653
Двигатель ВА3-2112									
3,377	900	2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	273,3719	11,68	123,99
9,043	2600	6,153	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	263,7	33,96	124,72
12,464	3700	8,756	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	258,8332	50,11	129,3
15,336	5000	11,833	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	261,652	66,13	126,29
17,208	5600	13,253	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	268,6	70,49	120,19

## 2.2 Тепловой баланс двигателя

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом:

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (2.57)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (2.58)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{ciD^{1+2m}n^m(H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (2.59)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_0; \quad (2.60)$$

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left( \frac{G_T}{3.6} \right) \left\{ M_2 \left[ (mc_V^H)_{t_o}^r + 8.315 \right]_{t_r} - M_1 \left[ (mc_V^H)_{t_o}^{t_0} + 8.315 \right]_{t_o} \right\}, \quad (2.61)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_0 \quad (2.62)$$

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива

$$Q_{н.с} = \Delta H_U * G_T / 3,6 \quad (2.63)$$

$$q_{н.с.} = Q_{н.с.} * 100 / Q_0 \quad (2.64)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_B + Q_r + Q_{н.с.}), \quad (2.65)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_0 \quad (2.66)$$

Таблица 2.9 - Тепловой баланс разрабатываемого двигателя:

Q <sub>0</sub> , Дж/с	Q <sub>e</sub> , Дж/с	q <sub>e</sub> , %	Q <sub>B</sub> , Дж/с	q <sub>B</sub> , %	Q <sub>r</sub> , Дж/с	q <sub>r</sub> , %	Q <sub>н.с.</sub> , Дж/с	q <sub>н.с.</sub> , %	Q <sub>ост</sub> , Дж/с	q <sub>ост</sub> , %	n, мин <sup>-1</sup>	G <sub>T</sub> , кг/ч
23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1	900	1,980
42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5	2000	4,556
60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0	3500	9,281
107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5	5000	12,31
115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6	5600	12,93



### 3 Расчет кинематики и динамики двигателя

#### 3.1 Кинематический расчет

Премещение поршня [2].

$$S_x = R \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] \text{ мм.} \quad (3.1)$$

Угловая скорость вращения коленчатого вала

$$\omega = \pi n / 30 = 3,14 \cdot 5600 / 30 = 586 \text{ рад/с.} \quad (3.2)$$

Скорость поршня

$$v_{\Pi} = \omega R \left( \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \text{ м/с.} \quad (3.3)$$

Ускорения поршня

$$j = \omega^2 R (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi); \text{ м/с}^2. \quad (3.4)$$

Максимальное значение ускорения поршня достигается при  $\varphi=0^0$ ;

$$j_{\max} = \omega^2 R (1 + \lambda) = 586^2 \cdot 35,5 (1 + 0,289) = 15767 \text{ м/с}^2.$$

#### 3.2 Динамический расчет

Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма.[1]:

- масса поршневой группы

$$m_n = m'_n \cdot F_n = 75 \cdot 0,00535 = 0,316 \text{ кг;} \quad (3.5)$$

- масса шатуна

$$m_{ш} = m_{ш} \cdot F_n = 109,6 \cdot 0,00535 = 0,624 \text{ кг}; \quad (3.6)$$

- масса неуравновешанных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k \cdot F_n = 150 \cdot 0,00535 = 0,805 \text{ кг}. \quad (3.7)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,624 = 0,165 \text{ кг}. \quad (3.8)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,624 = 0,473 \text{ кг}. \quad (3.9)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.п} = 0,316 + 0,165 = 0,481 \text{ кг}. \quad (3.10)$$

Массы, совершающие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{ш.к} = 0,805 + 0,473 = 1,278 \text{ кг}. \quad (3.11)$$

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс

$$p_j = -j m_j / F_n = -j 0,481 \cdot 10^{-6} / 0,00535 = -j 141 \cdot 10^{-6} \text{ МПа}. \quad (3.12)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -1,278 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -28,02 \text{ кН}. \quad (3.13)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна

$$K_{Ru} = -m_{u.k} R\omega^2 = -0,473 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -8,7 \text{ кН.} \quad (3.14)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_{k.k} R\omega^2 = -0,805 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -19,32 \text{ кН.} \quad (3.15)$$

Удельные суммарные силы.

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_e + p_j \text{ (МПа)}. \quad (3.16)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \cdot \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа)}. \quad (3.17)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа)}. \quad (3.18)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)}. \quad (3.19)$$

Удельная и полная тангенциальные силы

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)} \quad (3.20)$$

$$T = p_T \cdot 0,004776 \cdot 10^3 \quad (3.21)$$

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_i F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,2486 \cdot 0,00535 = 1063 \text{ Н}; \quad (3.22)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} M_p = \frac{1991 \cdot 1170}{240} \cdot 0,05 = 0,196 \text{ МПа}; \quad (3.23)$$

по данным расчета по площади, заключенной между кривой  $p_T$  и осью абсцисс  
ошибка  $\Delta = (1063 - 1049)100/1063 = 1,31\%$

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{II} = 0,196 \cdot 0,00535 \cdot 10^6 = 1049 \text{ Н}; \quad (3.24)$$

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0374 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (3.25)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с равными интервалами между вспышками

$$\Theta = 720/i = 720/4 = 180^\circ \quad (3.26)$$

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 143,8 / 0,9052 = 158,8 \text{ Нм} \quad (3.27)$$

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

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_m = \frac{1470 - 615}{60} 10 = 160,5 \text{ Нм} \quad (3.28)$$

ошибка  $\Delta = (158,8 - 160,5)100/158,8 = 1,07\%$ .

Максимальный и минимальный крутящие моменты:  $M_{кр\ max} = 570$  Нм;  $M_{кр\ min} = 277$  Нм

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{RШ} = K + p_k F_{II} \text{ Н.} \quad (3.29)$$

По развернутой диаграмме  $R_{шш}$  определяют

$$\begin{aligned} R_{шш\ max} &= 17,31 \text{ кН}; \quad R_{шш\ min} = 0,577 \text{ кН} \\ R_{шш\ ср} &= FM_p / OB = 28425 \cdot 0,1 / 240 = 10,66 \text{ кН}; \end{aligned} \quad (3.30)$$

где  $OB$  – длина диаграммы, мм;  $F$  – площадь под кривой  $R_{шш}$ , мм<sup>2</sup>.

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{рк} = P_k + K_{RK} = P_k - 8,960 \text{ кН.} \quad (3.31)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(PT_k \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_k})^2} \quad (3.32)$$

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1}. \quad (3.33)$$

где  $R_{к.ш1}$  – это изменение силы в зависимости от  $\varphi$  которое показывает полярная диаграмма  $R_k$ , повернутая на  $180^\circ$ .

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (3.34)$$

где  $T_{к2} = -0,5(T_1 - T_2)$ ;  $K_{к2} = -0,5(K_{рк1} - K_{рк2})$ .

Расчет силы  $R_{к.ш2}$  приведен в таблице 4.5.

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (3.35)$$

где  $T_{к3} = 0,5(T_2 + T_3)$ ;  $K_{к3} = 0,5(K_{рк2} + K_{рк3})$ .

#### 4 Описание конструкции модернизированного двигателя

На основании проведенного анализа известных способов повышения эффективности процесса сгорания, предложена следующая концепция по модернизации базового двигателя ВАЗ-2112: применение компактной камеры сгорания и перепрофилирование впускных каналов для создания вихревого движения в вертикальной плоскости для повышения турбулентности и как следствие эффективности процесса сгорания.

Эти технические решения реализованы следующими модернизациями:

- размещение части камеры сгорания в поршне, позволило уменьшить расстояние от свечи зажигания до удаленной части на 8%, а также увеличить площадь вытеснителей с 9%, как на базовом двигателе, до 28%;
- установка вертикального впускного канала, обеспечило создание вертикального вихря при впуске с интенсивностью достаточной для его существования вплоть до момента сгорания.

В результате предложенных модернизаций произошло снижение диаметров впускных и выпускных клапанов, так диаметр впускных клапанов был 29 мм стал 27 мм, а диаметр выпускных клапанов был 26 мм, а стал 24 мм. Для создания инерционного наддува на частотах вращения 3000 - 4500 мин<sup>-1</sup> проходное сечение впускных каналов сократилось на 12%

## 5 Безопасность и экологичность объекта бакалаврской работы

### 5.1 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов, объекта разработки бакалаврской работы

Основными результатами модернизации двигателя ВАЗ-2112 являлось перепрофилирование формы камеры сгорания, т.е. из шатровой мы её модернизировали до компактной шатровой, и изменилось сечение и угол входа впускных каналов, в результате чего поток стал двигаться быстрее. Тем самым мы внесли изменения влияющие на протекание процесса сгорания, а следовательно и на условия образования токсичных компонентов. Разберем это влияние подробнее:

СН – концентрация углеводородов в отработавших газах снижается за счет большей скорости сгорания в меньшем объеме, что позволяет лучше догорать СН за фронтом пламени и в пристеночной области. В случае увеличения зазора между вытеснителями до 1 мм в прогретом состоянии обеспечивается полное догорание смеси в данном зажатом объеме. Таким образом, обеспечивается снижение токсичности ОГ по СН на 15% по сравнению с базовыми показателями.

NO<sub>x</sub> – токсичность по оксидам азота повышается, за счет повышения интенсивности процесса горения, что приводит к увеличению температуры и следовательно к большему образованию NO в процессе сгорания.

CO – токсичность по угарному газу снижается в связи с большей эффективностью и полнотой сгорания.

Условий для образования сажи и других твердых частиц при модернизации не появляется, следовательно токсичность по нему будет равна нулю.

Снижение выбросов парникового газа будет достигаться за счет, повышения экономичности работы двигателя, из-за более высокой термической эффективности цикла обеспеченной повышенной интенсивностью процесса сгорания.



## 5.2 Шумность при работе ДВС с новыми впускными каналами и компактной камерой сгорания

Шум от элементов впускной системы может несколько возрасти, также как и шум от протекания процесса сгорания, но в тоже время за счет большего теплоиспользования, энергетика выхлопных газов будет ниже, и следовательно и шум системы выпуска ОГ.

На шумность работы двигателя установка компактной камеры сгорания влияет, прежде всего, повышение скорости потока во впускных и выпускных каналах вследствие их уменьшения проходного сечения, а также увеличения рабочего объема двигателя.

Следовательно, однозначного заключения о снижении или повышении шумности нельзя, а следует провести дополнительный анализ, расчет и эксперимент по данному направлению.

## 5.3 Эффективность применения новой камеры сгорания и впускных каналов

Применение новой конструкции впускных каналов позволило несколько поднять коэффициент наполнения на малых и средних оборотах, в то время как на высоких оборотах он несколько ниже, чем на базовом двигателе. Это произошло за счет того, что проходное сечение каналов было уменьшено практически на 10%, что заметно повысило скорость движения потока по каналам, тем самым увеличилась инерциальность потока. Высокие скорости потока в процессе впуска создают в цилиндре двигателя высокую турбулентность потока, что способствует хорошему перемешиванию смеси, тем самым, повышая её однородность, что улучшает протекание процесса горения. Применение новой системы впуска позволило создать в цилиндре двигателя хорошо сформировавшуюся структуру потока с вихревым движением по вертикальной плоскости. Что выгодно отличает его от базового двигателя, в котором вихревое движение

потока практически отсутствовало. В процессе сжатия за счёт более организованного движения заряда, а также увеличенной площадью вытеснителей удалось достигнуть высокого уровня турбулентности потока, при этом вытеснители повышают турбулентность потока именно в удалённых от свечи зажигания областях камеры сгорания, тем самым улучшая процесс сгорания топлива именно в заключительной фазе горения, что способствует уменьшению концентрации в отработавших газах несгоревших углеводородов.

#### 5.4 Выводы по разделу безопасность и экологичность

Предложенная модернизация соответствует задачам развития двигателестроения и позволяет улучшить некоторые показатели по токсичности и эффективности рабочего процесса. Так выполнено снижение токсичности в отработавших газах по несгоревшим углеводородам (СН) и оксидам углерода (СО) при некотором увеличении по оксидам азота.

При этом получено повышение эффективности рабочего процесса, которое можно отразить таблицей 5.1 сравнения характеристик работы базового и модернизированного ДВС

Таблица 5.1 - Сравнение расчетных эффективных и экономичных показателей базового и модернизированного двигателей.

Me баз	Me нов	Gt баз	Gt нов	Ne баз	Ne нов	n	g <sub>e</sub> баз	g <sub>e</sub> нов
H*м	H*м	кг/ч	кг/ч	КВт	КВт	мин <sup>-1</sup>	г/кВт*ч	г/кВт*ч
109,6317	115,328	3,673048	3,936	9,5025	12,63	850	271,2995	248,33
131,5549	148,25	12,36788	12,948	51,48	58,76	3400	240,2463	203,348
124,9823	127,32	17,0123	16,983	62,33	70,42	5000	254,6321	224,16
115,1884	120,08	18,2401	18,106	68,55	68,23	5600	262,2322	257,12
101,2225	103,41	18,95112	18,845	63,6	61,54	6200	271,3461	267,54

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведена модернизация двигателя ВАЗ-2112, где применена компактная камера сгорания и спроектирована система впуска создающая устойчивое движение потока. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, проведена оценка влияния формы камеры сгорания, турбулентности и вихревого движения потока на эффективность процесса сгорания и токсичность отработавших газов.

Получено в результате модернизации следующие характеристики:

- минимальный удельный эффективный расход топлива  $220 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ , при снижении на 15%;
- максимальную мощность при номинальных оборотах  $n=5600 \text{ мин}^{-1}$   $56 \text{ кВт}$ ;
- снижение токсичности в отработавших газах по СН и СО, также произойдет снижение на выбросов парникового газа  $\text{CO}_2$ .

В разделе безопасность и экологичность проведена оценка токсичности и шума спроектированного двигателя, показано улучшение экологических характеристик.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
2. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова//. –3-е издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1985. - с.456.
3. Ховаха, М.С. Автомобильные двигатели – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] /Под редакцией М.С. Ховаха// М.: Машиностроение, 1977. - с.636.
4. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /В.П. Алексеев, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова//. –3-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. - с.528.
5. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова. –4-е издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1984. – с.384
6. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В.И. Анурьев// В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. - с.296.
7. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
8. Кузнецов, Ю.М. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта [Текст] /. М.: Транспорт, 1986.

9. Луканин, В.Н. Промышленная транспортная экология [Текст] / М.: Высшая школа, 2001.
10. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности [Текст] / М.: Энергоатомиздат, 1985.
11. Dake, A.R. Modeling and control of cold start hydrocarbon emissions [Текст] / A.R. Dake // Master thesis. – 2005. - 101 с.
12. El-Mahallawy, F. Fundamentals and technology of combustion [Текст] / F. El-Mahallawy, S. E-Din Habik. – London : Elsevier, 2002. – 862 с.
13. Eriksson, L. Spark Advance Modeling and Control / L. Eriksson [Текст] // Doctoral thesis. – 1999. - 207 с.
14. Кузнецов, В.Р. Турбулентность и горение [Текст] / Кузнецов, В.Р., Собольников В.А.// М. Наука, 1986. - 207 с.
15. Войнов, В.В. Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / М. Наука, 1984. - 211 с.
16. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / М. Машиностроение, 1981. - 210 с.
17. Nlootat, G. A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours [Текст] / SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.
18. Khalighi, B. Computation and Measurement of Flow and Combustion in a Four-Valve Engine with Intake Variations [Текст] / SAE, SP 1101, №950287, 2001. - с. 147-179,
19. Jones, P. Full Cycle Computational Fluid Dynamics Calculations in a Motored Four Valve Pent Roof Combustion Chamber and Comparison with Experiment [Текст] / SAE, SP 1101, №950286, 2001. - с. 131-146
20. Наканиши, К. Разработка новой системы впуска для четырёхклапанного двигателя, работающего на бедных смесях [Текст] / SAE, SP 1097, №95050, 1997. - с. 25-43

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Результаты теплового расчета модернизируемого двигателя с повышенной эффективностью рабочего процесса при  $n = 850 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	y(f1)	X <sub>1-2</sub>	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Средняя температура на участке, К	k1-2	K1-2	Доля сгоревшей смеси на участке
1,824	1	1	0	0	-15	0,11542	0,0439	1,20853	2,3E-06	767,8334	767,8334	771,0297			4,6E-06
1,88067	1	1	4,6E-06	1	-14	0,11287	0,0383	1,18187	3,5E-05	774,2261	774,2261	777,6734	1,3585	6,5792	6,9E-05
1,93823	1	1	7,37E-05	2	-13	0,1105	0,0331	1,15699	0,00015	781,1208	781,1207	785,2527	1,3576	6,5925	0,0003
1,99863	1	1	0,000373	3	-12	0,10829	0,0282	1,13391	0,0004	789,3845	789,3844	794,8055	1,3567	6,6076	0,0008
2,06489	1,0001	1	0,001178	4	-11	0,10626	0,0237	1,11263	0,00085	800,2265	800,2262	807,7	1,3555	6,6264	0,0017
2,14105	1,0001	1,0001	0,002873	5	-10	0,1044	0,0196	1,09316	0,00154	815,1734	815,1728	825,5985	1,3539	6,6514	0,00308
2,2321	1,0003	1,0002	0,005948	6	-9	0,10272	0,0159	1,07552	0,00252	836,0236	836,0228	850,3977	1,3518	6,6851	0,00504
2,34377	1,0006	1,0004	0,010992	7	-8	0,10121	0,0126	1,05971	0,00384	864,7717	864,7718	884,1371	1,349	6,7301	0,00769
2,48226	1,0009	1,0007	0,018679	8	-7	0,09987	0,0096	1,04574	0,00554	903,5025	903,5072	928,8788	1,3455	6,7883	0,01107
2,65372	1,0015	1,0012	0,029751	9	-6	0,09872	0,0071	1,03363	0,00762	954,2551	954,2741	986,5624	1,3413	6,8607	0,01524
2,86381	1,0023	1,0019	0,044991	10	-5	0,09774	0,0049	1,02336	0,01009	1018,87	1018,924	1058,85	1,3363	6,9466	0,02019
3,11709	1,0033	1,0028	0,065177	11	-4	0,09693	0,0031	1,01496	0,01293	1098,829	1098,956	1146,968	1,3309	7,0441	0,02586
3,41648	1,0046	1,0039	0,091042	12	-3	0,09631	0,0018	1,00842	0,01608	1195,107	1195,362	1251,568	1,3252	7,15	0,03216
3,76268	1,0062	1,0054	0,123202	13	-2	0,09586	0,0008	1,00374	0,01944	1308,029	1308,488	1372,589	1,3195	7,2603	0,03889
4,15376	1,0081	1,0072	0,16209	14	-1	0,09559	0,0002	1,00094	0,0229	1437,149	1437,899	1509,154	1,3139	7,3709	0,04579
4,58481	1,0104	1,0093	0,207884	15	0	0,0955	0	1	0,02627	1581,158	1582,287	1659,491	1,3087	7,4781	0,05255
5,0477	1,0131	1,0118	0,260432	16	1	0,09559	0,0002	1,00094	0,02938	1737,823	1739,407	1820,906	1,304	7,579	0,05876
5,53118	1,016	1,0146	0,319197	17	2	0,09586	0,0008	1,00374	0,03201	1903,99	1906,085	1989,83	1,2998	7,6714	0,06403
6,02125	1,0193	1,0177	0,383223	18	3	0,09631	0,0018	1,00842	0,03396	2075,67	2078,307	2161,95	1,2961	7,7538	0,06792
6,50183	1,0227	1,021	0,451145	19	4	0,09693	0,0031	1,01496	0,03505	2248,23	2251,408	2332,451	1,293	7,8256	0,07009
6,95591	1,0262	1,0244	0,521235	20	5	0,09774	0,0049	1,02336	0,03513	2416,671	2420,365	2496,336	1,2904	7,8866	0,07027
7,3668	1,0297	1,028	0,591505	21	6	0,09872	0,0071	1,03363	0,03417	2576	2580,163	2648,818	1,2883	7,9373	0,06835
7,71965	1,0332	1,0314	0,659853	22	7	0,09987	0,0096	1,04574	0,03219	2721,636	2726,207	2785,724	1,2866	7,9781	0,06439

Продолжение таблицы А1

8,00282	1,0364	1,0348	0,72424	23	8	0,10121	0,0126	1,05971	0,02932	2849,811	2854,721	2903,852	1,2853	8,01	0,05864
8,20893	1,0394	1,0379	0,782879	24	9	0,10272	0,0159	1,07552	0,02576	2957,893	2963,07	3001,241	1,2843	8,0339	0,05153
8,33548	1,0419	1,0406	0,834405	25	10	0,1044	0,0196	1,09316	0,02179	3044,59	3049,966	3077,288	1,2836	8,0511	0,04358
8,38482	1,0441	1,043	0,87799	26	11	0,10626	0,0237	1,11263	0,0177	3109,985	3115,497	3132,696	1,2832	8,0625	0,03541
8,36351	1,0459	1,045	0,913399	27	12	0,10829	0,0282	1,13391	0,01378	3155,407	3160,999	3169,278	1,2829	8,0694	0,02756
8,28117	1,0473	1,0466	0,940959	28	13	0,1105	0,0331	1,15699	0,01025	3183,149	3188,775	3189,625	1,2828	8,0728	0,0205
8,14916	1,0483	1,0478	0,961454	29	14	0,11287	0,0383	1,18187	0,00726	3196,102	3201,726	3196,732	1,2827	8,0736	0,01452
7,97914	1,0491	1,0487	0,975978	30	15	0,11542	0,0439	1,20853	0,00489	3197,362	3202,954	3193,622	1,2828	8,0724	0,00978
7,78196	1,0495	1,0493	0,985755	31	16	0,11814	0,0499	1,23696	0,00312	3189,882	3195,422	3183,054	1,2829	8,07	0,00623
7,56687	1,0499	1,0497	0,99199	32	17	0,12102	0,0562	1,26715	0,00188	3176,225	3181,698	3167,329	1,283	8,0667	0,00375
7,34123	1,05	1,05	0,995743	33	18	0,12407	0,063	1,29907	0,00106	3158,434	3163,829	3148,222	1,2832	8,0629	0,00213
7,11051	1,0502	1,0501	0,99787	34	19	0,12728	0,07	1,33271	0,00057	3138,011	3143,322	3126,999	1,2833	8,0587	0,00113
6,87857	1,0502	1,0502	0,999	35	20	0,13066	0,0775	1,36807	0,00028	3115,987	3121,209	3104,503	1,2835	8,0543	0,00056

Таблица А2 - Результаты теплового расчета модернизируемого двигателя с повышенной эффективностью рабочего процесса при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	y(f1)	X <sub>1-2</sub>	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Средняя температура на участке, К	k <sub>1-2</sub>	K <sub>1-2</sub>	Доля сгоревшей смеси на участке
1,57792	1	1	0	0	-18	0,12852	0,06296	1,29907	5,3E-07	739,6294	739,6294	743,0088			1,1E-06
1,63245	1	1	1E-06	1	-17	0,12536	0,05624	1,26715	9,1E-06	746,3882	746,3882	749,7996	1,36223	6,52138	1,8E-05
1,68757	1	1	2E-05	2	-16	0,12238	0,04989	1,23696	4,3E-05	753,211	753,2111	756,798	1,36129	6,53569	8,7E-05
1,74372	1	1	0,0001	3	-15	0,11956	0,04390	1,20853	0,00012	760,385	760,3851	764,3665	1,36034	6,55027	0,00025
1,80175	1	1,00001	0,0004	4	-14	0,11693	0,03829	1,18187	0,00028	768,3479	768,348	773,0209	1,35933	6,56587	0,00055
1,86292	1	1,00003	0,0009	5	-13	0,11446	0,03305	1,15699	0,00052	777,6939	777,6941	783,4336	1,35820	6,58348	0,00104
1,92898	1,0001	1,00007	0,0019	6	-12	0,11218	0,02819	1,13391	0,00089	789,1733	789,1737	796,4294	1,35687	6,60435	0,00177
2,00217	1,0002	1,00014	0,0037	7	-11	0,11007	0,02371	1,11263	0,00139	803,6855	803,6863	812,9743	1,35525	6,62988	0,00279
2,08517	1,0003	1,00026	0,0065	8	-10	0,10815	0,01961	1,09316	0,00207	822,2632	822,2648	834,1541	1,35326	6,66156	0,00414
2,18106	1,0005	1,00043	0,0106	9	-9	0,10640	0,01590	1,07552	0,00294	846,0451	846,0486	861,1413	1,35083	6,70080	0,00588

Продолжение таблицы А2

2,29318	1,0008	1,00069	0,0165	10	-8	0,10484	0,01257	1,05971	0,00402	876,2376	876,2453	895,1511	1,34790	6,74875	0,00803
2,42500	1,0012	1,00104	0,0246	11	-7	0,10346	0,00963	1,04574	0,00532	914,0646	914,0815	937,3867	1,34446	6,80612	0,01064
2,57990	1,0018	1,00151	0,0352	12	-6	0,10226	0,00708	1,03363	0,00686	960,7088	960,744	988,9773	1,34054	6,87303	0,01372
2,76090	1,0025	1,00213	0,0489	13	-5	0,10124	0,00492	1,02336	0,00863	1017,246	1017,315	1050,911	1,33620	6,94888	0,01726
2,97049	1,0033	1,00291	0,0662	14	-4	0,10041	0,00315	1,01496	0,01062	1084,577	1084,705	1123,969	1,33154	7,03238	0,02124
3,21029	1,0044	1,00388	0,0874	15	-3	0,09977	0,00177	1,00842	0,01281	1163,362	1163,584	1208,657	1,32671	7,12166	0,02562
3,48083	1,0057	1,00507	0,113	16	-2	0,09930	0,00079	1,00374	0,01516	1253,952	1254,314	1305,143	1,32183	7,21447	0,03032
3,78136	1,0073	1,00649	0,1434	17	-1	0,09903	0,00020	1,00094	0,01761	1356,334	1356,89	1413,201	1,31704	7,30843	0,03522
4,10961	1,009	1,00814	0,1786	18	0	0,09893	0,00000	1,00000	0,02009	1470,069	1470,878	1532,16	1,31244	7,40126	0,04018
4,46171	1,0111	1,01005	0,2188	19	1	0,09903	0,00020	1,00094	0,02251	1594,252	1595,373	1660,868	1,30812	7,49090	0,04502
4,83210	1,0133	1,01221	0,2638	20	2	0,09930	0,00079	1,00374	0,02476	1727,484	1728,97	1797,676	1,30415	7,57571	0,04953
5,21365	1,0158	1,0146	0,3133	21	3	0,09977	0,00177	1,00842	0,02675	1867,868	1869,761	1940,453	1,30055	7,65443	0,05349
5,59777	1,0186	1,0172	0,3668	22	4	0,10041	0,00315	1,01496	0,02835	2013,038	2015,366	2086,633	1,29735	7,72619	0,05669
5,97483	1,0214	1,01999	0,4235	23	5	0,10124	0,00492	1,02336	0,02946	2160,229	2163,004	2233,308	1,29453	7,79050	0,05891
6,33454	1,0244	1,02291	0,4824	24	6	0,10226	0,00708	1,03363	0,02999	2306,387	2309,604	2377,352	1,29209	7,84716	0,05998
6,66658	1,0274	1,02592	0,5424	25	7	0,10346	0,00963	1,04574	0,02989	2448,317	2451,957	2515,592	1,29002	7,89620	0,05978
6,96126	1,0305	1,02895	0,6022	26	8	0,10484	0,01257	1,05971	0,02913	2582,867	2586,897	2644,992	1,28827	7,93786	0,05825
7,21016	1,0334	1,03194	0,6604	27	9	0,10640	0,01590	1,07552	0,02772	2707,117	2711,494	2762,846	1,28684	7,97252	0,05544
7,40676	1,0362	1,03481	0,7159	28	10	0,10815	0,01961	1,09316	0,02573	2818,576	2823,25	2866,959	1,28569	8,00069	0,05146
7,54690	1,0388	1,03751	0,7673	29	11	0,11007	0,02371	1,11263	0,02327	2915,342	2920,262	2955,787	1,28478	8,02295	0,04653
7,62905	1,0412	1,03999	0,8138	30	12	0,11218	0,02819	1,13391	0,02046	2996,231	3001,344	3028,529	1,28409	8,03993	0,04092
7,65434	1,0432	1,04221	0,8548	31	13	0,11446	0,03305	1,15699	0,01747	3060,826	3066,081	3085,147	1,28360	8,05230	0,03494
7,62633	1,045	1,04412	0,8897	32	14	0,11693	0,03829	1,18187	0,01446	3109,467	3114,816	3126,318	1,28326	8,06074	0,02892
7,55057	1,0465	1,04574	0,9186	33	15	0,11956	0,04390	1,20853	0,01158	3143,168	3148,57	3153,321	1,28305	8,06591	0,02317
7,43401	1,0476	1,04706	0,9418	34	16	0,12238	0,04989	1,23696	0,00896	3163,473	3168,891	3167,873	1,28295	8,06842	0,01793
7,28428	1,0486	1,0481	0,9597	35	17	0,12536	0,05624	1,26715	0,00668	3172,274	3177,678	3171,946	1,28293	8,06883	0,01337
7,10909	1,0492	1,04889	0,9731	36	18	0,12852	0,06296	1,29907	0,0048	3171,618	3176,984	3167,572	1,28298	8,06763	0,00959
6,91567	1,0497	1,04947	0,9827	37	19	0,13185	0,07005	1,33271	0,0033	3163,527	3168,837	3156,69	1,28308	8,06524	0,00661
6,71036	1,05	1,04988	0,9893	38	20	0,13535	0,07749	1,36807	0,00218	3149,852	3155,092	3141,014	1,28321	8,06199	0,00436
6,49840	1,0503	1,05016	0,9937	39	21	0,13901	0,08529	1,40511	0,00137	3132,176	3137,335	3121,974	1,28336	8,05812	0,00275
6,28392	1,0504	1,05034	0,9964	40	22	0,14284	0,09344	1,44382	0,00083	3111,772	3116,845	3100,688	1,28353	8,05385	0,00165
6,07000	1,0505	1,05045	0,9981	41	23	0,14683	0,10194	1,48419	0,00047	3089,605	3094,586	3077,984	1,28371	8,04929	0,00094



Продолжение таблицы А2

5,85881	1,0505	1,05051	0,999	42	24	0,15099	0,11078	1,52619	0,00026	3066,363	3071,25	3054,441	1,283908	8,04453	0,00051
---------	--------	---------	-------	----	----	---------	---------	---------	---------	----------	---------	----------	----------	---------	---------

Таблица А3 - Результаты теплового расчета модернизируемого двигателя с повышенной эффективностью рабочего процесса при  $n = 3400 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	y(f1)	X <sub>1-2</sub>	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Средняя температура на участке, К	k1-2	K1-2	Доля сгоревшей смеси на участке
1,31668	1	1	0	0	-22	0,1471	0,0934	1,4438	1,2E-07	706,6261	706,6261	710,1769			2,31E-07
1,36656	1	1	2,31E-07	1	-21	0,1432	0,0853	1,4051	2,3E-06	713,7276	713,7277	717,2763	1,367	6,44957	4,65E-06
1,41752	1	1	4,88E-06	2	-20	0,1394	0,0775	1,3681	1,2E-05	720,8251	720,8256	724,4136	1,36593	6,4655	2,42E-05
1,46961	1	1	2,91E-05	3	-19	0,1358	0,07	1,3327	3,7E-05	728,0021	728,0035	731,7024	1,36488	6,4813	7,4E-05
1,52301	1,00001	1	0,000103	4	-18	0,1324	0,063	1,2991	8,6E-05	735,4026	735,4053	739,32	1,36382	6,49722	0,000172
1,57802	1,00001	1,00001	0,000275	5	-17	0,1291	0,0562	1,2671	0,00017	743,2375	743,242	747,5135	1,36274	6,51364	0,000338
1,63515	1,00003	1,00002	0,000613	6	-16	0,1261	0,0499	1,237	0,0003	751,7895	751,7965	756,6034	1,36159	6,53106	0,000595
1,6951	1,00006	1,00005	0,001208	7	-15	0,1232	0,0439	1,2085	0,00048	761,4174	761,4279	766,9871	1,36035	6,55009	0,000965
1,75878	1,00011	1,00009	0,002173	8	-14	0,1204	0,0383	1,1819	0,00074	772,5567	772,572	779,1378	1,35897	6,57148	0,001473
1,82733	1,00018	1,00015	0,003646	9	-13	0,1179	0,0331	1,157	0,00107	785,7189	785,7408	793,6027	1,3574	6,596	0,002144
1,90215	1,00029	1,00024	0,005789	10	-12	0,1156	0,0282	1,1339	0,0015	801,4865	801,5179	810,9956	1,35559	6,62452	0,003003
1,98482	1,00045	1,00037	0,008792	11	-11	0,1134	0,0237	1,1126	0,00204	820,5048	820,5497	831,9871	1,35349	6,65785	0,004075
2,07712	1,00065	1,00055	0,012867	12	-10	0,1114	0,0196	1,0932	0,00269	843,4694	843,5337	857,289	1,35108	6,69674	0,005382
2,18096	1,00093	1,00079	0,018249	13	-9	0,1096	0,0159	1,0755	0,00347	871,1086	871,2006	887,6355	1,34832	6,74177	0,006946
2,2983	1,00128	1,0011	0,025195	14	-8	0,108	0,0126	1,0597	0,00439	904,1624	904,2939	923,7599	1,34523	6,79328	0,008783
2,43105	1,00172	1,0015	0,033978	15	-7	0,1066	0,0096	1,0457	0,00545	943,3574	943,5447	966,368	1,3418	6,85129	0,010904
2,581	1,00228	1,002	0,044883	16	-6	0,1053	0,0071	1,0336	0,00666	989,3787	989,6435	1016,11	1,33809	6,91552	0,013315
2,74968	1,00295	1,00261	0,058198	17	-5	0,1043	0,0049	1,0234	0,008	1042,841	1043,211	1073,548	1,33415	6,98529	0,01601
2,93822	1,00376	1,00336	0,074207	18	-4	0,1034	0,0031	1,015	0,00949	1104,256	1104,768	1139,131	1,33005	7,05965	0,018975
3,14726	1,00473	1,00424	0,093182	19	-3	0,1028	0,0018	1,0084	0,01109	1174,005	1174,7	1213,155	1,32587	7,13738	0,022182
3,3768	1,00585	1,00529	0,115364	20	-2	0,1023	0,0008	1,0037	0,01279	1252,306	1253,23	1295,744	1,32169	7,21712	0,025589
3,62613	1,00715	1,0065	0,140953	21	-1	0,102	0,0002	1,0009	0,01457	1339,182	1340,388	1386,81	1,31759	7,29746	0,02914

Продолжение таблицы А3

3,89372	1,00863	1,00789	0,170093	22	0	0,1019	0	1	0,01638	1434,438	1435,977	1486,035	1,31363	7,37702	0,032761
4,17716	1,01029	1,00946	0,202855	23	1	0,102	0,0002	1,0009	0,01818	1537,631	1539,551	1592,842	1,30986	7,45458	0,036364
4,47315	1,01213	1,01121	0,239219	24	2	0,1023	0,0008	1,0037	0,01992	1648,053	1650,398	1706,385	1,30632	7,52904	0,039845
4,7775	1,01415	1,01314	0,279064	25	3	0,1028	0,0018	1,0084	0,02155	1764,718	1767,523	1825,541	1,30305	7,59954	0,043091
5,08523	1,01634	1,01525	0,322155	26	4	0,1034	0,0031	1,015	0,02299	1886,365	1889,653	1948,917	1,30006	7,6654	0,045978
5,39065	1,01867	1,0175	0,368133	27	5	0,1043	0,0049	1,0234	0,02419	2011,469	2015,251	2074,873	1,29735	7,72616	0,048384
5,6876	1,02112	1,0199	0,416517	28	6	0,1053	0,0071	1,0336	0,0251	2138,276	2142,551	2201,562	1,29492	7,78151	0,050192
5,96965	1,02367	1,0224	0,466709	29	7	0,1066	0,0096	1,0457	0,02565	2264,847	2269,601	2326,989	1,29277	7,83133	0,051297
6,23038	1,02627	1,02497	0,518006	30	8	0,108	0,0126	1,0597	0,02581	2389,13	2394,339	2449,084	1,29088	7,8756	0,051617
6,46373	1,02889	1,02758	0,569623	31	9	0,1096	0,0159	1,0755	0,02555	2509,038	2514,667	2565,791	1,28925	7,91441	0,051101
6,66428	1,03148	1,03018	0,620724	32	10	0,1114	0,0196	1,0932	0,02487	2622,544	2628,552	2675,161	1,28785	7,94795	0,049736
6,82755	1,034	1,03274	0,67046	33	11	0,1134	0,0237	1,1126	0,02377	2727,777	2734,118	2775,447	1,28668	7,97647	0,047548
6,95027	1,03641	1,03521	0,718008	34	12	0,1156	0,0282	1,1339	0,0223	2823,117	2829,741	2865,198	1,2857	8,00027	0,044609
7,03057	1,03868	1,03754	0,762617	35	13	0,1179	0,0331	1,157	0,02052	2907,28	2914,136	2943,329	1,28491	8,01971	0,041032
7,06805	1,04076	1,03972	0,803649	36	14	0,1204	0,0383	1,1819	0,01848	2979,379	2986,418	3009,174	1,28429	8,03516	0,036964
7,06377	1,04263	1,04169	0,840613	37	15	0,1232	0,0439	1,2085	0,01629	3038,969	3046,144	3062,509	1,28381	8,04702	0,032576
7,02017	1,04428	1,04346	0,873189	38	16	0,1261	0,0499	1,237	0,01403	3086,05	3093,316	3103,549	1,28346	8,05571	0,028054
6,94081	1,04571	1,04499	0,901243	39	17	0,1291	0,0562	1,2671	0,01179	3121,047	3128,364	3132,902	1,28322	8,06163	0,02358
6,83014	1,0469	1,0463	0,924823	40	18	0,1324	0,063	1,2991	0,00966	3144,757	3152,09	3151,514	1,28308	8,06518	0,019318
6,69317	1,04788	1,04739	0,944141	41	19	0,1358	0,07	1,3327	0,0077	3158,27	3165,588	3160,573	1,28302	8,06675	0,015406
6,5351	1,04866	1,04827	0,959547	42	20	0,1394	0,0775	1,3681	0,00597	3162,876	3170,154	3161,422	1,28302	8,06669	0,011943
6,36106	1,04927	1,04897	0,97149	43	21	0,1432	0,0853	1,4051	0,00449	3159,967	3167,183	3155,453	1,28307	8,06531	0,008987
6,17581	1,04972	1,0495	0,980478	44	22	0,1471	0,0934	1,4438	0,00328	3150,938	3158,075	3144,024	1,28317	8,06289	0,006555
5,98361	1,05006	1,04989	0,987032	45	23	0,1513	0,1019	1,4842	0,00231	3137,11	3144,155	3128,387	1,2833	8,05968	0,004626
5,78803	1,05029	1,05017	0,991658	46	24	0,1555	0,1108	1,5262	0,00158	3119,664	3126,608	3109,637	1,28345	8,05588	0,003154
5,59198	1,05045	1,05037	0,994813	47	25	0,16	0,12	1,5698	0,00104	3099,609	3106,445	3088,687	1,28362	8,05164	0,002074
5,39772	1,05056	1,0505	0,996887	48	26	0,1646	0,1295	1,615	0,00066	3077,764	3084,488	3066,264	1,28381	8,04709	0,001314
5,20691	1,05062	1,05059	0,998201	49	27	0,1694	0,1393	1,6618	0,0004	3054,765	3061,372	3042,923	1,284	8,04232	0,000799
5,0207	1,05066	1,05064	0,999	50	28	0,1743	0,1495	1,7101	0,00023	3031,082	3037,573	3019,068	1,2842	8,03739	0,000467

Таблица А4 - Результаты теплового расчета модернизируемого двигателя с повышенной эффективностью рабочего процесса при  $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	y(f1)	X <sub>1-2</sub>	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Средняя температура на участке, К	k1-2	K1-2	Доля сгоревшей смеси на участке
1,14246	1	1	0	0	-25	0,1606	0,12	1,5698	3,1E-08	669,167	669,167	672,705			6,28E-08
1,18753	1	1	6,28E-08	1	-24	0,1561	0,1108	1,5262	7,3E-07	676,243	676,244	679,785	1,37302	6,361683	1,46E-06
1,23393	1	1	1,52E-06	2	-23	0,1518	0,1019	1,4842	4,2E-06	683,326	683,328	686,884	1,37183	6,378807	8,31E-06
1,28164	1	1	9,83E-06	3	-22	0,1477	0,0934	1,4438	1,4E-05	690,441	690,445	694,041	1,37066	6,395734	2,71E-05
1,33069	1	1,000001	3,69E-05	4	-21	0,1437	0,0853	1,4051	3,3E-05	697,64	697,647	701,324	1,36951	6,41256	6,61E-05
1,38117	1,00001	1,000004	0,000103	5	-20	0,14	0,0775	1,3681	6,8E-05	705,009	705,02	708,839	1,36836	6,429445	0,000135
1,43323	1,00001	1,000009	0,000238	6	-19	0,1363	0,07	1,3327	0,00012	712,669	712,686	716,727	1,3672	6,446622	0,000246
1,48713	1,00002	1,000018	0,000484	7	-18	0,1329	0,063	1,2991	0,00021	720,785	720,81	725,174	1,36601	6,464394	0,000411
1,54321	1,00005	1,000035	0,000895	8	-17	0,1296	0,0562	1,2671	0,00032	729,564	729,598	734,412	1,36475	6,483141	0,000643
1,60194	1,00008	1,000062	0,001538	9	-16	0,1265	0,0499	1,237	0,00048	739,26	739,306	744,717	1,36342	6,503311	0,000958
1,66393	1,00013	1,000103	0,002495	10	-15	0,1236	0,0439	1,2085	0,00069	750,175	750,236	756,416	1,36196	6,525413	0,00137
1,72992	1,0002	1,000162	0,003866	11	-14	0,1209	0,0383	1,1819	0,00095	762,658	762,74	769,882	1,36036	6,550004	0,001897
1,80081	1,00029	1,000245	0,005763	12	-13	0,1184	0,0331	1,157	0,00128	777,106	777,213	785,531	1,35857	6,577665	0,002555
1,8776	1,00042	1,000358	0,008318	13	-12	0,116	0,0282	1,1339	0,00168	793,955	794,096	803,819	1,35657	6,608969	0,003359
1,96144	1,00059	1,000509	0,011677	14	-11	0,1138	0,0237	1,1126	0,00216	813,682	813,866	825,235	1,35433	6,644451	0,004326
2,05359	1,00081	1,000705	0,016003	15	-10	0,1118	0,0196	1,0932	0,00274	836,788	837,028	850,291	1,35183	6,684558	0,005472
2,15534	1,00109	1,000954	0,021475	16	-9	0,11	0,0159	1,0755	0,0034	863,794	864,108	879,511	1,34906	6,729611	0,006809
2,26801	1,00144	1,001267	0,028284	17	-8	0,1084	0,0126	1,0597	0,00417	895,227	895,635	913,415	1,34604	6,77976	0,008348
2,39287	1,00187	1,001653	0,036632	18	-7	0,107	0,0096	1,0457	0,00505	931,604	932,13	952,509	1,34276	6,834956	0,010099
2,53109	1,00238	1,002122	0,046731	19	-6	0,1057	0,0071	1,0336	0,00603	973,415	974,09	997,262	1,33927	6,894929	0,012063
2,68364	1,00299	1,002686	0,058794	20	-5	0,1047	0,0049	1,0234	0,00712	1021,11	1021,97	1048,09	1,33562	6,959194	0,014241
2,85124	1,00372	1,003356	0,073035	21	-4	0,1038	0,0031	1,015	0,00831	1075,07	1076,16	1105,34	1,33184	7,027067	0,016624
3,03427	1,00457	1,004142	0,089659	22	-3	0,1032	0,0018	1,0084	0,0096	1135,61	1136,97	1169,28	1,32799	7,097705	0,019196
3,23269	1,00554	1,005054	0,108855	23	-2	0,1027	0,0008	1,0037	0,01097	1202,94	1204,61	1240,04	1,32414	7,170155	0,021935
3,446	1,00666	1,006101	0,130791	24	-1	0,1024	0,0002	1,0009	0,0124	1277,15	1279,17	1317,66	1,32034	7,243412	0,024807
3,67316	1,00792	1,007291	0,155598	25	0	0,1023	0	1	0,01388	1358,18	1360,61	1402	1,31663	7,316474	0,027769

Продолжение таблицы А4

3,91255	1,00934	1,008629	0,183367	26	1	0,1024	0,0002	1,0009	0,01538	1445,83	1448,71	1492,79	1,31307	7,388392	0,030767
4,16197	1,0109	1,01012	0,214134	27	2	0,1027	0,0008	1,0037	0,01687	1539,74	1543,11	1589,54	1,30968	7,458307	0,033738
4,41864	1,01262	1,011762	0,247872	28	3	0,1032	0,0018	1,0084	0,0183	1639,34	1643,23	1691,62	1,30649	7,525477	0,03661
4,67919	1,01448	1,013553	0,284482	29	4	0,1038	0,0031	1,015	0,01965	1743,89	1748,32	1798,17	1,30352	7,589289	0,039302
4,93977	1,01649	1,015485	0,323783	30	5	0,1047	0,0049	1,0234	0,02086	1852,45	1857,42	1908,17	1,30079	7,649264	0,041729
5,19614	1,01861	1,017548	0,365512	31	6	0,1057	0,0071	1,0336	0,0219	1963,89	1969,42	2020,41	1,29828	7,70505	0,043804
5,44375	1,02084	1,019726	0,409316	32	7	0,107	0,0096	1,0457	0,02272	2076,93	2083	2133,53	1,29602	7,756413	0,045444
5,67794	1,02315	1,021998	0,45476	33	8	0,1084	0,0126	1,0597	0,02328	2190,14	2196,73	2246,07	1,29398	7,803222	0,04657
5,89408	1,02553	1,02434	0,501329	34	9	0,11	0,0159	1,0755	0,02356	2301,99	2309,08	2356,45	1,29217	7,845436	0,047117
6,0878	1,02792	1,026725	0,548446	35	10	0,1118	0,0196	1,0932	0,02352	2410,92	2418,46	2463,13	1,29057	7,883092	0,047037
6,25513	1,03032	1,029122	0,595484	36	11	0,1138	0,0237	1,1126	0,02315	2515,33	2523,29	2564,54	1,28917	7,916286	0,046305
6,39274	1,03268	1,031498	0,641789	37	12	0,116	0,0282	1,1339	0,02246	2613,75	2622,07	2659,26	1,28797	7,945173	0,044921
6,49805	1,03496	1,033821	0,68671	38	13	0,1184	0,0331	1,157	0,02146	2704,78	2713,42	2746,01	1,28695	7,969946	0,042911
6,56939	1,03715	1,036057	0,729621	39	14	0,1209	0,0383	1,1819	0,02017	2787,25	2796,15	2823,73	1,28609	7,990836	0,040334
6,6061	1,0392	1,038176	0,769955	40	15	0,1236	0,0439	1,2085	0,01864	2860,21	2869,34	2891,62	1,28538	8,008104	0,037272
6,60849	1,0411	1,040152	0,807227	41	16	0,1265	0,0499	1,237	0,01692	2923,03	2932,32	2949,18	1,28482	8,022029	0,033832
6,57787	1,04282	1,041962	0,841059	42	17	0,1296	0,0562	1,2671	0,01507	2975,34	2984,75	2996,25	1,28438	8,032909	0,030138
6,51643	1,04436	1,043591	0,871197	43	18	0,1329	0,063	1,2991	0,01316	3017,15	3026,63	3032,93	1,28405	8,041049	0,026322
6,42709	1,0457	1,045028	0,89752	44	19	0,1363	0,07	1,3327	0,01126	3048,72	3058,24	3059,68	1,28382	8,046759	0,022517
6,31336	1,04684	1,046271	0,920036	45	20	0,14	0,0775	1,3681	0,00942	3070,63	3080,15	3077,15	1,28367	8,050344	0,018845
6,17909	1,0478	1,047324	0,938882	46	21	0,1437	0,0853	1,4051	0,00771	3083,67	3093,16	3086,23	1,2836	8,0521	0,015415
6,02828	1,04859	1,048196	0,954297	47	22	0,1477	0,0934	1,4438	0,00615	3088,79	3098,23	3087,93	1,2836	8,052309	0,012309
5,86486	1,04922	1,048902	0,966605	48	23	0,1518	0,1019	1,4842	0,00479	3087,07	3096,43	3083,35	1,28364	8,051233	0,009583
5,69258	1,0497	1,04946	0,976188	49	24	0,1561	0,1108	1,5262	0,00363	3079,62	3088,88	3073,57	1,28372	8,049111	0,007265
5,51479	1,05007	1,049888	0,983453	50	25	0,1606	0,12	1,5698	0,00268	3067,51	3076,66	3059,64	1,28384	8,046155	0,005357
5,33441	1,05035	1,05021	0,98881	51	26	0,1652	0,1295	1,615	0,00192	3051,76	3060,79	3042,52	1,28399	8,042548	0,003836
5,15387	1,05054	1,050444	0,992646	52	27	0,17	0,1393	1,6618	0,00133	3033,27	3042,17	3023,04	1,28415	8,038444	0,002664
4,9751	1,05068	1,050609	0,99531	53	28	0,1749	0,1495	1,7101	0,0009	3012,8	3021,57	3001,89	1,28433	8,033972	0,001792
4,7996	1,05077	1,050723	0,997102	54	29	0,18	0,16	1,7599	0,00058	2990,99	2999,61	2979,65	1,28453	8,029231	0,001166
4,62842	1,05083	1,050798	0,998268	55	30	0,1853	0,1708	1,8113	0,00037	2968,32	2976,8	2956,75	1,28473	8,024299	0,000732

Таблица А5 - Результаты теплового расчета модернизируемого двигателя с повышенной эффективностью рабочего процесса при  $n = 6200 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	y(f1)	X <sub>1-2</sub>	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Средняя температура на участке, К	k1-2	K1-2	Доля сгоревшей смеси на участке
0,977444	1	1	0	0	-28	0,18203	0,14954	1,71031	6,86E-09	648,93	648,93	652,45			1,37E-08
1,016792	1	1	1,37E-08	1	-27	0,17689	0,13936	1,66198	1,84E-07	655,97	655,97	659,51	1,377	6,31	3,68E-07
1,057533	1	1	3,82E-07	2	-26	0,17191	0,12951	1,61519	1,15E-06	663,05	663,05	666,60	1,375	6,33	2,29E-06
1,099656	1	1	2,68E-06	3	-25	0,16709	0,11999	1,56997	3,99E-06	670,15	670,16	673,73	1,374	6,35	7,97E-06
1,143154	1,000001	1	1,06E-05	4	-24	0,16245	0,11081	1,52635	1,02E-05	677,30	677,31	680,90	1,373	6,36	2,04E-05
1,188028	1,000002	1,000001	3,11E-05	5	-23	0,15798	0,10197	1,48433	2,17E-05	684,51	684,52	688,16	1,372	6,38	4,35E-05
1,234292	1,000004	1,000003	7,46E-05	6	-22	0,15368	0,09346	1,44396	4,08E-05	691,81	691,83	695,53	1,370	6,40	8,17E-05
1,281981	1,000008	1,000006	0,000156	7	-21	0,14956	0,08531	1,40523	7,02E-05	699,26	699,29	703,09	1,369	6,42	0,00014
1,331157	1,000015	1,000012	0,000297	8	-20	0,14562	0,07751	1,36818	0,000113	706,92	706,96	710,90	1,368	6,43	0,000225
1,381914	1,000027	1,000021	0,000522	9	-19	0,14185	0,07007	1,33281	0,000172	714,89	714,94	719,08	1,367	6,45	0,000343
1,434387	1,000044	1,000035	0,000865	10	-18	0,13827	0,06298	1,29916	0,000251	723,27	723,34	727,74	1,366	6,47	0,000502
1,488757	1,00007	1,000057	0,001367	11	-17	0,13487	0,05626	1,26723	0,000354	732,21	732,29	737,03	1,364	6,49	0,000708
1,545261	1,000106	1,000088	0,002075	12	-16	0,13166	0,0499	1,23703	0,000485	741,85	741,95	747,11	1,363	6,51	0,00097
1,604192	1,000155	1,00013	0,003045	13	-15	0,12863	0,04392	1,2086	0,000649	752,38	752,51	758,20	1,362	6,53	0,001298
1,665907	1,000221	1,000188	0,004343	14	-14	0,12579	0,0383	1,18193	0,00085	764,02	764,17	770,50	1,360	6,55	0,0017
1,730828	1,000308	1,000264	0,006044	15	-13	0,12315	0,03306	1,15704	0,001093	776,99	777,17	784,27	1,359	6,58	0,002186
1,799437	1,000419	1,000363	0,008229	16	-12	0,12069	0,0282	1,13395	0,001382	791,55	791,77	799,77	1,357	6,61	0,002764
1,872275	1,00056	1,000489	0,010993	17	-11	0,11842	0,02372	1,11266	0,001723	807,99	808,25	817,29	1,355	6,64	0,003445
1,949929	1,000735	1,000648	0,014438	18	-10	0,11635	0,01962	1,09319	0,002119	826,60	826,92	837,14	1,353	6,67	0,004238
2,033021	1,000951	1,000843	0,018677	19	-9	0,11447	0,0159	1,07554	0,002576	847,69	848,07	859,64	1,351	6,71	0,005151
2,122186	1,001213	1,001082	0,023828	20	-8	0,11279	0,01257	1,05973	0,003096	871,59	872,04	885,11	1,348	6,75	0,006193
2,218048	1,001529	1,001371	0,030021	21	-7	0,1113	0,00963	1,04576	0,003684	898,63	899,16	913,87	1,346	6,79	0,007369
2,321195	1,001904	1,001716	0,037389	22	-6	0,11001	0,00708	1,03364	0,004342	929,12	929,74	946,25	1,343	6,84	0,008685
2,432141	1,002346	1,002125	0,046074	23	-5	0,10892	0,00492	1,02337	0,005072	963,39	964,11	982,55	1,340	6,89	0,010144
2,551299	1,002863	1,002605	0,056218	24	-4	0,10802	0,00315	1,01496	0,005873	1001,72	1002,56	1023,05	1,337	6,94	0,011747
2,67894	1,003461	1,003162	0,067965	25	-3	0,10733	0,00177	1,00842	0,006745	1044,38	1045,35	1068,00	1,334	6,99	0,013491

Продолжение таблицы А5

2,815162	1,004148	1,003805	0,081456	26	-2	0,10683	0,00079	1,00374	0,007685	1091,61	1092,71	1117,60	1,330	7,05	0,015369
2,959857	1,004931	1,004539	0,096825	27	-1	0,10653	0,0002	1,00094	0,008687	1143,58	1144,82	1172,00	1,327	7,11	0,017374
3,112681	1,005816	1,005373	0,114199	28	0	0,10643	0	1	0,009744	1200,42	1201,81	1231,30	1,324	7,17	0,019488
3,273033	1,006808	1,006312	0,133687	29	1	0,10653	0,0002	1,00094	0,010847	1262,18	1263,72	1295,51	1,321	7,23	0,021694
3,440039	1,007913	1,00736	0,155381	30	2	0,10683	0,00079	1,00374	0,011983	1328,84	1330,54	1364,56	1,318	7,30	0,023965
3,612544	1,009133	1,008523	0,179346	31	3	0,10733	0,00177	1,00842	0,013136	1400,29	1402,16	1438,30	1,315	7,36	0,026272
3,78911	1,010471	1,009802	0,205618	32	4	0,10802	0,00315	1,01496	0,014289	1476,32	1478,36	1516,47	1,312	7,42	0,028579
3,968032	1,011926	1,011199	0,234197	33	5	0,10892	0,00492	1,02337	0,015422	1556,63	1558,83	1598,71	1,309	7,47	0,030844
4,147358	1,013497	1,012712	0,265041	34	6	0,11001	0,00708	1,03364	0,016511	1640,80	1643,17	1684,55	1,306	7,53	0,033022
4,324921	1,015179	1,014338	0,298063	35	7	0,11113	0,00963	1,04576	0,017531	1728,30	1730,83	1773,40	1,304	7,58	0,035063
4,498384	1,016964	1,016072	0,333126	36	8	0,11279	0,01257	1,05973	0,018458	1818,50	1821,19	1864,57	1,301	7,63	0,036915
4,665295	1,018844	1,017904	0,370041	37	9	0,11447	0,0159	1,07554	0,019263	1910,64	1913,50	1957,27	1,299	7,68	0,038525
4,823148	1,020806	1,019825	0,408566	38	10	0,11635	0,01962	1,09319	0,019921	2003,91	2006,91	2050,63	1,297	7,73	0,039842
4,969458	1,022835	1,021821	0,448408	39	11	0,11842	0,02372	1,11266	0,020408	2097,36	2100,51	2143,69	1,296	7,77	0,040816
5,101831	1,024914	1,023874	0,489224	40	12	0,12069	0,0282	1,13395	0,020703	2190,03	2193,31	2235,45	1,294	7,80	0,041405
5,218049	1,027022	1,025968	0,53063	41	13	0,12315	0,03306	1,15704	0,020788	2280,87	2284,29	2324,87	1,292	7,84	0,041575
5,316142	1,029139	1,028081	0,572205	42	14	0,12579	0,0383	1,18193	0,020651	2368,87	2372,40	2410,93	1,291	7,87	0,041302
5,394464	1,031243	1,030191	0,613507	43	15	0,12863	0,04392	1,2086	0,020287	2452,99	2456,63	2492,63	1,290	7,90	0,040574
5,451754	1,033309	1,032276	0,654081	44	16	0,13166	0,0499	1,23703	0,019698	2532,27	2536,01	2569,04	1,289	7,92	0,039396
5,487187	1,035315	1,034312	0,693478	45	17	0,13487	0,05626	1,26723	0,018894	2605,82	2609,64	2639,34	1,288	7,94	0,037788
5,500411	1,03724	1,036277	0,731266	46	18	0,13827	0,06298	1,29916	0,017892	2672,87	2676,76	2702,83	1,287	7,96	0,035784
5,491563	1,039062	1,038151	0,767049	47	19	0,14185	0,07007	1,33281	0,016717	2732,79	2736,74	2758,96	1,287	7,98	0,033434
5,461261	1,040764	1,039913	0,800483	48	20	0,14562	0,07751	1,36818	0,015401	2785,13	2789,12	2807,36	1,286	7,99	0,030802
5,41058	1,042333	1,041549	0,831285	49	21	0,14956	0,08531	1,40523	0,013982	2829,59	2833,61	2847,84	1,286	8,00	0,027963
5,341005	1,043757	1,043045	0,859248	50	22	0,15368	0,09346	1,44396	0,012498	2866,10	2870,13	2880,42	1,285	8,01	0,024997
5,254368	1,04503	1,044393	0,884245	51	23	0,15798	0,10197	1,48433	0,010993	2894,75	2898,79	2905,28	1,285	8,01	0,021986
5,152764	1,04615	1,04559	0,906231	52	24	0,16245	0,11081	1,52635	0,009507	2915,81	2919,85	2922,77	1,285	8,02	0,019014
5,03847	1,047118	1,046634	0,925245	53	25	0,16709	0,11999	1,56997	0,008077	2929,73	2933,76	2933,41	1,285	8,02	0,016154
4,913842	1,04794	1,047529	0,941398	54	26	0,17191	0,12951	1,61519	0,006736	2937,08	2941,08	2937,80	1,285	8,02	0,013471
4,781234	1,048627	1,048284	0,95487	55	27	0,17689	0,13936	1,66198	0,005509	2938,52	2942,49	2936,65	1,285	8,02	0,011018
4,64291	1,049188	1,048907	0,965887	56	28	0,18203	0,14954	1,71031	0,004415	2934,78	2938,71	2930,70	1,285	8,02	0,00883
4,500976	1,049637	1,049412	0,974717	57	29	0,18734	0,16004	1,76017	0,003464	2926,62	2930,51	2920,71	1,285	8,02	0,006927

Продолжение таблицы А5

4,357325	1,04999	1,049814	0,981644	58	30	0,1928	0,17085	1,81153	0,002658	2914,80	2918,64	2907,41	1,285	8,01	0,005315
4,213599	1,050261	1,050125	0,986959	59	31	0,19843	0,18197	1,86436	0,001992	2900,03	2903,82	2891,50	1,285	8,01	0,003984
4,071178	1,050464	1,050362	0,990944	60	32	0,2042	0,1934	1,91864	0,001458	2882,97	2886,71	2873,58	1,285	8,01	0,002915
3,931172	1,050612	1,050538	0,993859	61	33	0,21013	0,20512	1,97434	0,00104	2864,195	2867,88	2854,204	1,286	8,00	0,002079
3,794438	1,050718	1,050665	0,995938	62	34	0,21621	0,21715	2,03144	0,000722	2844,21	2847,85	2833,82	1,286	8,00	0,001445
3,661603	1,050791	1,050755	0,997383	63	35	0,22243	0,22946	2,08991	0,000488	2823,43	2827,01	2812,79	1,286	7,99	0,000976
3,533094	1,050841	1,050816	0,998359	64	36	0,2288	0,24205	2,14972	0,000321	2802,16	2805,69	2791,42	1,286	7,99	0,000641
3,409174	1,050874	1,050858	0,999	65	37	0,2353	0,25492	2,21085	0,000204	2780,68	2784,15	2769,92	1,286	7,98	0,000408

Таблица А6 - Расчёт процесса сгорания базового двигателя ВАЗ при  $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	$\gamma(f1)$	$X_{1-2}$	Средняя температура на участке, К	$k_{1-2}$	$K_{1-2}$	Доля сгоревшей смеси на участке
1,41793	1	1	0	0	-25	707,4939	707,4939	0,13681	0,12	1,6598	1,7E-07	744,3706			3,4E-07
1,47891	1	1	3,39E-07	1	-24	781,2473	715,4714	0,13264	0,1108	1,6093	2,9E-06	784,5168	1,362	6,5243	5,9E-06
1,54196	1	1	6,23E-06	2	-23	787,7863	723,4277	0,12864	0,1019	1,5606	1,4E-05	791,2088	1,3568	6,6059	2,8E-05
1,60736	1	1	3,42E-05	3	-22	794,6313	731,5266	0,12478	0,0934	1,5139	4E-05	798,4457	1,3559	6,6189	8E-05
1,67531	1	1	0,000114	4	-21	802,2602	739,8726	0,12109	0,0853	1,4691	8,9E-05	806,7917	1,3551	6,6329	0,00018
1,74609	1	1	0,000292	5	-20	811,3233	748,6104	0,11755	0,0775	1,4262	0,00017	816,9829	1,3541	6,6487	0,00034
1,82008	1	1	0,000628	6	-19	822,6425	757,9249	0,11418	0,07	1,3852	0,00029	829,9225	1,3529	6,6678	0,00057
1,89779	1,0001	1	0,001199	7	-18	837,2025	768,0412	0,11097	0,063	1,3463	0,00045	846,6665	1,3514	6,6915	0,0009
1,97984	1,0001	1,0001	0,002101	8	-17	856,1305	779,2219	0,10792	0,0562	1,3093	0,00067	868,3973	1,3496	6,7214	0,00134
2,067	1,0002	1,0001	0,003443	9	-16	880,6642	791,764	0,10504	0,0499	1,2744	0,00096	896,3845	1,3473	6,759	0,00191
2,16011	1,0003	1,0002	0,005354	10	-15	912,1048	805,994	0,10233	0,0439	1,2415	0,00131	931,9314	1,3445	6,8053	0,00263
2,26016	1,0004	1,0003	0,007979	11	-14	951,7581	822,2609	0,09978	0,0383	1,2106	0,00175	976,3112	1,3412	6,8612	0,0035
2,36819	1,0006	1,0005	0,011479	12	-13	1000,864	840,9297	0,09741	0,0331	1,1818	0,00227	1030,693	1,3375	6,9265	0,00455
2,48529	1,0008	1,0007	0,016028	13	-12	1060,521	862,3739	0,09521	0,0282	1,1551	0,00289	1096,063	1,3333	7,0007	0,00579
2,61258	1,0011	1,001	0,021817	14	-11	1131,605	886,9684	0,09317	0,0237	1,1304	0,00361	1173,148	1,3288	7,0822	0,00723
2,75113	1,0015	1,0013	0,029042	15	-10	1214,691	915,0826	0,09132	0,0196	1,1079	0,00443	1262,333	1,3242	7,1691	0,00887
2,90197	1,0019	1,0017	0,037911	16	-9	1309,976	947,073	0,08963	0,0159	1,0874	0,00536	1363,591	1,3195	7,259	0,01072

Продолжение таблицы А6

3,06599	1,0025	1,0022	0,048633	17	-8	1417,207	983,2752	0,08812	0,0126	1,0691	0,00639	1476,415	1,315	7,3496	0,01278
3,24392	1,0031	1,0028	0,061416	18	-7	1535,623	1023,994	0,08679	0,0096	1,053	0,00752	1599,765	1,3106	7,4384	0,01504
3,43623	1,0039	1,0035	0,07646	19	-6	1663,907	1069,493	0,08563	0,0071	1,0389	0,00875	1732,039	1,3066	7,5236	0,01749
3,64306	1,0048	1,0043	0,093952	20	-5	1800,172	1119,98	0,08465	0,0049	1,0271	0,01005	1871,075	1,3029	7,6036	0,0201
3,86419	1,0058	1,0053	0,114056	21	-4	1941,979	1175,59	0,08385	0,0031	1,0173	0,01143	2014,192	1,2995	7,6774	0,02285
4,09889	1,0069	1,0063	0,136907	22	-3	2086,405	1236,374	0,08323	0,0018	1,0097	0,01285	2158,282	1,2965	7,7444	0,02569
4,34593	1,0082	1,0076	0,162601	23	-2	2230,159	1302,276	0,08278	0,0008	1,0043	0,01429	2299,958	1,2939	7,8041	0,02859
4,60349	1,0097	1,0089	0,191186	24	-1	2369,757	1373,122	0,08251	0,0002	1,0011	0,01573	2435,742	1,2917	7,8566	0,03147
4,86913	1,0113	1,0105	0,222654	25	0	2501,728	1448,605	0,08243	0	1	0,01714	2562,293	1,2898	7,9019	0,03428
5,1398	1,013	1,0121	0,256936	26	1	2622,858	1528,275	0,08251	0,0002	1,0011	0,01848	2676,641	1,2882	7,9405	0,03695
5,4119	1,0149	1,0139	0,293888	27	2	2730,424	1611,535	0,08278	0,0008	1,0043	0,0197	2776,415	1,2868	7,9727	0,03941
5,6813	1,0169	1,0159	0,333296	28	3	2822,406	1697,643	0,08323	0,0018	1,0097	0,02078	2860,016	1,2858	7,999	0,04157
5,9435	1,019	1,0179	0,374864	29	4	2897,627	1785,715	0,08385	0,0031	1,0173	0,02168	2926,726	1,2849	8,0197	0,04336
6,19375	1,0211	1,02	0,418227	30	5	2955,825	1874,747	0,08465	0,0049	1,0271	0,02236	2976,717	1,2843	8,0355	0,04472
6,4272	1,0234	1,0223	0,462944	31	6	2997,61	1963,635	0,08563	0,0071	1,0389	0,02279	3010,976	1,2838	8,0469	0,04557
6,63916	1,0257	1,0246	0,508517	32	7	3024,341	2051,208	0,08679	0,0096	1,053	0,02294	3031,136	1,2835	8,0543	0,04588
6,82523	1,028	1,0269	0,554397	33	8	3037,93	2136,262	0,08812	0,0126	1,0691	0,0228	3039,262	1,2834	8,0584	0,04561
6,98156	1,0303	1,0292	0,600006	34	9	3040,595	2217,607	0,08963	0,0159	1,0874	0,02237	3037,61	1,2833	8,0596	0,04475
7,10498	1,0326	1,0315	0,644752	35	10	3034,626	2294,109	0,09132	0,0196	1,1079	0,02165	3028,401	1,2833	8,0585	0,0433
7,19318	1,0348	1,0337	0,688055	36	11	3022,176	2364,741	0,09317	0,0237	1,1304	0,02066	3013,647	1,2835	8,0556	0,04131
7,24485	1,0369	1,0358	0,72937	37	12	3005,117	2428,62	0,09521	0,0282	1,1551	0,01942	2995,04	1,2836	8,0512	0,03884
7,25967	1,0388	1,0379	0,768206	38	13	2984,963	2485,047	0,09741	0,0331	1,1818	0,01797	2973,91	1,2839	8,0458	0,03595
7,23836	1,0407	1,0397	0,804153	39	14	2962,857	2533,536	0,09978	0,0383	1,2106	0,01637	2951,233	1,2841	8,0396	0,03274
7,1826	1,0423	1,0415	0,836893	40	15	2939,61	2573,83	0,10233	0,0439	1,2415	0,01466	2927,688	1,2844	8,0329	0,02932
7,09493	1,0438	1,0431	0,866213	41	16	2915,765	2605,902	0,10504	0,0499	1,2744	0,0129	2903,714	1,2847	8,026	0,0258
6,9786	1,0451	1,0444	0,892013	42	17	2891,664	2629,952	0,10792	0,0562	1,3093	0,01115	2879,59	1,2849	8,0188	0,02229
6,83733	1,0462	1,0457	0,914304	43	18	2867,515	2646,376	0,11097	0,063	1,3463	0,00945	2855,48	1,2852	8,0116	0,01889
6,6752	1,0472	1,0467	0,933198	44	19	2843,444	2655,742	0,11418	0,07	1,3852	0,00785	2831,484	1,2855	8,0045	0,0157
6,49636	1,048	1,0476	0,948895	45	20	2819,524	2658,745	0,11755	0,0775	1,4262	0,00639	2807,665	1,2858	7,9974	0,01277
6,30489	1,0486	1,0483	0,961668	46	21	2795,805	2656,165	0,12109	0,0853	1,4691	0,00509	2784,062	1,2861	7,9904	0,01017
6,10466	1,0491	1,0489	0,971838	47	22	2772,319	2648,818	0,12478	0,0934	1,5139	0,00396	2760,706	1,2864	7,9836	0,00792
5,89913	1,0495	1,0493	0,979754	48	23	2749,092	2637,52	0,12864	0,1019	1,5606	0,00301	2737,619	1,2867	7,977	0,00602



Продолжение таблицы А6

5,69138	1,0498	1,0497	0,985773	49	24	2726,145	2623,047	0,13264	0,1108	1,6093	0,00223	2714,819	1,2869	7,9705	0,00446
5,48397	1,0501	1,05	0,990237	50	25	2703,494	2606,108	0,13681	0,12	1,6598	0,00161	2692,324	1,2872	7,9642	0,00323
5,27898	1,0502	1,0501	0,993465	51	26	2681,154	2587,327	0,14112	0,1295	1,7121	0,00114	2670,145	1,2874	7,958	0,00227
5,07804	1,0503	1,0503	0,995738	52	27	2659,136	2567,234	0,14559	0,1393	1,7663	0,00078	2648,293	1,2877	7,9519	0,00156
4,88237	1,0504	1,0504	0,997295	53	28	2637,45	2546,262	0,1502	0,1495	1,8222	0,00052	2626,777	1,2879	7,9459	0,00104
4,6928	1,0505	1,0505	0,998331	54	29	2616,105	2524,755	0,15495	0,16	1,8799	0,00033	2605,605	1,2882	7,94	0,00067
4,50989	1,0505	1,0505	0,999	55	30	2595,105	2502,974	0,15985	0,1708	1,9394	0,00021	2584,781	1,2884	7,9341	0,00042

Таблица А7 - Расчёт процесса сгорания базового двигателя ВАЗ при  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	$\gamma(f\lambda)$	$X_{1-2}$	Средняя температура на участке, К	$k_{1-2}$	$K_{1-2}$	Доля сгоревшей смеси на участке
1,05479	1	1	0	0	-30	658,126	658,126	0,1711	0,1708	1,9394	5,2E-08	662,5953			1,04E-07
1,10093	1	1	1,04E-07	1	-29	667,0646	665,8578	0,1658	0,16	1,8799	1E-06	670,6386	1,37476	6,33679	2,08E-06
1,14916	1	1	2,19E-06	2	-28	674,2125	673,6889	0,1607	0,1495	1,8222	5,4E-06	677,8383	1,37337	6,35664	1,08E-05
1,19957	1	1	1,3E-05	3	-27	681,4641	681,6519	0,1558	0,1393	1,7663	1,7E-05	685,1719	1,37215	6,37413	3,32E-05
1,25231	1	1	4,62E-05	4	-26	688,8796	689,798	0,151	0,1295	1,7121	3,9E-05	692,7133	1,37094	6,39169	7,71E-05
1,30755	1,00001	1	0,000123	5	-25	696,547	698,2024	0,1464	0,12	1,6598	7,6E-05	700,5659	1,36972	6,40949	0,000152
1,36551	1,00001	1,00001	0,000275	6	-24	704,5849	706,9666	0,142	0,1108	1,6093	0,00013	708,8646	1,36848	6,42774	0,000267
1,42651	1,00003	1,00002	0,000542	7	-23	713,1443	716,2198	0,1377	0,1019	1,5606	0,00022	717,7772	1,36719	6,44674	0,000433
1,49091	1,00005	1,00004	0,000975	8	-22	722,41	726,1201	0,1335	0,0934	1,5139	0,00033	727,5055	1,36584	6,46681	0,000661
1,55916	1,00008	1,00007	0,001636	9	-21	732,601	736,8546	0,1296	0,0853	1,4691	0,00048	738,2858	1,36441	6,48834	0,000964
1,6318	1,00013	1,00011	0,0026	10	-20	743,9706	748,64	0,1258	0,0775	1,4262	0,00068	750,3879	1,36286	6,51175	0,001352
1,70948	1,0002	1,00017	0,003951	11	-19	756,8051	761,7209	0,1222	0,07	1,3852	0,00092	764,1138	1,36118	6,53747	0,001838
1,79292	1,00029	1,00025	0,005789	12	-18	771,4224	776,3685	0,1188	0,063	1,3463	0,00122	779,795	1,35933	6,56595	0,002434
1,88294	1,00042	1,00036	0,008223	13	-17	788,1677	792,8774	0,1155	0,0562	1,3093	0,00158	797,789	1,35729	6,59763	0,003152
1,98044	1,00058	1,0005	0,011375	14	-16	807,4102	811,5615	0,1124	0,0499	1,2744	0,002	818,4732	1,35506	6,63288	0,004004
2,08641	1,00078	1,00068	0,015379	15	-15	829,5362	832,7489	0,1095	0,0439	1,2415	0,0025	842,2392	1,35261	6,67202	0,004999
2,20185	1,00104	1,00091	0,020378	16	-14	854,9423	856,7754	0,1068	0,0383	1,2106	0,00307	869,4845	1,34994	6,71527	0,006146
2,32779	1,00135	1,00119	0,026524	17	-13	884,0268	883,9768	0,1042	0,0331	1,1818	0,00373	900,6037	1,34706	6,76271	0,007454

Продолжение таблицы А7

2,46524	1,00173	1,00154	0,033978	18	-12	917,1806	914,6807	0,1019	0,0282	1,1551	0,00446	935,9783	1,34398	6,81428	0,008927
2,61513	1,00219	1,00196	0,042906	19	-11	954,7759	949,197	0,0997	0,0237	1,1304	0,00528	975,9659	1,34073	6,86979	0,010568
2,77825	1,00272	1,00246	0,053474	20	-10	997,1559	987,8082	0,0977	0,0196	1,1079	0,00619	1020,889	1,33733	6,92886	0,012375
2,95523	1,00335	1,00304	0,065848	21	-9	1044,623	1030,759	0,0959	0,0159	1,0874	0,00717	1071,023	1,33383	6,99101	0,014342
3,14643	1,00409	1,00372	0,08019	22	-8	1097,424	1078,245	0,0943	0,0126	1,0691	0,00823	1126,585	1,33027	7,0556	0,01646
3,35192	1,00492	1,0045	0,096651	23	-7	1155,745	1130,403	0,0929	0,0096	1,053	0,00936	1187,717	1,32669	7,12194	0,018714
3,57136	1,00588	1,0054	0,115364	24	-6	1219,69	1187,3	0,0916	0,0071	1,0389	0,01054	1254,482	1,32314	7,18926	0,021081
3,80403	1,00695	1,00641	0,136445	25	-5	1289,275	1248,924	0,0906	0,0049	1,0271	0,01177	1326,845	1,31965	7,2568	0,023535
4,0487	1,00815	1,00755	0,159979	26	-4	1364,415	1315,173	0,0897	0,0031	1,0173	0,01302	1404,664	1,31627	7,3238	0,026041
4,30365	1,00948	1,00881	0,18602	27	-3	1444,913	1385,846	0,0891	0,0018	1,0097	0,01428	1487,682	1,31301	7,38957	0,028559
4,56664	1,01093	1,0102	0,21458	28	-2	1530,452	1460,638	0,0886	0,0008	1,0043	0,01552	1575,52	1,30991	7,45346	0,031043
4,83493	1,01251	1,01172	0,245623	29	-1	1620,588	1539,134	0,0883	0,0002	1,0011	0,01672	1667,668	1,30699	7,51495	0,033441
5,10529	1,01422	1,01337	0,279064	30	0	1714,748	1620,81	0,0882	0	1	0,01785	1763,489	1,30425	7,57356	0,035697
5,37408	1,01604	1,01513	0,314761	31	1	1812,229	1705,029	0,0883	0,0002	1,0011	0,01888	1862,216	1,30171	7,62895	0,037752
5,63734	1,01796	1,017	0,352513	32	2	1912,204	1791,054	0,0886	0,0008	1,0043	0,01977	1962,968	1,29936	7,68084	0,039546
5,89086	1,01997	1,01897	0,392059	33	3	2013,732	1878,053	0,0891	0,0018	1,0097	0,02051	2064,755	1,29722	7,72906	0,041021
6,13039	1,02206	1,02102	0,43308	34	4	2115,778	1965,118	0,0897	0,0031	1,0173	0,02106	2166,503	1,29527	7,77349	0,042122
6,3517	1,02421	1,02314	0,475202	35	5	2217,229	2051,283	0,0906	0,0049	1,0271	0,0214	2267,078	1,29351	7,81408	0,042804
6,55081	1,02639	1,0253	0,518006	36	6	2316,927	2135,551	0,0916	0,0071	1,0389	0,02151	2365,314	1,29193	7,85086	0,043027
6,7241	1,02858	1,02749	0,561033	37	7	2413,7	2216,921	0,0929	0,0096	1,053	0,02138	2460,047	1,29053	7,88387	0,042768
6,86846	1,03076	1,02967	0,6038	38	8	2506,394	2294,416	0,0943	0,0126	1,0691	0,02101	2550,156	1,2893	7,91321	0,042015
6,98145	1,0329	1,03183	0,645815	39	9	2593,918	2367,123	0,0959	0,0159	1,0874	0,02039	2634,596	1,28823	7,93902	0,040776
7,06136	1,03498	1,03394	0,686592	40	10	2675,274	2434,215	0,0977	0,0196	1,1079	0,01954	2712,436	1,2873	7,96145	0,039074
7,1073	1,03697	1,03597	0,725666	41	11	2749,598	2494,989	0,0997	0,0237	1,1304	0,01848	2782,895	1,28651	7,98067	0,036951
7,11921	1,03885	1,03791	0,762617	42	12	2816,191	2548,885	0,1019	0,0282	1,1551	0,01723	2845,365	1,28584	7,99689	0,034465
7,09787	1,04061	1,03973	0,797082	43	13	2874,539	2595,508	0,1042	0,0331	1,1818	0,01584	2899,438	1,28529	8,01031	0,031685
7,04483	1,04222	1,04141	0,828767	44	14	2924,337	2634,642	0,1068	0,0383	1,2106	0,01435	2944,913	1,28485	8,02115	0,028695
6,96234	1,04368	1,04295	0,857462	45	15	2965,488	2666,249	0,1095	0,0439	1,2415	0,01279	2981,797	1,28451	8,02962	0,025582
6,85319	1,04499	1,04434	0,883044	46	16	2998,106	2690,471	0,1124	0,0499	1,2744	0,01122	3010,301	1,28425	8,03596	0,022436
6,72061	1,04613	1,04556	0,90548	47	17	3022,497	2707,608	0,1155	0,0562	1,3093	0,00967	3030,818	1,28407	8,0404	0,019343
6,56811	1,04712	1,04662	0,924823	48	18	3039,138	2718,106	0,1188	0,063	1,3463	0,00819	3043,893	1,28396	8,04314	0,016381
6,39933	1,04795	1,04753	0,941203	49	19	3048,647	2722,523	0,1222	0,07	1,3852	0,00681	3050,195	1,28391	8,0444	0,013616

Продолжение таблицы А7

6,21785	1,04864	1,0483	0,95482	50	20	3051,744	2721,503	0,1258	0,0775	1,4262	0,00555	3050,478	1,28391	8,04439	0,011101
6,02714	1,04921	1,04893	0,96592	51	21	3049,212	2715,735	0,1296	0,0853	1,4691	0,00443	3045,537	1,28396	8,04329	0,008868
5,83038	1,04966	1,04943	0,974789	52	22	3041,862	2705,93	0,1335	0,0934	1,5139	0,00347	3036,176	1,28404	8,04128	0,006936
5,63044	1,05001	1,04984	0,981725	53	23	3030,49	2692,781	0,1377	0,1019	1,5606	0,00265	3023,172	1,28415	8,03851	0,005307
5,42978	1,05028	1,05015	0,987032	54	24	3015,853	2676,944	0,142	0,1108	1,6093	0,00198	3007,249	1,28429	8,03513	0,003969
5,2305	1,05049	1,05039	0,991001	55	25	2998,644	2659,016	0,1464	0,12	1,6598	0,00145	2989,057	1,28444	8,03125	0,002898
5,03426	1,05063	1,05056	0,993899	56	26	2979,471	2639,524	0,151	0,1295	1,7121	0,00103	2969,164	1,28462	8,02698	0,002064
4,84238	1,05074	1,05069	0,995963	57	27	2958,858	2618,913	0,1558	0,1393	1,7663	0,00072	2948,046	1,2848	8,02242	0,001433
4,65581	1,05081	1,05078	0,997396	58	28	2937,235	2597,555	0,1607	0,1495	1,8222	0,00048	2926,092	1,285	8,01762	0,000968
4,47524	1,05086	1,05084	0,998364	59	29	2914,949	2575,744	0,1658	0,16	1,8799	0,00032	2903,61	1,2852	8,01264	0,000636
4,30112	1,05089	1,05088	0,999	60	30	2892,271	2553,711	0,1711	0,1708	1,9394	0,0002	2880,838	1,28541	8,00754	0,000406

Таблица А8 - Расчёт процесса сгорания базового двигателя ВАЗ при  $n = 3200 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	$\gamma(f1)$	$X_{1-2}$	Средняя температура на участке, К	$k_{1-2}$	$K_{1-2}$	Доля сгоревшей смеси на участке
0,6781	1	1	0	0	-40	573,979	573,979	0,2321	0,295	2,6227	2,6E-08	577,509			5,26E-08
0,70609	1	1	5,26E-08	1	-39	581,04	580,556	0,2254	0,2814	2,5476	5,3E-07	584,269	1,39181	6,104493	1,06E-06
0,73553	1	1	1,11E-06	2	-38	587,497	587,263	0,2189	0,268	2,4739	2,8E-06	590,798	1,39028	6,12459	5,5E-06
0,7665	1	1	6,61E-06	3	-37	594,098	594,123	0,2125	0,2548	2,4016	8,4E-06	597,487	1,38882	6,143714	1,68E-05
0,79913	1	1,000001	2,34E-05	4	-36	600,877	601,166	0,2063	0,242	2,3309	2E-05	604,381	1,38737	6,163021	3,91E-05
0,83356	1	1,000002	6,26E-05	5	-35	607,886	608,437	0,2001	0,2294	2,2616	3,8E-05	611,539	1,38591	6,182621	7,7E-05
0,86995	1,00001	1,000005	0,00014	6	-34	615,192	615,995	0,1941	0,2171	2,194	6,8E-05	619,037	1,38442	6,202663	0,000135
0,90851	1,00001	1,000011	0,000275	7	-33	622,882	623,914	0,1883	0,2051	2,1279	0,00011	626,97	1,3829	6,223329	0,00022
0,94948	1,00003	1,00002	0,000495	8	-32	631,058	632,284	0,1826	0,1933	2,0634	0,00017	635,451	1,38133	6,244836	0,000336
0,99314	1,00004	1,000034	0,000831	9	-31	639,844	641,209	0,177	0,1819	2,0005	0,00024	644,612	1,37969	6,267433	0,00049
1,03982	1,00007	1,000055	0,00132	10	-30	649,38	650,813	0,1716	0,1708	1,9394	0,00034	654,604	1,37797	6,291394	0,000687
1,08991	1,0001	1,000085	0,002007	11	-29	659,828	661,232	0,1664	0,16	1,8799	0,00047	665,597	1,37615	6,317015	0,000935
1,14384	1,00015	1,000127	0,002942	12	-28	671,366	672,621	0,1613	0,1495	1,8222	0,00062	677,778	1,37421	6,3446	0,00124
1,20212	1,00021	1,000182	0,004182	13	-27	684,191	685,148	0,1563	0,1393	1,7663	0,0008	691,354	1,37213	6,374455	0,001607

Продолжение таблицы А8

1,26531	1,0003	1,000255	0,005789	14	-26	698,517	698,997	0,1515	0,1295	1,7121	0,00102	706,545	1,3699	6,406873	0,002045
1,33402	1,0004	1,000348	0,007835	15	-25	714,572	714,362	0,1469	0,12	1,6598	0,00128	723,584	1,3675	6,442121	0,002559
1,40896	1,00053	1,000466	0,010394	16	-24	732,596	731,447	0,1424	0,1108	1,6093	0,00158	742,716	1,36494	6,480425	0,003156
1,49086	1,00069	1,000612	0,01355	17	-23	752,837	750,466	0,1381	0,1019	1,5606	0,00192	764,194	1,36219	6,521956	0,003841
1,58052	1,00089	1,000791	0,017391	18	-22	775,551	771,635	0,134	0,0934	1,5139	0,00231	788,274	1,35927	6,566813	0,004619
1,67879	1,00113	1,001007	0,02201	19	-21	800,996	795,172	0,13	0,0853	1,4691	0,00275	815,212	1,35619	6,615014	0,005495
1,78655	1,00141	1,001266	0,027505	20	-20	829,427	821,293	0,1262	0,0775	1,4262	0,00324	845,259	1,35295	6,666486	0,006473
1,90468	1,00174	1,001572	0,033978	21	-19	861,091	850,206	0,1226	0,07	1,3852	0,00378	878,659	1,34959	6,721062	0,007556
2,03407	1,00212	1,00193	0,041534	22	-18	896,226	882,111	0,1191	0,063	1,3463	0,00437	915,639	1,34611	6,778485	0,008743
2,17556	1,00257	1,002347	0,050277	23	-17	935,052	917,188	0,1159	0,0562	1,3093	0,00502	956,408	1,34256	6,838408	0,010036
2,32995	1,00308	1,002827	0,060313	24	-16	977,764	955,599	0,1128	0,0499	1,2744	0,00572	1001,15	1,33896	6,900411	0,011432
2,49792	1,00367	1,003375	0,071745	25	-15	1024,53	997,482	0,1099	0,0439	1,2415	0,00646	1050,01	1,33534	6,964017	0,012926
2,68002	1,00433	1,003998	0,084671	26	-14	1075,49	1042,94	0,1071	0,0383	1,2106	0,00726	1103,12	1,33175	7,028708	0,014512
2,87663	1,00507	1,004699	0,099183	27	-13	1130,74	1092,05	0,1046	0,0331	1,1818	0,00809	1160,54	1,32819	7,093943	0,016181
3,08787	1,0059	1,005484	0,115364	28	-12	1190,33	1144,83	0,1022	0,0282	1,1551	0,00896	1222,29	1,32472	7,159182	0,017921
3,31361	1,00681	1,006356	0,133285	29	-11	1254,25	1201,28	0,1	0,0237	1,1304	0,00986	1288,35	1,32134	7,223902	0,019716
3,55339	1,00782	1,007318	0,153001	30	-10	1322,45	1261,31	0,098	0,0196	1,1079	0,01078	1358,63	1,31809	7,287611	0,02155
3,80639	1,00892	1,008372	0,174551	31	-9	1394,81	1324,82	0,0962	0,0159	1,0874	0,0117	1432,97	1,31497	7,349859	0,023401
4,07137	1,01012	1,009521	0,197953	32	-8	1471,13	1391,61	0,0946	0,0126	1,0691	0,01262	1511,14	1,312	7,41025	0,025246
4,34669	1,01141	1,010765	0,223198	33	-7	1551,16	1461,44	0,0932	0,0096	1,053	0,01353	1592,86	1,30919	7,468443	0,027058
4,63025	1,01279	1,012102	0,250256	34	-6	1634,55	1534	0,0919	0,0071	1,0389	0,0144	1677,73	1,30655	7,524158	0,028808
4,91953	1,01427	1,01353	0,279064	35	-5	1720,91	1608,92	0,0909	0,0049	1,0271	0,01523	1765,33	1,30408	7,57717	0,030466
5,21157	1,01582	1,015045	0,309531	36	-4	1809,74	1685,77	0,09	0,0031	1,0173	0,016	1855,11	1,30178	7,627311	0,032001
5,50307	1,01746	1,016641	0,341531	37	-3	1900,49	1764,03	0,0894	0,0018	1,0097	0,01669	1946,51	1,29965	7,674463	0,033379
5,79043	1,01917	1,018312	0,37491	38	-2	1992,53	1843,16	0,0889	0,0008	1,0043	0,01728	2038,86	1,29768	7,718551	0,034569
6,06982	1,02093	1,020049	0,409479	39	-1	2085,19	1922,57	0,0886	0,0002	1,0011	0,01777	2131,46	1,29588	7,759545	0,035541
6,3373	1,02275	1,021841	0,44502	40	0	2177,73	2001,6	0,0885	0	1	0,01813	2223,56	1,29423	7,797444	0,036266
6,58896	1,0246	1,023677	0,481286	41	1	2269,39	2079,61	0,0886	0,0002	1,0011	0,01836	2314,38	1,29273	7,832279	0,03672
6,821	1,02648	1,025542	0,518006	42	2	2359,37	2155,9	0,0889	0,0008	1,0043	0,01844	2403,14	1,29137	7,864105	0,036885
7,02989	1,02837	1,027424	0,554891	43	3	2446,9	2229,81	0,0894	0,0018	1,0097	0,01837	2489,05	1,29015	7,892997	0,036746
7,21249	1,03024	1,029306	0,591636	44	4	2531,19	2300,67	0,09	0,0031	1,0173	0,01815	2571,35	1,28906	7,919047	0,036296
7,36614	1,0321	1,031173	0,627933	45	5	2611,5	2367,87	0,0909	0,0049	1,0271	0,01777	2649,32	1,28809	7,942357	0,035538

## Продолжение таблицы А8

7,48878	1,03392	1,033009	0,66347	46	6	2687,14	2430,82	0,0919	0,0071	1,0389	0,01724	2722,3	1,28723	7,963044	0,034478
7,57899	1,03568	1,034798	0,697949	47	7	2757,47	2489,02	0,0932	0,0096	1,053	0,01657	2789,72	1,28648	7,98123	0,033135
7,63604	1,03737	1,036527	0,731084	48	8	2821,97	2542,02	0,0946	0,0126	1,0691	0,01577	2851,09	1,28583	7,997045	0,031534
7,65989	1,03899	1,038179	0,762617	49	9	2880,2	2589,49	0,0962	0,0159	1,0874	0,01485	2906,02	1,28528	8,010624	0,029705
7,6512	1,0405	1,039745	0,792323	50	10	2931,83	2631,17	0,098	0,0196	1,1079	0,01384	2954,24	1,28481	8,022104	0,027689
7,61123	1,04192	1,041212	0,820012	51	11	2976,65	2666,91	0,1	0,0237	1,1304	0,01276	2995,62	1,28443	8,031628	0,025529
7,54183	1,04322	1,042572	0,84554	52	12	3014,58	2696,68	0,1022	0,0282	1,1551	0,01164	3030,12	1,28412	8,039336	0,023271
7,44532	1,04441	1,043819	0,868811	53	13	3045,65	2720,52	0,1046	0,0331	1,1818	0,01048	3057,84	1,28387	8,04537	0,020964
7,32438	1,04549	1,04495	0,889775	54	14	3070,02	2738,61	0,1071	0,0383	1,2106	0,00933	3078,98	1,28369	8,049871	0,018656
7,18197	1,04644	1,045963	0,90843	55	15	3087,94	2751,17	0,1099	0,0439	1,2415	0,0082	3093,84	1,28357	8,052976	0,016392
7,02119	1,04728	1,046859	0,924823	56	16	3099,75	2758,53	0,1128	0,0499	1,2744	0,00711	3102,83	1,28349	8,054822	0,014215
6,8452	1,048	1,047641	0,939038	57	17	3105,9	2761,08	0,1159	0,0562	1,3093	0,00608	3106,39	1,28347	8,05554	0,01216
6,65713	1,04863	1,048315	0,951198	58	18	3106,87	2759,25	0,1191	0,063	1,3463	0,00513	3105,03	1,28348	8,055254	0,010256
6,45994	1,04915	1,048888	0,961454	59	19	3103,19	2753,49	0,1226	0,07	1,3852	0,00426	3099,3	1,28352	8,054084	0,008524
6,25644	1,04959	1,049368	0,969977	60	20	3095,4	2744,3	0,1262	0,0775	1,4262	0,00349	3089,74	1,2836	8,052143	0,006977
6,04915	1,04994	1,049764	0,976954	61	21	3084,07	2732,14	0,13	0,0853	1,4691	0,00281	3076,9	1,28371	8,049536	0,005622
5,84034	1,05023	1,050086	0,982576	62	22	3069,74	2717,49	0,134	0,0934	1,5139	0,00223	3061,32	1,28383	8,04636	0,004456
5,63198	1,05046	1,050344	0,987032	63	23	3052,9	2700,79	0,1381	0,1019	1,5606	0,00174	3043,48	1,28398	8,042701	0,003473
5,4257	1,05064	1,050546	0,990506	64	24	3034,05	2682,43	0,1424	0,1108	1,6093	0,00133	3023,83	1,28415	8,038639	0,00266
5,22288	1,05077	1,050703	0,993166	65	25	3013,61	2662,79	0,1469	0,12	1,6598	0,001	3002,78	1,28432	8,034245	0,002001
5,0246	1,05087	1,050822	0,995167	66	26	2991,95	2642,18	0,1515	0,1295	1,7121	0,00074	2980,68	1,28451	8,029578	0,001477
4,83169	1,05095	1,050911	0,996644	67	27	2969,41	2620,89	0,1563	0,1393	1,7663	0,00053	2957,82	1,28471	8,024691	0,001069
4,64477	1,051	1,050976	0,997714	68	28	2946,24	2599,14	0,1613	0,1495	1,8222	0,00038	2934,47	1,28492	8,019629	0,000759
4,46425	1,05104	1,051023	0,998473	69	29	2922,69	2577,14	0,1664	0,16	1,8799	0,00026	2910,81	1,28513	8,014428	0,000528
4,2904	1,05107	1,051056	0,999	70	30	2898,93	2555,02	0,1716	0,1708	1,9394	0,00018	28765,1	1,28534	8,00912	0,000359

Таблица А9 - Расчёт процесса сгорания базового двигателя ВАЗ при  $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	$\gamma(f1)$	$X_{1-2}$	Средняя температура на участке, К	$K_{1-2}$	$K_{1-2}$	Доля сгоревшей смеси на участке
0,9764	1	1	0	0	-29	650,128	650,128	0,1826	0,16	1,7599	8,7E-09	653,663			1,74E-08
1,01578	1	1	1,74E-08	1	-28	657,198	657,198	0,1774	0,1495	1,7101	2E-07	660,755	1,376	6,314	4,05E-07
1,05663	1	1	4,22E-07	2	-27	664,311	664,311	0,1724	0,1393	1,6618	1,2E-06	667,89	1,375	6,332	2,3E-06
1,09895	1	1	2,73E-06	3	-26	671,468	671,467	0,1675	0,1295	1,615	3,8E-06	675,07	1,374	6,350	7,51E-06
1,14273	1	1	1,02E-05	4	-25	678,673	678,672	0,1628	0,12	1,5698	9,2E-06	682,308	1,373	6,367	1,83E-05
1,18797	1	1,000001	2,86E-05	5	-24	685,943	685,941	0,1583	0,1108	1,5262	1,9E-05	689,621	1,371	6,385	3,75E-05
1,23469	1	1,000002	6,61E-05	6	-23	693,3	693,297	0,154	0,1019	1,4842	3,4E-05	697,039	1,370	6,402	6,82E-05
1,2829	1,00001	1,000005	0,000134	7	-22	700,778	700,774	0,1498	0,0934	1,4438	5,7E-05	704,601	1,369	6,420	0,000114
1,33263	1,00001	1,00001	0,000248	8	-21	708,423	708,417	0,1458	0,0853	1,4051	8,9E-05	712,357	1,368	6,437	0,000179
1,38393	1,00002	1,000017	0,000427	9	-20	716,292	716,284	0,1419	0,0775	1,3681	0,00013	720,372	1,367	6,455	0,000266
1,43684	1,00003	1,000028	0,000693	10	-19	724,453	724,443	0,1382	0,07	1,3327	0,00019	728,722	1,365	6,472	0,000381
1,49144	1,00005	1,000044	0,001074	11	-18	732,991	732,979	0,1348	0,063	1,2991	0,00026	737,497	1,364	6,491	0,000528
1,54784	1,00008	1,000067	0,001602	12	-17	742,004	741,988	0,1314	0,0562	1,2671	0,00036	746,802	1,363	6,510	0,000712
1,60616	1,00012	1,000098	0,002315	13	-16	751,601	751,582	0,1283	0,0499	1,237	0,00047	756,755	1,362	6,530	0,000939
1,66655	1,00016	1,00014	0,003254	14	-15	761,909	761,886	0,1254	0,0439	1,2085	0,00061	767,489	1,360	6,550	0,001213
1,72919	1,00022	1,000194	0,004466	15	-14	773,069	773,04	0,1226	0,0383	1,1819	0,00077	779,151	1,359	6,573	0,001539
1,79428	1,0003	1,000263	0,006005	16	-13	785,233	785,197	0,12	0,0331	1,157	0,00096	791,901	1,357	6,596	0,001924
1,86204	1,0004	1,00035	0,007929	17	-12	798,569	798,524	0,1176	0,0282	1,1339	0,00119	805,911	1,356	6,621	0,002372
1,93274	1,00052	1,000458	0,010301	18	-11	813,253	813,196	0,1154	0,0237	1,1126	0,00144	821,364	1,354	6,648	0,00289
2,00662	1,00066	1,00059	0,013191	19	-10	829,476	829,403	0,1134	0,0196	1,0932	0,00174	838,454	1,352	6,677	0,003481
2,08398	1,00084	1,00075	0,016672	20	-9	847,432	847,339	0,1116	0,0159	1,0755	0,00208	857,379	1,350	6,708	0,004151
2,16506	1,00105	1,000942	0,020823	21	-8	867,326	867,205	0,1099	0,0126	1,0597	0,00245	878,344	1,348	6,741	0,004904
2,25015	1,00129	1,00117	0,025727	22	-7	889,362	889,204	0,1085	0,0096	1,0457	0,00287	901,554	1,346	6,777	0,005744
2,33946	1,00158	1,001437	0,031471	23	-6	913,745	913,539	0,1072	0,0071	1,0336	0,00334	927,211	1,344	6,815	0,006674
2,43318	1,00192	1,001749	0,038145	24	-5	940,677	940,41	0,1062	0,0049	1,0234	0,00385	955,515	1,342	6,855	0,007696
2,53145	1,0023	1,002111	0,045842	25	-4	970,352	970,005	0,1053	0,0031	1,015	0,00441	986,651	1,339	6,898	0,008812
2,63432	1,00275	1,002525	0,054653	26	-3	1002,95	1002,5	0,1046	0,0018	1,0084	0,00501	1020,79	1,337	6,943	0,01002
2,74177	1,00325	1,002999	0,064673	27	-2	1038,64	1038,07	0,1041	0,0008	1,0037	0,00566	1058,09	1,334	6,990	0,011318

Продолжение таблицы А9

2,85366	1,00382	1,003535	0,075991	28	-1	1077,55	1076,83	0,1038	0,0002	1,0009	0,00635	1098,69	1,331	7,038	0,012705
2,96976	1,00446	1,004139	0,088696	29	0	1119,82	1118,92	0,1037	0	1	0,00709	1142,67	1,329	7,088	0,014173
3,08969	1,00517	1,004814	0,102869	30	1	1165,52	1164,41	0,1038	0,0002	1,0009	0,00786	1190,12	1,326	7,139	0,015716
3,21297	1,00596	1,005565	0,118585	31	2	1214,71	1213,36	0,1041	0,0008	1,0037	0,00866	1241,06	1,323	7,190	0,017322
3,33897	1,00683	1,006395	0,135907	32	3	1267,4	1265,77	0,1046	0,0018	1,0084	0,00949	1295,47	1,320	7,242	0,018982
3,46695	1,00778	1,007308	0,154889	33	4	1323,55	1321,62	0,1053	0,0031	1,015	0,01034	1353,31	1,318	7,294	0,020678
3,59603	1,00882	1,008304	0,175566	34	5	1383,08	1380,81	0,1062	0,0049	1,0234	0,0112	1414,47	1,315	7,345	0,022394
3,72525	1,00995	1,009387	0,19796	35	6	1445,85	1443,22	0,1072	0,0071	1,0336	0,01205	1478,77	1,313	7,395	0,024109
3,85351	1,01116	1,010555	0,222069	36	7	1511,69	1508,67	0,1085	0,0096	1,0457	0,0129	1546,01	1,310	7,445	0,025803
3,97966	1,01246	1,01181	0,247872	37	8	1580,33	1576,91	0,1099	0,0126	1,0597	0,01372	1615,9	1,308	7,493	0,027449
4,10247	1,01384	1,013148	0,275321	38	9	1651,47	1647,64	0,1116	0,0159	1,0755	0,01451	1688,12	1,306	7,539	0,029021
4,22067	1,0153	1,014567	0,304342	39	10	1724,76	1720,51	0,1134	0,0196	1,0932	0,01525	1762,26	1,304	7,583	0,030493
4,33299	1,01683	1,016062	0,334835	40	11	1799,77	1795,1	0,1154	0,0237	1,1126	0,01592	1837,9	1,302	7,626	0,031835
4,43814	1,01843	1,017629	0,36667	41	12	1876,03	1870,95	0,1176	0,0282	1,1339	0,01651	1914,53	1,300	7,666	0,033019
4,53488	1,02009	1,019259	0,39969	42	13	1953,02	1947,53	0,12	0,0331	1,157	0,01701	1991,6	1,298	7,703	0,034018
4,62204	1,0218	1,020943	0,433708	43	14	2030,18	2024,3	0,1226	0,0383	1,1819	0,0174	2068,55	1,297	7,739	0,034804
4,69853	1,02355	1,022673	0,468512	44	15	2106,91	2100,67	0,1254	0,0439	1,2085	0,01768	2144,75	1,295	7,772	0,035355
4,76338	1,02532	1,024436	0,503868	45	16	2182,6	2176,01	0,1283	0,0499	1,237	0,01783	2219,6	1,294	7,802	0,035651
4,81576	1,02712	1,02622	0,539519	46	17	2256,6	2249,69	0,1314	0,0562	1,2671	0,01784	2292,45	1,293	7,830	0,035676
4,85499	1,02891	1,028013	0,575194	47	18	2328,3	2321,1	0,1348	0,063	1,2991	0,01771	2362,69	1,292	7,856	0,035419
4,88058	1,03069	1,029799	0,610614	48	19	2397,08	2389,62	0,1382	0,07	1,3327	0,01744	2429,71	1,291	7,879	0,034878
4,89224	1,03244	1,031566	0,645492	49	20	2462,34	2454,65	0,1419	0,0775	1,3681	0,01703	2492,95	1,290	7,900	0,034054
4,88987	1,03415	1,033298	0,679546	50	21	2523,56	2515,67	0,1458	0,0853	1,4051	0,01648	2551,9	1,289	7,919	0,032959
4,87359	1,03581	1,034982	0,712505	51	22	2580,24	2572,19	0,1498	0,0934	1,4438	0,0158	2606,11	1,288	7,935	0,031608
4,84373	1,0374	1,036605	0,744113	52	23	2631,98	2623,79	0,154	0,1019	1,4842	0,01501	2655,21	1,288	7,949	0,030027
4,8008	1,03891	1,038153	0,774139	53	24	2678,44	2670,14	0,1583	0,1108	1,5262	0,01412	2698,91	1,287	7,961	0,028244
4,74553	1,04033	1,039618	0,802384	54	25	2719,38	2711	0,1628	0,12	1,5698	0,01315	2737,01	1,287	7,972	0,026297
4,67878	1,04165	1,040988	0,828681	55	26	2754,65	2746,21	0,1675	0,1295	1,615	0,01211	2769,43	1,287	7,980	0,024226
4,60159	1,04287	1,042258	0,852907	56	27	2784,21	2775,74	0,1724	0,1393	1,6618	0,01104	2796,16	1,286	7,987	0,022072
4,51509	1,04398	1,043421	0,874978	57	28	2808,11	2799,63	0,1774	0,1495	1,7101	0,00994	2817,3	1,286	7,993	0,01988
4,4205	1,04498	1,044476	0,894859	58	29	2826,49	2818,03	0,1826	0,16	1,7599	0,00885	2833,05	1,286	7,997	0,017694
4,31911	1,04586	1,04542	0,912553	59	30	2839,6	2831,16	0,1879	0,1708	1,8113	0,00778	2843,66	1,286	7,999	0,015555

Продолжение таблицы А9

4,2122	1,04665	1,046256	0,928108	60	31	2847,72	2839,33	0,1934	0,1819	1,8641	0,00675	2849,48	1,286	8,001	0,013499
4,10107	1,04732	1,046986	0,941607	61	32	2851,24	2842,9	0,199	0,1933	1,9184	0,00578	2850,91	1,286	8,001	0,01156
3,98693	1,04791	1,047615	0,953167	62	33	2850,57	2842,31	0,2048	0,2051	1,9741	0,00488	2848,37	1,286	8,000	0,009764
3,87097	1,0484	1,048151	0,962931	63	34	2846,17	2837,98	0,2107	0,2171	2,0311	0,00406	2842,34	1,286	7,999	0,008129
3,75424	1,04881	1,048601	0,971106	64	35	2838,5	2830,4	0,2168	0,2294	2,0896	0,00333	2833,27	1,286	7,997	0,006668
3,63771	1,04914	1,048973	0,977728	65	36	2828,03	2820,03	0,223	0,242	2,1494	0,00269	2821,63	1,286	7,994	0,005385
3,52223	1,04941	1,049276	0,983113	66	37	2815,22	2807,32	0,2293	0,2548	2,2105	0,00214	2807,86	1,286	7,991	0,00428
3,4085	1,04963	1,049519	0,987393	67	38	2800,5	2792,71	0,2358	0,268	2,2729	0,00167	2792,38	1,286	7,987	0,003346
3,29712	1,04979	1,04971	0,990739	68	39	2784,27	2776,58	0,2424	0,2814	2,3365	0,00129	2775,57	1,286	7,983	0,002571
3,18855	1,04992	1,049859	0,99331	69	40	2766,88	2759,31	0,2491	0,295	2,4014	0,00097	2757,77	1,287	7,979	0,001941
3,08315	1,05002	1,049972	0,995251	70	41	2748,66	2741,2	0,256	0,3089	2,4675	0,00072	2739,26	1,287	7,974	0,001438
2,98117	1,05009	1,050057	0,996689	71	42	2729,86	2722,51	0,2629	0,3231	2,5347	0,00052	2720,28	1,287	7,969	0,001046
2,88277	1,05015	1,05012	0,997735	72	43	2710,71	2703,48	0,27	0,3375	2,603	0,00037	2701,05	1,287	7,964	0,000745
2,78803	1,05018	1,050165	0,99848	73	44	2691,4	2684,28	0,2772	0,3521	2,6725	0,00026	2681,73	1,287	7,959	0,00052
2,69699	1,05021	1,050196	0,999	74	45	2672,06	2665,05	0,2845	0,3669	2,743	0,00018	2662,43	1,288	7,954	0,000356

Таблица А10 - Расчёт процесса сгорания базового двигателя ВАЗ при  $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Давление, МПа	Коэффициент молекулярного изменения смеси	Средний коэффициент молекулярного изменения смеси на участке	Характеристика тепловыделения	Угол от начала сгорания, град. ПКВ	Угол до ВМТ, град. ПКВ	Предполагаемая температура, К	Расчетная температура, К	Объем рабочего тела, м <sup>3</sup>	s	y(f1)	X <sub>1-2</sub>	Средняя температура на участке, К	k <sub>1-2</sub>	K <sub>1-2</sub>	Доля сгоревшей смеси на участке
0,77146	1	1	0	0	-34	614,65	614,65	0,2185	0,21715	2,0314	2,53E-09	618,03			5,1E-09
0,8025	1	1	5,1E-09	1	-33	621,40	621,40	0,2123	0,20512	1,9743	6,8E-08	624,82	1,383	6,22	1,4E-07
0,83487	1	1	1,4E-07	2	-32	628,23	628,23	0,2063	0,1934	1,9186	4,23E-07	631,69	1,382	6,24	8,5E-07
0,86863	1	1	9,9E-07	3	-31	635,14	635,14	0,2005	0,18197	1,8644	1,47E-06	638,64	1,380	6,26	2,9E-06
0,9038	1	1	3,9E-06	4	-30	642,13	642,13	0,1948	0,17085	1,8115	3,77E-06	645,67	1,379	6,28	7,5E-06
0,94041	1	1	1,1E-05	5	-29	649,21	649,20	0,1893	0,16004	1,7602	8,02E-06	652,79	1,378	6,29	1,6E-05
0,97851	1	1	2,8E-05	6	-28	656,37	656,37	0,1839	0,14954	1,7103	1,51E-05	660,01	1,376	6,31	3E-05
1,01813	1	1	5,8E-05	7	-27	663,65	663,64	0,1787	0,13936	1,662	2,59E-05	667,36	1,375	6,33	5,2E-05
1,05932	1	1	0,00011	8	-26	671,06	671,05	0,1737	0,12951	1,6152	4,16E-05	674,85	1,374	6,35	8,3E-05
1,10212	1	1,00001	0,00019	9	-25	678,64	678,62	0,1688	0,11999	1,57	6,34E-05	682,52	1,373	6,37	0,00013



Продолжение таблицы А10

1,1466	1	1,00001	0,00032	10	-24	686,41	686,39	0,1641	0,11081	1,5263	9,26E-05	690,41	1,371	6,39	0,00019
1,19282	1	1,00002	0,0005	11	-23	694,42	694,39	0,1596	0,10197	1,4843	0,000131	698,57	1,370	6,40	0,00026
1,24084	1	1,00003	0,00077	12	-22	702,72	702,69	0,1553	0,09346	1,444	0,000179	707,05	1,369	6,42	0,00036
1,29076	1,0001	1,00005	0,00113	13	-21	711,38	711,35	0,1511	0,08531	1,4052	0,00024	715,93	1,367	6,44	0,00048
1,34267	1,0001	1,00007	0,00161	14	-20	720,47	720,43	0,1471	0,07751	1,3682	0,000315	725,27	1,366	6,46	0,00063
1,39669	1,0001	1,0001	0,00223	15	-19	730,07	730,02	0,1433	0,07007	1,3328	0,000405	735,17	1,365	6,48	0,00081
1,45292	1,0002	1,00013	0,00305	16	-18	740,27	740,21	0,1397	0,06298	1,2992	0,000513	745,72	1,363	6,50	0,00103
1,51151	1,0002	1,00018	0,00407	17	-17	751,17	751,10	0,1363	0,05626	1,2672	0,000641	757,02	1,362	6,53	0,00128
1,57262	1,0003	1,00024	0,00535	18	-16	762,88	762,80	0,133	0,0499	1,237	0,00079	769,20	1,360	6,55	0,00158
1,63639	1,0003	1,00031	0,00693	19	-15	775,52	775,43	0,13	0,04392	1,2086	0,000964	782,38	1,359	6,58	0,00193
1,70302	1,0004	1,0004	0,00886	20	-14	789,24	789,12	0,1271	0,0383	1,1819	0,001163	796,69	1,357	6,60	0,00233
1,77267	1,0006	1,00051	0,01119	21	-13	804,15	804,02	0,1244	0,03306	1,157	0,00139	812,28	1,355	6,63	0,00278
1,84553	1,0007	1,00063	0,01397	22	-12	820,41	820,25	0,1219	0,0282	1,1339	0,001647	829,28	1,353	6,66	0,00329
1,92179	1,0009	1,00079	0,01726	23	-11	838,16	837,98	0,1196	0,02372	1,1127	0,001935	847,87	1,351	6,69	0,00387
2,00161	1,0011	1,00097	0,02113	24	-10	857,57	857,36	0,1176	0,01962	1,0932	0,002257	868,19	1,349	6,72	0,00451
2,08516	1,0013	1,00118	0,02565	25	-9	878,80	878,54	0,1157	0,0159	1,0755	0,002615	890,39	1,347	6,76	0,00523
2,17256	1,0016	1,00142	0,03087	26	-8	901,99	901,69	0,114	0,01257	1,0597	0,003009	914,65	1,345	6,80	0,00602
2,26391	1,0019	1,00171	0,03689	27	-7	927,32	926,95	0,1125	0,00963	1,0458	0,00344	941,12	1,343	6,84	0,00688
2,35926	1,0022	1,00203	0,04377	28	-6	954,92	954,48	0,1112	0,00708	1,0336	0,00391	969,93	1,340	6,88	0,00782
2,4586	1,0026	1,0024	0,05159	29	-5	984,95	984,43	0,11	0,00492	1,0234	0,004418	1001,25	1,338	6,92	0,00884
2,56186	1,003	1,00282	0,06043	30	-4	1017,54	1016,92	0,1091	0,00315	1,015	0,004965	1035,18	1,335	6,96	0,00993
2,66889	1,0035	1,0033	0,07036	31	-3	1052,82	1052,08	0,1084	0,00177	1,0084	0,005549	1071,85	1,333	7,01	0,0111
2,77946	1,0041	1,00383	0,08146	32	-2	1090,88	1090,01	0,1079	0,00079	1,0037	0,006169	1111,36	1,330	7,06	0,01234
2,89325	1,0047	1,00442	0,09379	33	-1	1131,83	1130,80	0,1076	0,0002	1,0009	0,006824	1153,76	1,328	7,10	0,01365
3,00984	1,0054	1,00507	0,10744	34	0	1175,70	1174,50	0,1075	0	1	0,007509	1199,13	1,325	7,15	0,01502
3,12871	1,0062	1,00579	0,12246	35	1	1222,56	1221,15	0,1076	0,0002	1,0009	0,008221	1247,47	1,323	7,20	0,01644
3,24927	1,007	1,00659	0,1389	36	2	1272,38	1270,76	0,1079	0,00079	1,0037	0,008955	1298,77	1,320	7,25	0,01791
3,37082	1,0079	1,00745	0,15681	37	3	1325,16	1323,30	0,1084	0,00177	1,0084	0,009707	1352,99	1,318	7,30	0,01941
3,49257	1,0089	1,00839	0,17622	38	4	1380,82	1378,71	0,1091	0,00315	1,015	0,010468	1410,05	1,315	7,34	0,02094
3,61366	1,0099	1,00941	0,19716	39	5	1439,27	1436,87	0,11	0,00492	1,0234	0,011231	1469,80	1,313	7,39	0,02246
3,73316	1,0111	1,0105	0,21962	40	6	1500,34	1497,66	0,1112	0,00708	1,0336	0,011987	1532,10	1,311	7,44	0,02397
3,8501	1,0123	1,01168	0,2436	41	7	1563,86	1560,88	0,1125	0,00963	1,0458	0,012728	1596,73	1,309	7,48	0,02546

## Продолжение таблицы А10

3,96346	1,0136	1,01292	0,26905	42	8	1629,59	1626,30	0,114	0,01257	1,0597	0,013443	1663,42	1,306	7,53	0,02689
4,07221	1,0149	1,01424	0,29594	43	9	1697,26	1693,65	0,1157	0,0159	1,0755	0,01412	1731,89	1,305	7,57	0,02824
4,1753	1,0163	1,01563	0,32418	44	10	1766,52	1762,60	0,1176	0,01962	1,0932	0,014749	1801,77	1,303	7,61	0,0295
4,2717	1,0178	1,01709	0,35368	45	11	1837,03	1832,80	0,1196	0,02372	1,1127	0,015318	1872,69	1,301	7,65	0,03064
4,36044	1,0194	1,0186	0,38431	46	12	1908,36	1903,82	0,1219	0,0282	1,1339	0,015816	1944,22	1,299	7,68	0,03163
4,44055	1,021	1,02017	0,41595	47	13	1980,08	1975,24	0,1244	0,03306	1,157	0,016231	2015,89	1,298	7,72	0,03246
4,51119	1,0226	1,02179	0,44841	48	14	2051,70	2046,58	0,1271	0,0383	1,1819	0,016553	2087,21	1,296	7,75	0,03311
4,57156	1,0243	1,02344	0,48151	49	15	2122,73	2117,34	0,13	0,04392	1,2086	0,016773	2157,68	1,295	7,78	0,03355
4,62099	1,026	1,02512	0,51506	50	16	2192,64	2187,01	0,133	0,0499	1,237	0,016882	2226,77	1,294	7,81	0,03376
4,65892	1,0277	1,02682	0,54882	51	17	2260,91	2255,04	0,1363	0,05626	1,2672	0,016875	2293,95	1,293	7,83	0,03375
4,68494	1,0294	1,02852	0,58257	52	18	2327,00	2320,93	0,1397	0,06298	1,2992	0,016747	2358,71	1,292	7,86	0,03349
4,69877	1,0311	1,03021	0,61607	53	19	2390,42	2384,16	0,1433	0,07007	1,3328	0,016498	2420,53	1,291	7,88	0,033
4,70029	1,0327	1,03189	0,64906	54	20	2450,65	2444,23	0,1471	0,07751	1,3682	0,016127	2478,96	1,290	7,90	0,03225
4,68952	1,0343	1,03353	0,68132	55	21	2507,26	2500,69	0,1511	0,08531	1,4052	0,01564	2533,54	1,289	7,91	0,03128
4,66667	1,0359	1,03513	0,7126	56	22	2559,82	2553,13	0,1553	0,09346	1,444	0,015041	2583,90	1,289	7,93	0,03008
4,63209	1,0374	1,03668	0,74268	57	23	2607,98	2601,19	0,1596	0,10197	1,4843	0,014341	2629,71	1,288	7,94	0,02868
4,58627	1,0389	1,03816	0,77136	58	24	2651,44	2644,58	0,1641	0,11081	1,5263	0,013552	2670,72	1,288	7,95	0,0271
4,52986	1,0403	1,03957	0,79847	59	25	2690,00	2683,07	0,1688	0,11999	1,57	0,012688	2706,74	1,287	7,96	0,02538
4,46362	1,0415	1,04089	0,82384	60	26	2723,49	2716,53	0,1737	0,12951	1,6152	0,011765	2737,68	1,287	7,97	0,02353
4,38843	1,0427	1,04212	0,84737	61	27	2751,865	2744,88	0,1787	0,13936	1,662	0,0108	2763,5	1,287	7,98	0,0216
4,30525	1,0438	1,04326	0,86897	62	28	2775,14	2768,14	0,1839	0,14954	1,7103	0,009811	2784,27	1,286	7,98	0,01962
4,21511	1,0448	1,0443	0,8886	63	29	2793,40	2786,41	0,1893	0,16004	1,7602	0,008817	2800,11	1,286	7,99	0,01763
4,11907	1,0457	1,04524	0,90623	64	30	2806,82	2799,86	0,1948	0,17085	1,8115	0,007835	2811,23	1,286	7,99	0,01567
4,01822	1,0465	1,04608	0,9219	65	31	2815,64	2808,71	0,2005	0,18197	1,8644	0,006882	2817,89	1,286	7,99	0,01376
3,91364	1,0472	1,04682	0,93567	66	32	2820,14	2813,26	0,2063	0,1934	1,9186	0,005972	2820,41	1,286	7,99	0,01194
3,80638	1,0478	1,04747	0,94761	67	33	2820,68	2813,85	0,2123	0,20512	1,9743	0,005117	2819,15	1,286	7,99	0,01023
3,69742	1,0483	1,04803	0,95784	68	34	2817,62	2810,86	0,2185	0,21715	2,0314	0,004328	2814,50	1,286	7,99	0,00866
3,5877	1,0487	1,0485	0,9665	69	35	2811,37	2804,68	0,2247	0,22946	2,0899	0,003611	2806,85	1,286	7,99	0,00722
3,47806	1,0491	1,0489	0,97372	70	36	2802,33	2795,71	0,2312	0,24205	2,1497	0,002971	2796,61	1,286	7,99	0,00594
3,36924	1,0494	1,04924	0,97967	71	37	2790,90	2784,36	0,2377	0,25492	2,2108	0,00241	2784,19	1,286	7,99	0,00482
3,2619	1,0496	1,04951	0,98449	72	38	2777,48	2771,02	0,2445	0,26805	2,2733	0,001925	2769,96	1,286	7,98	0,00385
3,15657	1,0498	1,04973	0,98833	73	39	2762,44	2756,07	0,2513	0,28146	2,3369	0,001513	2754,27	1,287	7,98	0,00303

Продолжение таблицы А10

3,05371	1,05	1,0499	0,99136	74	40	2746,11	2739,84	0,2583	0,29511	2,4018	0,001171	2737,46	1,287	7,97	0,00234
2,95366	1,0501	1,05003	0,9937	75	41	2728,81	2722,63	0,2654	0,30903	2,4679	0,000891	2719,81	1,287	7,97	0,00178
2,85669	1,0502	1,05014	0,99549	76	42	2710,81	2704,71	0,2726	0,32318	2,5351	0,000666	2701,57	1,287	7,96	0,00133
2,76297	1,0502	1,05022	0,99682	77	43	2692,33	2686,33	0,28	0,33757	2,6035	0,000489	2682,95	1,287	7,96	0,00098
2,67261	1,0503	1,05027	0,9978	78	44	2673,56	2667,65	0,2874	0,3522	2,6729	0,000353	2664,12	1,288	7,95	0,00071
2,58566	1,0503	1,05032	0,9985	79	45	2654,68	2648,86	0,295	0,36705	2,7435	0,000249	2645,24	1,288	7,95	0,0005
2,50212	1,0504	1,05035	0,999	80	46	2635,79	2630,07	0,3027	0,38211	2,815	0,000173	2626,40	1,288	7,94	0,00035

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
(обязательное)

**Таблица Б1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя с шагом в 10 град ПКВ**

Сила инерции, Н	Сила давления газов, Н	Суммарная сила приложенная к оси поршневого пальца, Н	Угол бетта, рад	Опрокидывающая сила, Н	Сила вдоль оси шатуна, Н	Сила изгибающая колено вала, Н	Тангенциальная сила, Н	Крутящий момент 1-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 2-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 4-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 3-го цилиндра, Н*м	Суммарный крутящий момент, Н*м
-7129,98	29,6514	-7100,32	0	0	-7100,3	-7100,325	0	0	2E-14	6,3E-14	-6E-14	0
-6948,69	-16,3086	-6965	0,051	-355,3	-6974,1	-6797,486	-1559,36	-55,36	-16,92	-20,679	117,3	24,351
-6419,14	-62,2686	-6481,41	0,1005	-653,7	-6514,3	-5866,96	-2831,02	-100,5	-34,25	-40,905	282,54	106,88
-5582,75	-71,4606	-5654,21	0,1472	-838,5	-5716	-4477,436	-3553,28	-126,1	-51,92	-60,579	311,97	73,334
-4503,77	-85,2486	-4589,02	0,1897	-881,2	-4672,9	-2948,943	-3624,83	-128,7	-69,01	-78,786	263,66	-12,81
-3262,6	-99,0366	-3361,64	0,2267	-775,4	-3449,9	-1566,861	-3073,56	-109,1	-83,51	-93,594	223,11	-63,1
-1947,65	-112,825	-2060,47	0,2569	-541,3	-2130,4	-561,4626	-2055,07	-72,95	-93,59	-102,14	201,78	-66,9
-646,475	-126,613	-773,088	0,2793	-221,7	-804,26	-56,05404	-802,301	-28,48	-95,69	-101,1	196,35	-28,92
562,546	-135,805	426,742	0,2931	128,79	445,753	-52,73244	442,623	15,713	-87,12	-89,058	198,53	38,065
1617,34	-135,805	1481,54	0,2978	454,67	1549,74	-454,6749	1481,54	52,595	-66,73	-63,363	200,25	122,76
2477,06	-89,2791	2387,78	0,2931	720,64	2494,16	-1124,327	2226,37	79,036	-36,04	-25,19	196,07	213,88
3124,39	-89,2791	3035,11	0,2793	870,5	3157,48	-1856,071	2554,34	90,679	0,1667	21,0315	183,78	295,66
3564,99	-89,2791	3475,71	0,2569	913,08	3593,64	-2528,604	2553,51	90,65	34,153	67,9102	163,89	356,61
3824,3	-89,2791	3735,02	0,2267	861,48	3833,08	-3060,758	2307,44	81,914	56,773	104,934	138,54	382,16
3942,07	-84,6831	3857,39	0,1897	740,74	3927,87	-3431,073	1912,04	67,877	60,208	125,46	110,33	363,87
3965,41	-80,0871	3885,32	0,1472	576,19	3927,81	-3652,881	1443,67	51,25	42,199	123,886	76,948	294,28
3941,22	-75,4911	3865,73	0,1005	389,87	3885,34	-3765,946	955,797	33,931	11,796	99,076	46,956	191,76
3909,08	-66,2991	3842,78	0,051	196,03	3847,78	-3818,44	474,24	16,836	-12,35	54,9921	23,095	82,575
3895,29	-57,1071	3838,18	4E-17	1E-13	3838,18	-3838,184	4,7E-13	2E-14	-6E-14	1,2E-13	6E-14	1E-13
3909,08	-47,9151	3861,16	-0,051	-197	3866,18	-3836,707	-476,508	-16,92	117,3	-55,357	-20,679	24,351
3941,22	-38,7231	3902,5	-0,101	-393,6	3922,3	-3801,765	-964,888	-34,25	282,54	-100,5	-40,905	106,88

Продолжение таблицы Б1

3965,41	-29,5311	3935,88	-0,147	-583,7	3978,92	-3700,413	-1462,45	-51,92	311,97	-126,14	-60,579	73,334
3942,07	-20,3391	3921,73	-0,19	-753,1	3993,39	-3488,306	-1943,93	-69,01	263,66	-128,68	-78,786	-12,81
3824,3	-16,6124	3807,69	-0,227	-878,2	3907,66	-3120,307	-2352,34	-83,51	223,11	-109,11	-93,594	-63,1
3564,99	23,3539	3588,34	-0,257	-942,7	3710,1	-2610,546	-2636,26	-93,59	201,78	-72,955	-102,14	-66,9
3124,39	78,4812	3202,87	-0,279	-918,6	3332	-1958,662	-2695,53	-95,69	196,35	-28,482	-101,1	-28,92
2477,06	154,918	2631,98	-0,293	-794,3	2749,24	-1239,311	-2454,06	-87,12	198,53	15,7131	-89,058	38,065
1617,34	262,302	1879,65	-0,298	-576,9	1966,17	-576,8514	-1879,65	-66,73	200,25	52,5946	-63,363	122,76
562,546	416,123	978,669	-0,293	-295,4	1022,27	-120,934	-1015,09	-36,04	196,07	79,0362	-25,19	213,88
-646,475	641,952	-4,52347	-0,279	1,2974	-4,7058	-0,327982	4,6944	0,1667	183,78	90,6791	21,031	295,66
-1947,65	983,054	-964,591	-0,257	253,4	-997,32	-262,8439	962,061	34,153	163,89	90,6497	67,91	356,61
-3262,6	1513,47	-1749,13	-0,227	403,44	-1795,1	-815,2697	1599,24	56,773	138,54	81,9143	104,93	382,16
-4503,77	2356,63	-2147,14	-0,19	412,32	-2186,4	-1379,768	1696,01	60,208	110,33	67,8774	125,46	363,87
-5582,75	3691,19	-1891,56	-0,147	280,52	-1912,2	-1497,88	1188,71	42,199	76,948	51,2502	123,89	294,28
-6419,14	5658,4	-760,74	-0,101	76,723	-764,6	-688,6204	332,285	11,796	46,956	33,9308	99,076	191,76
-6948,69	8502,27	1553,59	-0,051	-79,25	1555,61	1516,2208	-347,826	-12,35	23,095	16,8355	54,992	82,575
-7129,98	13846,3	6716,3	-7E-17	-5E-13	6716,3	6716,3045	-1,6E-12	-6E-14	6E-14	1,7E-14	1E-13	1E-13
-6948,69	21707,6	14758,9	0,051	752,89	14778,1	14403,942	3304,31	117,3	-20,68	-16,916	-55,357	24,351
-6419,14	24640,4	18221,2	0,1005	1837,7	18313,7	16493,821	7958,88	282,54	-40,9	-34,254	-100,5	106,88
-5582,75	19566,7	13983,9	0,1472	2073,8	14136,8	11073,526	8787,91	311,97	-60,58	-51,917	-126,14	73,334
-4503,77	13906,5	9402,69	0,1897	1805,6	9574,49	6042,2515	7427,12	263,66	-78,79	-69,01	-128,68	-12,81
-3262,6	10136,5	6873,87	0,2267	1585,5	7054,34	3203,9113	6284,8	223,11	-93,59	-83,508	-109,11	-63,1
-1947,65	7646,59	5698,94	0,2569	1497,1	5892,31	1552,919	5683,99	201,78	-102,1	-93,587	-72,955	-66,9
-646,475	5976,04	5329,56	0,2793	1528,6	5544,43	386,42884	5530,95	196,35	-101,1	-95,691	-28,482	-28,92
562,546	4829,15	5391,7	0,2931	1627,2	5631,9	-666,2518	5592,35	198,53	-89,06	-87,119	15,713	38,065
1617,34	4023,61	5640,95	0,2978	1731,2	5900,62	-1731,174	5640,95	200,25	-63,36	-66,727	52,595	122,76
2477,06	3446,59	5923,66	0,2931	1787,8	6187,56	-2789,251	5523,22	196,07	-25,19	-36,036	79,036	213,88
3124,39	3027,02	6151,41	0,2793	1764,3	6399,41	-3761,791	5177,01	183,78	21,031	0,16665	90,679	295,66
3564,99	2719,08	6284,07	0,2569	1650,8	6497,29	-4571,705	4616,74	163,89	67,91	34,1532	90,65	356,61

Продолжение таблицы Б1

3824,3	2492,66	6316,96	0,2267	1457	6482,81	-5176,59	3902,53	138,54	104,93	56,7729	81,914	382,16
3942,07	2327,65	6269,73	0,1897	1204	6384,28	-5576,797	3107,79	110,33	125,46	60,2083	67,877	363,87
3965,41	1868,05	5833,46	0,1472	865,09	5897,26	-5484,472	2167,54	76,948	123,89	42,1993	51,25	294,28
3941,22	1408,45	5349,68	0,1005	539,54	5376,81	-5211,583	1322,7	46,956	99,076	11,7961	33,931	191,76
3909,08	1362,49	5271,57	0,051	268,92	5278,43	-5238,18	650,567	23,095	54,992	-12,348	16,836	82,575
3895,29	902,891	4798,18	1E-16	5E-13	4798,18	-4798,182	1,8E-12	6E-14	1E-13	-6E-14	2E-14	1E-13
3909,08	810,971	4720,05	-0,051	-240,8	4726,19	-4690,154	-582,504	-20,68	-55,36	117,303	-16,916	24,351
3941,22	719,051	4660,28	-0,101	-470	4683,92	-4539,979	-1152,25	-40,9	-100,5	282,54	-34,254	106,88
3965,41	627,131	4592,54	-0,147	-681,1	4642,77	-4317,79	-1706,45	-60,58	-126,1	311,971	-51,917	73,334
3942,07	535,211	4477,29	-0,19	-859,8	4559,09	-3982,457	-2219,31	-78,79	-128,7	263,663	-69,01	-12,81
3824,3	443,291	4267,59	-0,227	-984,3	4379,64	-3497,186	-2636,46	-93,59	-109,1	223,11	-83,508	-63,1
3564,99	351,371	3916,36	-0,257	-1029	4049,24	-2849,181	-2877,25	-102,1	-72,95	201,782	-93,587	-66,9
3124,39	259,451	3383,84	-0,279	-970,5	3520,27	-2069,332	-2847,83	-101,1	-28,48	196,349	-95,691	-28,92
2477,06	213,491	2690,56	-0,293	-812	2810,42	-1266,892	-2508,67	-89,06	15,713	198,529	-87,119	38,065
1617,34	167,531	1784,87	-0,298	-547,8	1867,04	-547,7669	-1784,87	-63,36	52,595	200,254	-66,727	122,76
562,546	121,571	684,118	-0,293	-206,5	714,595	-84,53637	-709,577	-25,19	79,036	196,074	-36,036	213,88
-646,475	75,6114	-570,864	-0,279	163,73	-593,88	-41,39144	592,435	21,031	90,679	183,784	0,1667	295,66
-1947,65	29,6514	-1917,99	-0,257	503,86	-1983,1	-522,6389	1912,96	67,91	90,65	163,894	34,153	356,61
-3262,6	29,6514	-3232,95	-0,227	745,68	-3317,8	-1506,879	2955,9	104,93	81,914	138,54	56,773	382,16
-4503,77	29,6514	-4474,12	-0,19	859,17	-4555,9	-2875,107	3534,07	125,46	67,877	110,327	60,208	363,87
-5582,75	29,6514	-5553,1	-0,147	823,52	-5613,8	-4397,368	3489,74	123,89	51,25	76,9476	42,199	294,28
-6419,14	29,6514	-6389,49	-0,101	644,4	-6421,9	-5783,754	2790,87	99,076	33,931	46,9558	11,796	191,76
-6948,69	29,6514	-6919,04	-0,051	352,96	-6928	-6752,632	1549,07	54,992	16,836	23,0951	-12,348	82,575
-7129,98	29,6514	-7100,32	-1E-16	1E-12	-7100,3	-7100,325	3,5E-12	1E-13	2E-14	6,3E-14	-6E-14	1E-13

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1- Силы, действующих на шатунную шейку коленчатого вала с шагом 10° ПКВ

$K_{Rm}, Н$	$P_k, Н$	$P_k, Н$	$\psi, рад$	$\psi, град$
-5261,97419	-12362,3	12362,29911	0	0
-5261,97419	-12059,46	12059,46047	0,128592762	7,367822527
-5261,97419	-11128,93	11128,93386	0,24910065	14,27241589
-5261,97419	-9739,41	9739,410274	0,349829313	20,04374317
-5261,97419	-8210,917	8210,917329	0,415733663	23,81978429
-5261,97419	-6828,835	6828,834703	0,422924825	24,23180754
-5261,97419	-5823,437	5823,436776	0,339252068	19,43771169
-5261,97419	-5318,028	5318,028224	0,149735157	8,579192524
-5261,97419	-5314,707	5314,70663	-0,08309096	-4,76076105
-5261,97419	-5716,649	5716,649112	-0,25358297	-14,5292341
-5261,97419	-6386,301	6386,301498	-0,33544191	-19,2194055
-5261,97419	-7118,045	7118,045378	-0,34454094	-19,7407415
-5261,97419	-7790,579	7790,57862	-0,31673462	-18,1475569
-5261,97419	-8322,732	8322,732304	-0,27045307	-15,4958196
-5261,97419	-8693,047	8693,047199	-0,21650316	-12,4047175
-5261,97419	-8914,856	8914,855608	-0,16054586	-9,1986001
-5261,97419	-9027,92	9027,920045	-0,10547832	-6,04346256
-5261,97419	-9080,414	9080,413958	-0,05217925	-2,98965058
-5261,97419	-9100,158	9100,157705	-5,1673E-17	-2,9607E-15
-5261,97419	-9098,682	9098,681514	0,052323348	2,997907031
-5261,97419	-9063,739	9063,73894	0,106056403	6,076584257
-5261,97419	-8962,387	8962,387078	0,161751162	9,267658892
-5261,97419	-8750,28	8750,279922	0,218606684	12,52524036
-5261,97419	-8382,281	8382,280806	0,273594683	15,67582065
-5261,97419	-7872,52	7872,51994	0,323131827	18,51408989
-5261,97419	-7220,636	7220,636429	0,357287221	20,47104983
-5261,97419	-6501,286	6501,285624	0,360937094	20,68017213
-5261,97419	-5838,826	5838,825632	0,311445237	17,84449762
-5261,97419	-5382,908	5382,908214	0,186387771	10,67923264
-5261,97419	-5262,302	5262,302167	-0,00089208	-0,05111245
-5261,97419	-5524,818	5524,818075	-0,1724057	-9,8781189
-5261,97419	-6077,244	6077,243873	-0,25731764	-14,7432148
-5261,97419	-6641,742	6641,742494	-0,25001306	-14,3246929
-5261,97419	-6759,854	6759,853913	-0,17406915	-9,97342792
-5261,97419	-5950,595	5950,59457	-0,05578266	-3,19611107
-5261,97419	-3745,753	3745,753357	0,092593146	5,305196469
-5261,97419	1454,3303	-1454,330269	-1,1316E-15	-6,4835E-14

Продолжение таблицы В1

-5261,97419	9141,9677	-9141,967651	0,346833207	19,87207898
-5261,97419	11231,846	-11231,84648	0,616473915	35,32135352
-5261,97419	5811,5518	-5811,551811	0,986510042	56,52286185
-5261,97419	780,2773	-780,2772966	1,466122445	84,00262835
-5261,97419	-2058,063	2058,062856	-1,25433504	-71,8681036
-5261,97419	-3709,055	3709,055217	-0,99263484	-56,873787
-5261,97419	-4875,545	4875,545345	-0,84829557	-48,6037559
-5261,97419	-5928,226	5928,226029	-0,75625232	-43,3300665
-5261,97419	-6993,148	6993,147777	-0,67877667	-38,8910382
-5261,97419	-8051,225	8051,225187	-0,60127482	-34,4505097
-5261,97419	-9023,766	9023,765554	-0,52086301	-29,843252
-5261,97419	-9833,679	9833,67913	-0,43893683	-25,1492279
-5261,97419	-10438,56	10438,56445	-0,35776796	-20,4985939
-5261,97419	-10838,77	10838,77128	-0,27923776	-15,9991449
-5261,97419	-10746,45	10746,44606	-0,19902777	-11,4034512
-5261,97419	-10473,56	10473,557	-0,12562441	-7,1977483
-5261,97419	-10500,15	10500,15448	-0,0618788	-3,54539387
-5261,97419	-10060,16	10060,15619	-1,753E-16	-1,0044E-14
-5261,97419	-9952,128	9952,127809	0,058463905	3,349735002
-5261,97419	-9801,953	9801,952723	0,117015733	6,704507615
-5261,97419	-9579,765	9579,764508	0,176281595	10,10019141
-5261,97419	-9244,431	9244,431151	0,235611267	13,49953121
-5261,97419	-8759,161	8759,16063	0,292368865	16,75150205
-5261,97419	-8111,155	8111,15515	0,340879885	19,53097873
-5261,97419	-7331,306	7331,305782	0,370508349	21,22856466
-5261,97419	-6528,866	6528,865901	0,366849834	21,01894719
-5261,97419	-5809,741	5809,741052	0,298068303	17,07805575
-5261,97419	-5346,511	5346,510557	0,13194677	7,55999304
-5261,97419	-5303,366	5303,36563	-0,11124808	-6,37404521
-5261,97419	-5784,613	5784,613135	-0,31937732	-18,2989727
-5261,97419	-6768,853	6768,85323	-0,4117313	-23,5904658
-5261,97419	-8137,082	8137,081606	-0,40973587	-23,4761362
-5261,97419	-9659,342	9659,342093	-0,34668914	-19,8638243
-5261,97419	-11045,73	11045,72801	-0,2474858	-14,179892
-5261,97419	-12014,61	12014,60583	-0,12822519	-7,34676246
-5261,97419	-12362,3	12362,29911	-2,8147E-16	-1,6127E-14



Таблица В2 - Силы действующие на колено вала

Рш.ш., Н	Крк, Н	Рк, Н	Тк1, Н	Тк3, Н	Тк4, Н	Тк2, Н	Крк1, Н	Крк3, Н	Крк4, Н	Крк2, Н
12362,3	-20959,54	20959,54	0	1,7635E-12	-1,6457E-12	4,70234E-13	-20959,5381	-18657,3952	-7142,90875	-17697,3967
12159,9	-20656,7	20715,47	-1559,36408	-582,50408	3304,308186	-476,5084127	-20656,6995	-18549,36683	544,728633	-17695,9205
11483,4	-19726,17	19928,29	-2831,02442	-1152,2466	7958,87676	-964,8879352	-19726,1729	-18399,19174	2634,607459	-17660,978
10367,3	-18336,65	18677,75	-3553,27849	-1706,449	8787,913652	-1462,45309	-18336,6493	-18177,00353	-2785,68721	-17559,6261
8975,44	-16808,16	17194,58	-3624,83333	-2219,3116	7427,119979	-1943,934942	-16808,1563	-17841,67017	-7816,96172	-17347,5189
7488,64	-15426,07	15729,29	-3073,55784	-2636,4586	6284,801142	-2352,336435	-15426,0737	-17356,39965	-10655,3019	-16979,5198
6175,41	-14420,68	14566,37	-2055,0651	-2877,2471	5683,993245	-2636,261211	-14420,6758	-16708,39417	-12306,2942	-16469,759
5378,21	-13915,27	13938,38	-802,300797	-2847,8318	5530,951517	-2695,527698	-13915,2672	-15928,5448	-13472,7844	-15817,8754
5333,11	-13911,95	13918,99	442,623159	-2508,6743	5592,353953	-2454,060371	-13911,9456	-15126,10492	-14525,465	-15098,5246
5905,51	-14313,89	14390,36	1481,53829	-1784,8743	5640,95316	-1879,64512	-14313,8881	-14406,98007	-15590,3868	-14436,0647
6763,25	-14983,54	15148,04	2226,371043	-709,57749	5523,220501	-1015,090463	-14983,5405	-13943,74957	-16648,4642	-13980,1472
7562,49	-15715,28	15921,52	2554,341019	592,435259	5177,009392	4,694398362	-15715,2844	-13900,60465	-17621,0046	-13859,5412
8198,39	-16387,82	16585,57	2553,512719	1912,96282	4616,739008	962,0610752	-16387,8176	-14381,85215	-18430,9181	-14122,0571
8636,68	-16919,97	17076,58	2307,444017	2955,89801	3902,527341	1599,235227	-16919,9713	-15366,09225	-19035,8035	-14674,4829
8900,84	-17290,29	17395,69	1912,040751	3534,07465	3107,792598	1696,007655	-17290,2862	-16734,32062	-19436,0103	-15238,9815
9030,99	-17512,09	17571,5	1443,668012	3489,73665	2167,537263	1188,712404	-17512,0946	-18256,58111	-19343,6851	-15357,0929
9078,37	-17625,16	17651,06	955,7970994	2790,87452	1322,699773	332,2847316	-17625,1591	-19642,96702	-19070,796	-14547,8336
9092,79	-17677,65	17684,01	474,239633	1549,07429	650,5674697	-347,8256822	-17677,653	-20611,84484	-19097,3935	-12342,9924
9100,16	-17697,4	17697,4	4,70234E-13	3,4796E-12	1,76355E-12	-1,64569E-12	-17697,3967	-20959,53812	-18657,3952	-7142,90875
9111,15	-17695,92	17702,33	-476,508413	0	-582,504076	3304,308186	-17695,9205	-20959,53812	-18549,3668	544,728633
9114,95	-17660,98	17687,32	-964,887935	-1559,3641	-1152,2466	7958,87676	-17660,978	-20656,69948	-18399,1917	2634,607459
9080,92	-17559,63	17620,42	-1462,45309	-2831,0244	-1706,44898	8787,913652	-17559,6261	-19726,17288	-18177,0035	-2785,68721
8963,61	-17347,52	17456,1	-1943,93494	-3553,2785	-2219,31156	7427,119979	-17347,5189	-18336,64929	-17841,6702	-7816,96172
8706,1	-16979,52	17141,69	-2352,33644	-3624,8333	-2636,45856	6284,801142	-16979,5198	-16808,15635	-17356,3996	-10655,3019
8302,2	-16469,76	16679,41	-2636,26121	-3073,5578	-2877,24712	5683,993245	-16469,759	-15426,07372	-16708,3942	-12306,2942

Продолжение таблицы В2

7707,36	-15817,88	16045,9	-2695,5277	-2055,0651	-2847,83181	5530,951517	-15817,8754	-14420,67579	-15928,5448	-13472,7844
6949,04	-15098,52	15296,66	-2454,06037	-802,3008	-2508,6743	5592,353953	-15098,5246	-13915,26724	-15126,1049	-14525,465
6133,92	-14436,06	14557,92	-1879,64512	442,623159	-1784,87429	5640,95316	-14436,0647	-13911,94565	-14406,9801	-15590,3868
5477,78	-13980,15	14016,95	-1015,09046	1481,53829	-709,577489	5523,220501	-13980,1472	-14313,88813	-13943,7496	-16648,4642
5262,3	-13859,54	13859,54	4,694398362	2226,37104	592,4352592	5177,009392	-13859,5412	-14983,54052	-13900,6046	-17621,0046
5607,96	-14122,06	14154,79	962,0610752	2554,34102	1912,962825	4616,739008	-14122,0571	-15715,2844	-14381,8522	-18430,9181
6284,14	-14674,48	14761,37	1599,235227	2553,51272	2955,898014	3902,527341	-14674,4829	-16387,81764	-15366,0922	-19035,8035
6854,87	-15238,98	15333,07	1696,007655	2307,44402	3534,074646	3107,792598	-15238,9815	-16919,97132	-16734,3206	-19436,0103
6863,58	-15357,09	15403,03	1188,712404	1912,04075	3489,736646	2167,537263	-15357,0929	-17290,28622	-18256,5811	-19343,6851
5959,86	-14547,83	14551,63	332,2847316	1443,66801	2790,874523	1322,699773	-14547,8336	-17512,09463	-19642,967	-19070,796
3761,87	-12342,99	12347,89	-347,825682	955,797099	1549,074292	650,5674697	-12342,9924	-17625,15906	-20611,8448	-19097,3935
1454,33	-7142,909	7142,909	-1,6457E-12	474,239633	3,47958E-12	1,76355E-12	-7142,90875	-17677,65298	-20959,5381	-18657,3952
9720,8	544,7286	3348,908	3304,308186	4,7023E-13	-1559,36408	-582,5040764	544,728633	-17697,39672	-20656,6995	-18549,3668
13765,8	2634,607	8383,608	7958,87676	-476,50841	-2831,02442	-1152,246601	2634,607459	-17695,92053	-19726,1729	-18399,1917
10535,7	-2785,687	9218,865	8787,913652	-964,88794	-3553,27849	-1706,448978	-2785,68721	-17660,97796	-18336,6493	-18177,0035
7467,99	-7816,962	10782,72	7427,119979	-1462,4531	-3624,83333	-2219,311562	-7816,96172	-17559,6261	-16808,1563	-17841,6702
6613,2	-10655,3	12370,7	6284,801142	-1943,9349	-3073,55784	-2636,458559	-10655,3019	-17347,51894	-15426,0737	-17356,3996
6787,11	-12306,29	13555,54	5683,993245	-2352,3364	-2055,0651	-2877,247123	-12306,2942	-16979,51982	-14420,6758	-16708,3942
7373,08	-13472,78	14563,91	5530,951517	-2636,2612	-802,300797	-2847,831807	-13472,7844	-16469,75896	-13915,2672	-15928,5448
8149,74	-14525,47	15564,82	5592,353953	-2695,5277	442,623159	-2508,674297	-14525,465	-15817,87545	-13911,9456	-15126,1049
8984,68	-15590,39	16579,52	5640,95316	-2454,0604	1481,53829	-1784,87429	-15590,3868	-15098,52464	-14313,8881	-14406,9801
9763,62	-16648,46	17540,73	5523,220501	-1879,6451	2226,371043	-709,577489	-16648,4642	-14436,06465	-14983,5405	-13943,7496
10403,4	-17621	18365,76	5177,009392	-1015,0905	2554,341019	592,4352592	-17621,0046	-13980,14723	-15715,2844	-13900,6046
10863,5	-18430,92	19000,34	4616,739008	4,69439836	2553,512719	1912,962825	-18430,9181	-13859,54119	-16387,8176	-14381,8522
11144,2	-19035,8	19431,71	3902,527341	962,061075	2307,444017	2955,898014	-19035,8035	-14122,05709	-16919,9713	-15366,0922
11275,5	-19436,01	19682,91	3107,792598	1599,23523	1912,040751	3534,074646	-19436,0103	-14674,48289	-17290,2862	-16734,3206

Продолжение таблицы В2

10962,9	-19343,69	19464,75	2167,537263	1696,00766	1443,668012	3489,736646	-19343,6851	-15238,98151	-17512,0946	-18256,5811
10556,7	-19070,8	19116,61	1322,699773	1188,7124	955,7970994	2790,874523	-19070,796	-15357,09293	-17625,1591	-19642,967
10520,3	-19097,39	19108,47	650,5674697	332,284732	474,239633	1549,074292	-19097,3935	-14547,83359	-17677,653	-20611,8448
10060,2	-18657,4	18657,4	1,76355E-12	-347,82568	4,70234E-13	3,47958E-12	-18657,3952	-12342,99237	-17697,3967	-20959,5381
9969,16	-18549,37	18558,51	-582,504076	-1,646E-12	-476,508413	0	-18549,3668	-7142,908749	-17695,9205	-20959,5381
9869,45	-18399,19	18435,24	-1152,2466	3304,30819	-964,887935	-1559,364083	-18399,1917	544,728633	-17660,978	-20656,6995
9730,56	-18177	18256,93	-1706,44898	7958,87676	-1462,45309	-2831,024417	-18177,0035	2634,607459	-17559,6261	-19726,1729
9507,09	-17841,67	17979,17	-2219,31156	8787,91365	-1943,93494	-3553,278489	-17841,6702	-2785,687206	-17347,5189	-18336,6493
9147,34	-17356,4	17555,5	-2636,45856	7427,11998	-2352,33644	-3624,833326	-17356,3996	-7816,961721	-16979,5198	-16808,1563
8606,36	-16708,39	16954,32	-2877,24712	6284,80114	-2636,26121	-3073,557835	-16708,3942	-10655,30187	-16469,759	-15426,0737
7865	-15928,54	16181,12	-2847,83181	5683,99324	-2695,5277	-2055,065099	-15928,5448	-12306,29423	-15817,8754	-14420,6758
6994,25	-15126,1	15332,73	-2508,6743	5530,95152	-2454,06037	-802,3007972	-15126,1049	-13472,78436	-15098,5246	-13915,2672
6077,74	-14406,98	14517,12	-1784,87429	5592,35395	-1879,64512	442,623159	-14406,9801	-14525,46505	-14436,0647	-13911,9456
5393,39	-13943,75	13961,79	-709,577489	5640,95316	-1015,09046	1481,53829	-13943,7496	-15590,38679	-13980,1472	-14313,8881
5336,35	-13900,6	13913,22	592,4352592	5523,2205	4,694398362	2226,371043	-13900,6046	-16648,4642	-13859,5412	-14983,5405
6092,71	-14381,85	14508,52	1912,962825	5177,00939	962,0610752	2554,341019	-14381,8522	-17621,00457	-14122,0571	-15715,2844
7386,12	-15366,09	15647,82	2955,898014	4616,73901	1599,235227	2553,512719	-15366,0922	-18430,91815	-14674,4829	-16387,8176
8871,4	-16734,32	17103,43	3534,074646	3902,52734	1696,007655	2307,444017	-16734,3206	-19035,80347	-15238,9815	-16919,9713
10270,4	-18256,58	18587,12	3489,736646	3107,7926	1188,712404	1912,040751	-18256,5811	-19436,0103	-15357,0929	-17290,2862
11392,9	-19642,97	19840,24	2790,874523	2167,53726	332,2847316	1443,668012	-19642,967	-19343,68507	-14547,8336	-17512,0946
12114,1	-20611,84	20669,97	1549,074292	1322,69977	-347,825682	955,7970994	-20611,8448	-19070,79602	-12342,9924	-17625,1591
12362,3	-20959,54	20959,54	3,47958E-12	650,56747	-1,6457E-12	474,239633	-20959,5381	-19097,3935	-7142,90875	-17677,653

Таблица В3 – Нагрузки, действующих на шейки коленчатого вала.

1-я коренная шейка	1-й кривошип				2-я коренная шейка			2-й кривошип			3-я коренная шейка			3-й кривошип						
	Рк.ш1, Н	$j_{\text{кв}}^{\text{град}}$	Рк1, Н	T1, Н	Крк1, Н	Тк2, Н	Кк2, Н	Рк.ш2, Н	$j_{\text{кв}}^{\text{град}}$	T2, Н	Крк2, Н	Тк3, Н	Кк3, Н	Рк.ш3, Н	$j_{\text{кв}}^{\text{град}}$	T3, Н	Крк3, Н	T1, Н	Ркшпр3	Рк.ш2,4 Н
10479,8	0	20959,54	0	-20959,54	2,4E-13	1631,1	1631,07	180	4,7E-13	-17697,4	1,1E-12	-18177,4	18177,4	540	1,76E-12	-18657,4	0	6977,395964	3262,141401	18177,39596
10357,7	10	20715,47	-1559,36	-20656,7	541,428	1480,4	1576,29	190	-476,51	-17695,92	-529,506	-18122,64	18130,38	550	-582,504	-18549,37	-779,682	6930,377568	2998,878502	18130,37757
9964,14	20	19928,29	-2831,02	-19726,17	933,068	1032,6	1391,72	200	-964,89	-17660,98	-1058,57	-18030,08	18061,13	560	-1152,25	-18399,19	-1415,512	6861,132975	2279,482132	18061,13297
9338,88	30	18677,75	-3553,28	-18336,65	1045,41	388,51	1115,27	210	-1462,5	-17559,63	-1584,45	-17868,31	17938,43	570	-1706,45	-18177	-1776,639	6738,426889	1656,059807	17938,42689
8597,29	40	17194,58	-3624,83	-16808,16	840,449	-269,68	882,657	220	-1943,9	-17347,52	-2081,62	-17594,59	17717,31	580	-2219,31	-17841,67	-1812,417	6517,305463	2017,373309	17717,30546
7864,64	50	15729,29	-3073,56	-15426,07	360,611	-776,72	856,352	230	-2352,3	-16979,52	-2494,4	-17167,96	17348,22	590	-2636,46	-17356,4	-1536,779	6148,223551	2818,985899	17348,22355
7283,19	60	14566,37	-2055,07	-14420,68	-290,598	-1024,5	1064,96	240	-2636,3	-16469,76	-2756,75	-16589,08	16816,57	600	-2877,25	-16708,39	-1027,533	5616,573811	3338,954176	16816,57381
6969,19	70	13938,38	-802,301	-13915,27	-946,613	-951,3	1342,03	250	-2695,5	-15817,88	-2771,68	-15873,21	16113,38	610	-2847,83	-15928,54	-401,1504	4913,37979	3299,361689	16113,37979
6959,49	80	13918,99	442,6232	-13911,95	-1448,34	-593,29	1565,15	260	-2454,1	-15098,52	-2481,37	-15112,31	15314,67	620	-2508,67	-15126,1	221,31158	4114,67407	2725,872706	15314,67407
7195,18	90	14390,36	1481,538	-14313,89	-1680,59	-61,088	1681,7	270	-1879,6	-14436,06	-1832,26	-14421,52	14537,45	630	-1784,87	-14406,98	740,76915	3337,451042	1883,611658	14537,45104
7574,02	100	15148,04	2226,371	-14983,54	-1620,73	501,7	1696,6	280	-1015,1	-13980,15	-862,334	-13961,95	13988,55	640	-709,577	-13943,75	1113,1855	2788,553288	1427,30751	13988,55329
7960,76	110	15921,52	2554,341	-15715,28	-1274,82	927,87	1576,74	290	4,6944	-13859,54	298,565	-13880,07	13883,28	650	592,4353	-13900,6	1277,1705	2683,283658	1855,749149	13883,28366
8292,78	120	16585,57	2553,513	-16387,82	-795,726	1132,9	1384,41	300	962,061	-14122,06	1437,51	-14251,95	14324,27	660	1912,963	-14381,85	1276,7564	3124,267911	2461,550803	14324,26791
8538,29	130	17076,58	2307,444	-16919,97	-354,104	1122,7	1177,26	310	1599,24	-14674,48	2277,57	-15020,29	15191,98	670	2955,898	-15366,09	1153,722	3991,983029	2756,768326	15191,98303
8697,84	140	17395,69	1912,041	-17290,29	-108,017	1025,7	1031,32	320	1696,01	-15238,98	2615,04	-15986,65	16199,12	680	3534,075	-16734,32	956,02038	4999,118883	2661,633513	16199,11888
8785,75	150	17571,5	1443,668	-17512,09	-127,478	1077,5	1085,02	330	1188,71	-15357,09	2339,22	-16806,84	16968,85	690	3489,737	-18256,58	721,83401	5768,846219	2461,111433	16968,84622
8825,53	160	17651,06	955,7971	-17625,16	-311,756	1538,7	1569,93	340	332,285	-14547,83	1561,58	-17095,4	17166,57	700	2790,875	-19642,97	477,89855	5966,573407	3095,213276	17166,57341
8842,01	170	17684,01	474,2396	-17677,65	-411,033	2667,3	2698,81	350	-347,83	-12342,99	600,624	-16477,42	16488,36	710	1549,074	-20611,84	237,11982	5288,361762	5345,987882	16488,36176
8848,7	180	17697,4	4,7E-13	-17697,4	-1,1E-12	5277,2	5277,24	360	-2E-12	-7142,909	9,2E-13	-14051,22	14051,22	720	3,48E-12	-20959,54	2,351E-13	2851,223436	10554,48797	14051,22344
8851,17	190	17702,33	-476,508	-17695,92	1890,41	9120,3	9314,18	370	3304,31	544,7286	1652,15	-10207,4	10340,25	0	0	-20959,54	-238,2542	-859,75219	18537,52234	10340,24781
8843,66	200	17687,32	-964,888	-17660,98	4461,88	10148	11085,4	380	7958,88	2634,607	3199,76	-9011,046	9562,29	10	-1559,36	-20656,7	-482,444	-1637,70996	21800,33272	9562,290043
8810,21	210	17620,42	-1462,45	-17559,63	5125,18	7387	8990,82	390	8787,91	-2785,687	2978,44	-11255,93	11643,33	20	-2831,02	-19726,17	-731,2265	443,3282814	17190,01736	11643,32828
8728,05	220	17456,1	-1943,93	-17347,52	4685,53	4765,3	6682,97	400	7427,12	-7816,962	1936,92	-13076,81	13219,47	30	-3553,28	-18336,65	-971,9675	2019,474431	12082,78246	13219,47443

Продолжение таблицы В3

8570,85	230	17141,69	-2352,34	-16979,52	4318,57	3162,1	5352,47	410	6284,8	-10655,3	1329,98	-13731,73	13795,99	40	-3624,83	-16808,16	-1176,168	2595,986429	8915,966469	13795,98643
8339,71	240	16679,41	-2636,26	-16469,76	4160,13	2081,7	4651,91	420	5683,99	-12306,29	1305,22	-13866,18	13927,48	50	-3073,56	-15426,07	-1318,131	2727,478284	7045,723363	13927,47828
8022,95	250	16045,9	-2695,53	-15817,88	4113,24	1172,5	4277,1	430	5530,95	-13472,78	1737,94	-13946,73	14054,6	60	-2055,07	-14420,68	-1347,764	2854,598055	6007,568299	14054,59805
7648,33	260	15296,66	-2454,06	-15098,52	4023,21	286,53	4033,4	440	5592,35	-14525,47	2395,03	-14220,37	14420,64	70	-802,301	-13915,27	-1227,03	3220,64373	5621,638554	14420,64373
7278,96	270	14557,92	-1879,65	-14436,06	3760,3	-577,16	3804,33	450	5640,95	-15590,39	3041,79	-14751,17	15061,52	80	442,6232	-13911,95	-939,8226	3861,519847	5757,847876	15061,51985
7008,48	280	14016,95	-1015,09	-13980,15	3269,16	-1334,2	3530,91	460	5523,22	-16648,46	3502,38	-15481,18	15872,41	90	1481,538	-14313,89	-507,5452	4672,412449	6133,993819	15872,41245
6929,77	290	13859,54	4,694398	-13859,54	2586,16	-1880,7	3197,71	470	5177,01	-17621	3701,69	-16302,27	16717,25	100	2226,371	-14983,54	2,3471992	5517,254576	6399,221285	16717,25458
7077,39	300	14154,79	962,0611	-14122,06	1827,34	-2154,4	2825,02	480	4616,74	-18430,92	3585,54	-17073,1	17445,54	110	2554,341	-15715,28	481,03054	6245,540526	6315,10591	17445,54053
7380,68	310	14761,37	1599,235	-14674,48	1151,65	-2180,7	2466,08	490	3902,53	-19035,8	3228,02	-17711,81	18003,56	120	2553,513	-16387,82	799,61761	6803,564825	5852,421452	18003,56483
7666,53	320	15333,07	1696,008	-15238,98	705,892	-2098,5	2214,06	500	3107,79	-19436,01	2707,62	-18177,99	18378,53	130	2307,444	-16919,97	848,00383	7178,534948	5222,396527	18378,53495
7701,52	330	15403,03	1188,712	-15357,09	489,412	-1993,3	2052,5	510	2167,54	-19343,69	2039,79	-18316,99	18430,21	140	1912,041	-17290,29	594,3562	7230,211673	4537,745552	18430,21167
7275,81	340	14551,63	332,2847	-14547,83	495,208	-2261,5	2315,07	520	1322,7	-19070,8	1383,18	-18291,45	18343,67	150	1443,668	-17512,09	166,14237	7143,668379	4712,401067	18343,66838
6173,95	350	12347,89	-347,826	-12342,99	499,197	-3377,2	3413,9	530	650,567	-19097,39	803,182	-18361,28	18378,83	160	955,7971	-17625,16	-173,9128	7178,834796	6785,659333	18378,8348
3571,45	360	7142,909	-1,6E-12	-7142,909	1,7E-12	-5757,2	5757,24	540	1,8E-12	-18657,4	237,12	-18167,52	18169,07	170	474,2396	-17677,65	-8,23E-13	6969,07145	11514,48646	18169,07145
1674,45	370	3348,908	3304,308	544,7286	-1943,41	-9547	9742,84	550	-582,5	-18549,37	-291,252	-18123,38	18125,72	180	4,7E-13	-17697,4	1652,1541	6925,721908	19102,97863	18125,72191
4191,8	380	8383,608	7958,877	2634,607	-4555,56	-10517	11461,2	560	-1152,2	-18399,19	-814,378	-18047,56	18065,92	190	-476,508	-17695,92	3979,4384	6865,920768	21065,336	18065,92077
4609,43	390	9218,865	8787,914	-2785,687	-5247,18	-7695,7	9314,29	570	-1706,4	-18177	-1335,67	-17918,99	17968,7	200	-964,888	-17660,98	4393,9568	6768,701662	15485,62515	17968,70166
5391,36	400	10782,72	7427,12	-7816,962	-4823,22	-5012,4	6956,08	580	-2219,3	-17841,67	-1840,88	-17700,65	17796,12	210	-1462,45	-17559,63	3713,56	6596,117331	10267,43022	17796,11733
6185,35	410	12370,7	6284,801	-10655,3	-4460,63	-3350,5	5578,83	590	-2636,5	-17356,4	-2290,2	-17351,96	17502,44	220	-1943,93	-17347,52	3142,4006	6302,442472	7201,084995	17502,44247
6777,77	420	13555,54	5683,993	-12306,29	-4280,62	-2201	4813,35	600	-2877,2	-16708,39	-2614,79	-16843,96	17045,7	230	-2352,34	-16979,52	2841,9966	5845,703955	5258,99561	17045,70395
7281,95	430	14563,91	5530,952	-13472,78	-4189,39	-1227,9	4365,63	610	-2847,8	-15928,54	-2742,05	-16199,15	16429,59	240	-2636,26	-16469,76	2765,4758	5229,587355	3760,439512	16429,58736
7782,41	440	15564,82	5592,354	-14525,47	-4050,51	-300,32	4061,63	620	-2508,7	-15126,1	-2602,1	-15471,99	15689,28	250	-2695,53	-15817,88	2796,177	4489,276905	2579,576512	15689,27691
8289,76	450	16579,52	5640,953	-15590,39	-3712,91	591,7	3759,77	630	-1784,9	-14406,98	-2119,47	-14752,75	14904,22	260	-2454,06	-15098,52	2820,4766	3704,222349	2141,54797	14904,22235
8770,37	460	17540,73	5523,221	-16648,46	-3116,4	1352,4	3397,18	640	-709,58	-13943,75	-1294,61	-14189,91	14248,84	270	-1879,65	-14436,06	2761,6103	3048,841437	2796,244167	14248,84144
9182,88	470	18365,76	5177,009	-17621	-2292,29	1860,2	2952,1	650	592,435	-13900,6	-211,328	-13940,38	13941,98	280	-1015,09	-13980,15	2588,5047	2741,977646	3767,274232	13941,97765
9500,17	480	19000,34	4616,739	-18430,92	-1351,89	2024,5	2434,41	660	1912,96	-14381,85	958,829	-14120,7	14153,21	290	4,694398	-13859,54	2308,3695	2953,212594	4478,20971	14153,21259

Продолжение таблицы В3

9715,86	490	19431,71	3902,527	-19035,8	-473,315	1834,9	1894,92	670	2955,9	-15366,09	1958,98	-14744,07	14873,65	300	962,0611	-14122,06	1951,2637	3673,645778	4712,1241	14873,64578
9841,45	500	19682,91	3107,793	-19436,01	213,141	1350,8	1367,56	680	3534,07	-16734,32	2566,65	-15704,4	15912,76	310	1599,235	-14674,48	1553,8963	4712,760669	4448,461612	15912,76067
9732,37	510	19464,75	2167,537	-19343,69	661,1	543,55	855,863	690	3489,74	-18256,58	2592,87	-16747,78	16947,31	320	1696,008	-15238,98	1083,7686	5747,305533	3655,141157	16947,30553
9558,31	520	19116,61	1322,7	-19070,8	734,087	-286,09	787,864	700	2790,87	-19642,97	1989,79	-17500,03	17612,79	330	1188,712	-15357,09	661,34989	6412,788741	2848,92265	17612,78874
9554,24	530	19108,47	650,5675	-19097,39	449,253	-757,23	880,465	710	1549,07	-20611,84	940,68	-17579,84	17604,99	340	332,2847	-14547,83	325,28373	6404,988634	2166,378093	17604,98863
9328,7	540	18657,4	1,76E-12	-18657,4	8,6E-13	-1151,1	1151,07	720	3,5E-12	-20959,54	-173,913	-16651,27	16652,17	350	-347,826	-12342,99	8,818E-13	5452,173434	2302,142919	16652,17343
9279,26	550	18558,51	-582,504	-18549,37	291,252	-1205,1	1239,78	0	0	-20959,54	-8,2E-13	-14051,22	14051,22	360	-1,6E-12	-7142,909	-291,252	2851,223436	2410,171297	14051,22344
9217,62	560	18435,24	-1152,25	-18399,19	-203,559	-1128,8	1146,96	10	-1559,4	-20656,7	872,472	-10055,99	10093,76	370	3304,308	544,72863	-576,1233	-1106,23706	2743,712367	10093,76294
9128,46	570	18256,93	-1706,45	-18177	-562,288	-774,58	957,157	20	-2831	-19726,17	2563,93	-8545,783	8922,114	380	7958,877	2634,6075	-853,2245	-2277,88593	3227,169802	8922,114074
8989,58	580	17979,17	-2219,31	-17841,67	-666,983	-247,49	711,42	30	-3553,3	-18336,65	2617,32	-10561,17	10880,65	390	8787,914	-2785,687	-1109,656	-319,346247	3587,588654	10880,65375
8777,75	590	17555,5	-2636,46	-17356,4	-494,187	274,12	565,123	40	-3624,8	-16808,16	1901,14	-12312,56	12458,47	400	7427,12	-7816,962	-1318,229	1258,469244	3666,058832	12458,46924
8477,16	600	16954,32	-2877,25	-16708,39	-98,1554	641,16	648,63	50	-3073,6	-15426,07	1605,62	-13040,69	13139,16	410	6284,801	-10655,3	-1438,624	1939,161279	3330,330838	13139,16128
8090,56	610	16181,12	-2847,83	-15928,54	396,383	753,93	851,785	60	-2055,1	-14420,68	1814,46	-13363,49	13486,1	420	5683,993	-12306,29	-1423,916	2286,104389	2548,913788	13486,10439
7666,36	620	15332,73	-2508,67	-15126,1	853,187	605,42	1046,16	70	-802,3	-13915,27	2364,33	-13694,03	13896,63	430	5530,952	-13472,78	-1254,337	2696,631861	1452,520034	13896,63186
7258,56	630	14517,12	-1784,87	-14406,98	1113,75	247,52	1140,92	80	442,623	-13911,95	3017,49	-14218,71	14535,36	440	5592,354	-14525,47	-892,4371	3335,364424	664,0589878	14535,36442
6980,9	640	13961,79	-709,577	-13943,75	1095,56	-185,07	1111,08	90	1481,54	-14313,89	3561,25	-14952,14	15370,39	450	5640,953	-15590,39	-354,7887	4170,389904	1527,075065	15370,3899
6956,61	650	13913,22	592,4353	-13900,6	816,968	-541,47	980,114	100	2226,37	-14983,54	3874,8	-15816	16283,73	460	5523,221	-16648,46	296,21763	5083,733384	2475,778284	16283,73338
7254,26	660	14508,52	1912,963	-14381,85	320,689	-666,72	739,832	110	2554,34	-15715,28	3865,68	-16668,14	17110,54	470	5177,009	-17621	956,48141	5910,53726	2881,44054	17110,53726
7823,91	670	15647,82	2955,898	-15366,09	-201,193	-510,86	549,053	120	2553,51	-16387,82	3585,13	-17409,37	17774,68	480	4616,739	-18430,92	1477,949	6574,679122	2750,33634	17774,67912
8551,71	680	17103,43	3534,075	-16734,32	-613,315	-92,825	620,3	130	2307,44	-16919,97	3104,99	-17977,89	18244,05	490	3902,527	-19035,8	1767,0373	7044,050298	2314,900445	18244,0503
9293,56	690	18587,12	3489,737	-18256,58	-788,848	483,15	925,047	140	1912,04	-17290,29	2509,92	-18363,15	18533,89	500	3107,793	-19436,01	1744,8683	7333,885067	2142,341163	18533,88507
9920,12	700	19840,24	2790,875	-19642,97	-673,603	1065,4	1260,51	150	1443,67	-17512,09	1805,6	-18427,89	18516,14	510	2167,537	-19343,69	1395,4373	7316,136886	2573,867616	18516,13689
10335	710	20669,97	1549,074	-20611,84	-296,639	1493,3	1522,52	160	955,797	-17625,16	1139,25	-18347,98	18383,31	520	1322,7	-19070,8	774,53715	7183,312182	3135,895414	18383,31218
10479,8	720	20959,54	3,48E-12	-20959,54	237,12	1640,9	1657,99	170	474,24	-17677,65	562,404	-18387,52	18396,12	530	650,5675	-19097,39	1,74E-12	7196,122106	3315,97246	18396,12211