

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 ЭМСУ

_____ Д.А. Павлов
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 2017г

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Васин Михаил Анатольевич

1. Тема Дизельный двигатель для легкового автомобиля с неразделенной камерой сгорания

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

3. Исходные данные к бакалаврской работе Дизельный двигатель ВАЗ 341,
 $iV_h=1,5$ л, частота вращения $n = 5200$ об/мин. Степень сжатия $\varepsilon = 25$.

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)

М.А. Васин

(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 Васина Михаила Анатольевича
по теме Дизельный двигатель для легкового автомобиля с неразделенной камерой сгорания

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Лит. обзор по теме работы	30 апреля 2017 г.			
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)

М.А. Васин

_____ (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Повышение эффективности рабочего процесса дизельного двигателя является значимой и актуальной задачей. Поэтому в бакалаврской работе представлен способ повышения эффективности рабочего процесса дизельного двигателя с помощью применения неразделенной камеры сгорания с объемно пленочным смесеобразованием.

В бакалаврской работе проведена модернизация форкамерного дизельного двигателя ВАЗ-341. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обоснование эффективности применения неразделенной камеры сгорания с объемно пленочным смесеобразованием в дизельных двигателях легковых автомобилей.
- Тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, где проведен расчет основных параметров проектируемого двигателя. Представлено сравнение внешней скоростной характеристики для базового и проектируемого двигателя.
- Кинематический расчет показывает изменение кинематических параметров поршневой группы.
- Динамический расчет, где определяются силы и нагрузки действующие в кривошипно-шатунном механизме, а также условия для уравнивания двигателя.
- Расчет основных деталей двигателя,

Increasing the efficiency of the working process of a diesel engine is a significant and urgent task. Therefore, in the bachelor's work a method is presented to increase the efficiency of the working process of a diesel engine by using an undivided combustion chamber with a bulk film-forming mixture.

In the bachelor's work, the forehearth diesel engine VAZ-341 was modernized. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- Rationale for the effectiveness of the use of an undivided combustion chamber with volumetric film mixing in diesel engines of cars.
- Thermal calculation and heat balance of the engine, where the calculation of the main parameters of the engine being designed. A comparison of the external speed characteristic for the basic and projected engine is presented.
- Kinematic calculation shows the change in the kinematic parameters of the piston group.
- Dynamic calculation, where the forces and loads acting in the crank mechanism are determined, as well as the conditions for balancing the engine.
- Calculation of the main engine parts, consisting of the calculation of the most loaded elements of the ICE, namely, from the calculation of the pis-

состоящий из расчета наиболее нагруженных элементов ДВС, а именно из расчета поршневой группы, расчет шатунной группы и расчета коленчатого вала. – Расчет систем двигателя, состоящий из расчета системы охлаждения и расчета системы смазки. – В разделе специальной части, проведен анализ эффективности применения водорода, с оценкой его необходимого количества для снижения содержанию сажи в ОГ. Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1, это чертежи конструкции спроектированного двигателя и материал иллюстрирующий эффективность проведенной модернизации.	ton group, the calculation of the connecting rod group and the calculation of the crankshaft. – Calculation of engine systems, consisting of calculating the cooling system and calculating the lubrication system. – In the section of the special section, an analysis of the efficiency of hydrogen has been performed, with an estimate of its required amount to reduce the carbon black content in the exhaust gas. The graphic part of the work contains 8 sheets of A1 format, these are the drawings of the designed engine design and the material illustrating the effectiveness of the modernization carried out.
---	--

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы.....	8
2 Тепловой расчет двигателя	17
3 Тепловой баланс двигателя.....	28
4 Расчет кинематики двигателя	30
5 Динамический расчет.....	32
6 Двухзонные модели сгорания в дизеле	37
6.1 Моделирование динамики струй топлива и процесса сгорания.....	37
6.2 Наложение на конечно-элементную сетку величин коэффициента теплообмена.....	39
6.3 Осреднение результатов.....	41
6.4 Выводы по разделу.....	41
7 Безопасность и экологичность проекта.....	43
7.1 Описание проектируемого двигателя	43
7.2 Выводы по главе безопасность и экологичность проекта	48
Заключение	49
Список использованных источников.....	50
Приложение А	52
Приложение Б	70

ВВЕДЕНИЕ

Смесеобразование в дизельных двигателях протекает за очень короткий промежуток времени, примерно в раз меньший, чем в карбюраторных. Поэтому получение однородной смеси в камере сгорания таких двигателей представляет значительно более трудную задачу, чем в карбюраторных. Для обеспечения своевременного и полного сгорания топлива необходимо вводить значительный избыток воздуха ($\alpha = 1,2 - 1,75$) и применять ряд других мер, обеспечивающих хорошее перемешивание воздуха и топлива.

Чтобы уменьшить коэффициент избытка воздуха, а следовательно, повысить среднее эффективное давление и литровую мощность, необходимо улучшить качество смесеобразования за счет: – согласования формы камеры сгорания с формой топливного факела, выбрасываемого из форсунки при подаче топлива; – создания в камере сгорания интенсивных воздушных потоков вихрей, которые способствуют перемешиванию топлива с воздухом; – осуществления тонкого и однородного распыливания топлива.

Выполнение первых двух условий обеспечивается применением камер сгорания специальных форм. Тонкость и однородность распыливания топлива улучшается с увеличением давления впрыска, уменьшением диаметра соплового отверстия форсунки и вязкости топлива.

По способу смесеобразования дизельные двигатели бывают с неразделенными и разделенными камерами сгорания.

Неразделенные камеры представляют собой единый объем, ограниченный днищем поршня и поверхностями головки и стенок цилиндра. В этот объем через форсунку впрыскивается топливо в виде одной или нескольких струй, и в нем происходят процессы смесеобразования и сгорания. Для улучшения смесеобразования форму камеры сгорания стремятся согласовать с формой струи топлива, подаваемого форсункой, а воздушный поток заставляют вращаться вокруг вертикальной оси цилиндра и образовывать дополнительно кольцевой вихрь.

1 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы

Development and testing technique of modeling of working processes in internal combustion engines	Разработка и апробация методики моделирования рабочих процессов в двигатели внутреннего сгорания
Abstract The paper presents the developed method of modeling workflows in the combustion chamber (CC) of the internal combustion engine (ICE). The methodology includes a description of the preparation of three-dimensional model of the COP ICE, application of finite element mesh, boundary conditions, and job setting solutions. Testing was conducted at COP aircraft radial engine M-14. Cycle calculations ICE cold purge was performed in the software package ANSYS IC Engine, a comparison of the data. A variant of the engine to improve the intake channel. Keywords: internal combustion engine, combustion chamber, process modeling. At the first stage, the cylinder head is built for one cylinder with inlet and outlet channels, as well as inlet and outlet valves in the SolidWorks graphics editor. Further, after exporting the model to Ansys Gambit, a combustion chamber with inlet and outlet channels and cut inlet and exhaust valves is obtained with the help of Boolean operations. In Ansys Gambit, the model was dissected with the help of created auxiliary surfaces of 16 volumes, according to the developed scheme. Next, the conditions for the permeability (Interfaces) of the contacting surfaces between the volumes were specified. The boundary conditions for the pressure at the inlet (Pressure_inlet) in the inlet channel and the pressure at the outlet (Pressure_outlet) from the outlet channel were set. The purpose of these operations was to prepare the model for the second stage.	Аннотация В статье представлена разработанная методика моделирования рабочих процессов в камере сгорания (КС) двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Методика включает описание подготовки трехмерной модели КС ДВС, наложение конечно-элементной сетки, задание граничных условий и настройку решения. Апробация проводилась на КС авиационного звездообразного двигателя М-14. Был произведен цикл расчетов холодной продувки ДВС в программном комплексе ANSYS IC Engine, произведено сравнение полученных данных. Предложен вариант улучшения впускного канала двигателя. Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, камера сгорания, моделирование процессов. На первом этапе производится построение головки блока цилиндра для одного цилиндра с впускными и выпускными каналами, а также впускными и выпускными клапанами в графическом редакторе SolidWorks. Далее после экспорта модели в Ansys Gambit, с помощью булевых операций получается камера сгорания с впускными и выпускными каналами и вырезанными впускными и выпускными клапанами. В Ansys Gambit модель была рассечена с помощью созданных вспомогательных поверхностей на 16 объемов, согласно разработанной схеме. Далее были заданы условия проницаемости (Interfaces) соприкасающихся поверхностей между объемами. Были заданы граничные условия давления на входе (Pressure_inlet) во впускном канале и давления на выходе (Pressure_outlet) из выпускного канала. Целью данных операций являлась подготовка модели ко второму этапу.

The created volumes make it possible in the valve motion zones to create a dynamic rectangular grid with the method of motion - "layering" (Layering), and a tetragonal grid with (Remeshing) on motion.

The second step in the construction of a finite element grid in Ansys Gambit, in each divided volume in two on the surfaces connecting the half, a grid is superimposed. In cylindrical volumes a quadrangular grid (Quad) is constructed with a cell size of 0.5 mm with the type of Pave construction. In surfaces of an annular volume with a trapezoidal profile and a parallelogram, a grid with a cell size of 0.3 mm and the construction type Mar is superimposed.

The size is chosen taking into account the fact that these volumes touch each other and contain the area of the valve slit, therefore in this place for a correct calculation in ANSYS Fluent you need a clever grid. The Mar type is chosen in connection with the shape of the volumes, since it allows obtaining optimal cells in the form on the surfaces. Using the Cooper tool and a superimposed grid on the surfaces as a source, a grid with a 1mm element size is created. In the volume of the combustion chamber, a triangular grid with a cell size equal to 2 mm is superimposed, sufficient for a gas-dynamic calculation in the first approximation.

In the inlet and outlet channels, a triangular grid with a cell size equal to 2 mm is superimposed, since these regions are static and not demanding for small cell sizes. In the above-piston volume, an elemental grid with cells in the form of a prism was created. The finite element mesh executed in this way will allow to obtain high results of gas dynamic and thermal calculation of the main parameters in the reciprocating engine.

The third stage is the setting of boundary conditions, including binding to the moving boundaries of the equations of motion.

IC Engine - is a special analysis system for

Созданные объемы дают возможность в зонах движения клапана создать динамическую прямоугольную сетку с методом движения – «расслоение» (Layering), и тетрагональную сетку с перестроением (Remeshing) при движении.

Вторым этапом разделе построения конечно-элементной сетки в Ansys Gambit, в каждом разделенном надвое объеме на поверхностях соединяющих половины, накладывается сетка. В цилиндрических объемах строится четырехугольная сетка (Quad) с размером ячеек 0,5 мм с типом построения Pave. В поверхностях кольцевого объема с профилем трапеции и параллелограмма накладывается сетка с размером ячеек 0,3 мм и типом построения Mar. Размер выбирается с учетом того, что данные объемы соприкасаются между собой и содержат в себе область щели клапана, поэтому в данном месте для корректного расчета в ANSYS Fluent необходима уменьшенная сетка. Тип Мар выбирается в связи с формой объемов, так как позволяет получить оптимальные по форме ячейки на поверхностях. Используя инструмент Соорег и наложенную сетку на поверхностях в качестве источника, создается сетка с размером элемента 1мм. В объеме камеры сгорания накладывается треугольная сетка с размером ячейки равным 2 мм, достаточным для газодинамического расчета в первом приближении.

Во впускном и выпускном каналах накладывается треугольная сетка с размером ячейки равным 2 мм, так данные области статичные и не требовательны к малым размерам ячеек. В надпоршневом объеме создана конечно-элементная сетка с ячейками в форме призмы. Конечно-элементная сетка, выполненная данным образом позволит получить высокие результаты газодинамического и теплового расчета основных параметров в поршневом двигателе.

Третьим этапом идет задание граничных условий, включая привязку подвижным границам уравнений движений.

IC Engine – специальная система анализа для

simulation of processes in the CS of ICE in the Fluent application with a simplified procedure for preparing a three-dimensional model of the compressor with a part of the inlet and outlet channels. This system will significantly reduce the time to prepare a three-dimensional model, due to the fact that all items are performed in semi-automatic mode, except for setting boundary conditions, this item is simplified in that all the necessary settings are made in a separate window. At the beginning, the program specifies the radius of the crankshaft, the length of the connecting rod, the displacement of the axis of rotation cranked relative to the axis of the cylinder, the minimum clearance between the seat and the valve.

The program automatically creates the equation of motion of the piston, based on the data entered. Equations of motion of the valves are also loaded. Further in Design Modeler, a three-dimensional model is loaded, consisting of a single model of the internal volume of the compressor with a part of the inlet and outlet channels and two separate models of the inlet and outlet valves. On which are indicated the surfaces of the inlet and outlet channels, the surface of the cylinder, the inlet and outlet valve, their seats are indicated and the equations of their motion are attached.

You can also select a certain angle of rotation of the crankshaft from which the calculation will begin, it can be specified or selected from the options offered by the program.

There are three standard modes of partitioning the final elements of the model: coarse, medium and accurate. They are selected when the automatic grid setup is started.

These settings are parameterized relative to the diameter of the valve. If the standard settings are not suitable, it is possible to change both the general settings, so separately for any element resulting from the separation. This program allows you to visually check how this model has broken down into finite

моделирования процессов в КС ДВС в приложении Fluent с упрощенной процедурой подготовки трехмерной модели КС с частью впускного и выпускного каналов. Данная система позволит значительно сократить время на подготовку трехмерной модели, за счет того, что все пункты выполняются в полуавтоматическом режиме, кроме задания граничных условий, данный пункт упрощен тем, что все необходимые настройки, вынесены в отдельное окно. В начале в программе задается радиус коленчатого вала, длина шатуна, смещение оси вращения коленчатого относительно оси цилиндра, минимальный зазор между седлом и клапаном.

Программа автоматически создает уравнение движения поршня, основываясь на введенных данных. Так же загружаются уравнения движения клапанов. Далее в Design Modeler загружается трехмерная модель, состоящая из единой модели внутреннего объема КС с частью впускного и выпускного каналов и двух отдельных моделей впускного и выпускного клапанов. На которой указываются поверхности впускного и выпускного каналов, поверхность цилиндра, указываются впускной и выпускной клапан, их седла и привязываются уравнения их движения.

Так же можно выбрать определенный угол поворота коленчатого вала с которого будет начат расчет, он может быть задан или выбран из предложенных программой вариантов.

Существует три стандартных режима разбиения на конечные элементы модели: грубый, средний и точный.

Они выбираются при запуске автоматической настройки сетки. Данные настройки параметризованы относительно диаметра клапана.

Если стандартные настройки не подходят, есть возможность поменять, как общие настройки, так отдельно для любого элемента полученного в результате деления. Данная программа позволяет визуально проверить, как данная модель разбилась на конечные элементы.

После создание сетки, следует настройка па-

elements. After creating the grid, you need to configure the calculation parameters. In this system, all the settings required for the calculation are taken from the Fluent program, and made a separate item. The last step is to load the model in Fluent. It remains to just start the calculation. The calculation showed the imperfection of the inlet channel of the engine under investigation. Due to the small turning radius of the channel, there was a region of a swirling flow, which is the flow of FA through the channel. To eliminate this disadvantage, the geometry of the inlet channel was changed and a new calculation was made. After carrying out a cycle of calculations of cold blowing ICE using the software complex ANSYS IC Engine and comparing the results obtained, it can be concluded that the proposed variant of improving the intake channel of the engine allows increasing the fuel flow through the channel. The filling factor thus increased by 5%, which will positively affect the characteristics of the engine.	раметров расчета. В данной системе все требуемые для расчета настройки вынесены из программы Fluent, и сделаны отдельным пунктом. Последним этапом является загрузка модели во Fluent. В нем остается просто запустить расчет. Проведенный расчет показал несовершенство впускного канала исследуемого двигателя. За счет небольшого радиуса поворота канала возникала область закрученного потока, которая расход ТВС через канал. Для устранения этого недостатка была изменена геометрия впускного канала и проведен новый расчет. После проведения цикла расчетов холодной продувки ДВС с помощью программном комплексе ANSYS IC Engine и сравнения полученных результатов можно сделать вывод о том, что предложенный вариант улучшения впускного канала двигателя позволяет увеличить расход ТВС через канал. Коэффициент наполнения при этом вырос на 5%, что положительно повлияет на характеристики двигателя.
Evaluation the adequacy of the developed mathematical model of a thermoelectric generator for automotive internal combustion engine based on experimental results.	Проверка адекватности разработанной математической модели термоэлектрического генератора для автомобильного двигателя внутреннего сгорания на основании результатов экспериментальных исследований.
Abstract The article presents the main characteristics of the developed model of a thermoelectric generator for automotive internal combustion engine and described modifications made to it, according of manufacturing results as individual parts, and a thermoelectric generator in general. Also shows the process of determining the adequacy of the mathematical model based on experimental results. Adequacy analysis showed that the deviation from the simulation results obtained in the test values does not exceed 6%, which provides a true reflection TEG properties with sufficient precision.	Аннотация В статье приведены основные характеристики разработанной математической модели термоэлектрического генератора для автомобильного двигателя внутреннего сгорания, а также описаны внесенные в нее, по результатам изготовления, как отдельных деталей, так и термоэлектрического генератора в целом, изменения. Описан процесс определения адекватности математической модели на основании результатов экспериментальных исследований. Анализ адекватности показал, что отклонения результатов моделирования от полученных в ходе испытаний значений не превышает 6%, что обеспечивает верное отражение свойств

Keywords: internal combustion engine, exhaust gases, thermal energy, thermoelectric generator.

At the moment, the leading manufacturers of automotive equipment and components for exhaust systems patented various designs of the thermoelectric generator, characterized by the shape, performance and mutual location of its most important constituent elements. Examples are the designs of thermoelectric generators for exhaust systems of General Motors, BMW, Hyundai and Toyota. The thermoelectric generator considered in this work consists of the following main components: a housing of square cross-section with connecting flanges, thermoelectric generator modules and a liquid cooling system.

Thermoelectric generator is intended for the exhaust system and must be located in its straight section of sufficient length and located near the internal combustion engine, where the exhaust gases have a high temperature. However, the operating temperature of thermoelectric generator modules are relatively narrow and unacceptable overheating. Therefore, the location of the studied thermoelectric generator in the vehicle may be different and must be determined for each case based on the type and power of the internal combustion engine.

The developed TEG, simplistically consists of a tetrahedral heat exchanger, on the faces of which thermoelectric energy converters are located. The second side of the thermoelectric elements is in contact with the radiator cooled by the cooling liquid flowing through it. The internal design of the heat exchanger is designed in such a way that it should provide an optimal temperature distribution along the length of the TEG. Thermoelectric modules in the TEG are included in a series-parallel scheme: four parallel branches of 24 series-connected elements. Such inclusion and distribution of elements along the sides

ТЭГ с достаточной точностью.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, отработавшие газы, тепловая энергия, термоэлектрический генератор.

В настоящий момент ведущими производителями автомобильной техники и компонентов для систем выпуска отработавших газов запатентованы различные варианты конструкции термоэлектрического генератора, отличающиеся формой, исполнением и взаимным расположением его важнейших составных элементов. Примерами могут служить конструкции термоэлектрических генераторов для систем выпуска отработавших газов General Motors, BMW, Hyundai и Toyota. Рассматриваемый в данной работе термоэлектрический генератор состоит из следующих основных компонентов: корпуса квадратного поперечного сечения с присоединительными фланцами, термоэлектрических генераторных модулей и системы жидкостного охлаждения.

Термоэлектрический генератор предназначен для системы выпуска отработавших газов и должен располагаться на ее прямом участке, обладающем достаточной длиной и находящемся вблизи от двигателя внутреннего сгорания, где отработавшие газы имеют высокую температуру. Однако температурный режим работы термоэлектрических генераторных модулей относительно узок и их перегрев недопустим. Поэтому расположение исследуемого термоэлектрического генератора в транспортном средстве может быть различным и должно определяться для каждого конкретного случая с учетом типа и мощности используемого двигателя внутреннего сгорания.

Разработанный ТЭГ, упрощенно состоит из четырехгранного теплообменника, на гранях которого располагаются термоэлектрические преобразователи энергии. Вторая сторона термоэлектрических элементов контактирует с радиатором, охлаждаемым протекающей по нему охлаждающей жидкостью. Внутренняя конструкция теплообменника рассчитана та-

of the heat exchanger allows achieving uniformity of the induced electromotive force, as well as obtaining the necessary voltage in the load.

The mathematical model of the thermoelectric generator developed for the automotive internal combustion engine developed within the framework of the project makes it possible to evaluate the efficiency of its operation, in particular, the output electric power and the aerodynamic resistance to the exhaust gas flow, depending on the initial conditions.

The initial conditions necessary for the calculation of heat and mass transfer processes are:

1. thermodynamic parameters (pressure, temperature and mass flow) of exhaust gases from the internal combustion engine;
2. thermodynamic parameters (pressure, temperature and mass flow) of the coolant;
3. geometric parameters of the elements of the thermoelectric generator, such as the areas of the cross-sections, the parameters of the fins of the shell, the thermal conductivity of the materials from which the individual parts are made and others.

The mathematical model is adequate to the original if it correctly reflects the properties of the original and can be used to predict its behavior. In this case, the adequacy of the model depends on the purposes of modeling and the criteria adopted. The adequacy analysis is a one-time procedure based on comparing the data observed on a real object with the results of a computational experiment conducted with the model. The model is considered adequate if it reflects the properties under study with acceptable accuracy, where the model accuracy is understood as the quantitative indicator characterizing the degree of difference between the model and the phenomenon being studied. Thus, the measure of adequacy is quantitative. It is obvious that neglecting the procedure for assessing the adequacy of the mathematical model inevitably leads to gross errors in computation-

ким образом, что должна обеспечивать оптимальное распределение температуры по длине ТЭГ. Термоэлектрические модули в составе ТЭГ включены по последовательно-параллельной схеме: четыре параллельных ветви по 24 последовательно соединенных элемента. Такое включение и распределение элементов по граням теплообменника позволяет добиться равномерности наводимой электродвижущей силы, а также получить необходимое напряжение в нагрузке.

Разработанная в рамках выполнения проекта математическая модель термоэлектрического генератора для автомобильного двигателя внутреннего сгорания позволяет оценить эффективность его работы, а в частности, выходную электрическую мощность и аэродинамическое сопротивление потоку отработавших газов в зависимости от начальных условий. В качестве начальных условий, необходимых для расчетов процессов тепло- и массопереноса, выступают:

1. термодинамические параметры (давление, температура и массовый расход) отработавших газов, поступающих от двигателя внутреннего сгорания;
2. термодинамические параметры (давление, температура и массовый расход) охлаждающей жидкости;
3. геометрические параметры элементов термоэлектрического генератора, такие как площади проходных сечений, параметры оребрения корпуса, теплопроводность материалов, из которых изготовлены отдельные детали и другие. Математическая модель адекватна оригиналу, если верно отражает свойства оригинала и может быть использована для предсказания его поведения. При этом адекватность модели зависит от целей моделирования и принятых критериев. Анализ адекватности представляет собой разовую процедуру, основанную на сравнении данных, наблюдаемых на реальном объекте, с результатами вычислительного эксперимента, проведенного с моделью. Модель

al studies, errors in the interpretation of the results obtained, and, ultimately, to incorrect practical conclusions.

Based on the results of the manufacture of individual elements of the thermoelectric generator, and in particular of the TEG body, it was concluded that the effect of the roughness of the walls and fins on the coefficient of heat transfer from the exhaust gases to the body must be taken into account in the mathematical model. Earlier, the surface roughness was taken into account only when determining the pressure drop of exhaust gases when moving along straight sections and areas with local resistances.

According to the theory of heat transfer in a laminar flow, when the thermal conductivity at all points of the flow is the same, the thermal resistance of the layer flowing between the walls of the wall roughness is negligible, in comparison with the thermal resistance of the entire flow column. The wall roughness does not affect the hydrodynamic characteristics of the laminar flow of the flow in connection with the relatively weak velocity variation near the wall. In turbulent flow, significant changes in velocity and temperature occur in close proximity to the wall, at distances that can be commensurate with the height of the unevenness of the microrelief. For certain values of the Reynolds criterion, the roughness of the walls causes fundamental changes in the dependence of the hydraulic resistance on the flow velocity. The influence of roughness on heat transfer is expressed through the thermal resistance of a viscous wall layer, flowing between the irregularities of the microrelief and separating the wall from the turbulent core of the flow. In this case, the temperature distribution depends both on the deceleration of the flow (through the velocity field) and on the thermal conductivity in the viscous sublayer.

The influence of roughness on the heat transfer can be estimated on the basis of the fol-

считается адекватной, если отражает исследуемые свойства с приемлемой точностью, где под точностью модели

понимается количественный показатель, характеризующий степень различия модели и изучаемого явления. Таким образом, мера адекватности является количественной. Очевидно, что пренебрежение процедурой оценки адекватности математической модели неизбежно приводит к грубым погрешностям расчетных исследований, ошибкам в интерпретации полученных результатов и, в конечном счете, к неверным практическим выводам. По результатам изготовления отдельных элементов термоэлектрического генератора, а, в частности, корпуса ТЭГ,

был сделан вывод о необходимости учета в математической модели влияния шероховатости стенок и ребер на коэффициент теплоотдачи от отработавших газов к корпусу. Ранее шероховатость поверхности учитывалась лишь при определении падения давления отработавших газов при движении по прямым участкам и участкам с местными сопротивлениями.

Согласно теории теплообмена при ламинарном течении, когда теплопроводность во всех точках потока одинакова, термическое сопротивление слоя, текущего между возвышенностями шероховатости стенки,

пренебрежимо мало, по сравнению с термическим сопротивлением всей толщи потока. Не сказывается шероховатость

стенки и на гидродинамических характеристиках ламинарного потока течения в связи с относительно слабым изменением скорости около стенки. При турбулентном характере потока существенные изменения скорости и температуры происходят в непосредственной близости к стенке, на расстояниях, которые могут быть соизмеримы с высотой неровностей микро рельефа. При определенных значениях критерия Рейнольдса шероховатость стенок вызывает коренные изменения в зависимости гидравлического сопротивления от скорости течения. влияние шероховатости на теплообмен выра-

lowing assumptions: the thermal conductivity of the unevenness of the wall microrelief and the clogging of the viscous layer introduced by them can be neglected, and the thickness of the viscous layer can in general be determined as a function of the microroughness height. In rough pipes, the heat transfer rate increases relatively less than the coefficient of hydraulic resistance. At the same time, the effect of roughness on the indicator of the degree of dependence of the Nusselt number on the Reynolds number turns out to be small. The greatest influence of wall roughness on heat transfer (towards intensification) is observed in the case when the roughness protrusions extend beyond the viscous sublayer. Separately it is worth noting that the roughness of the channel walls has a significant effect on heat exchange processes in channels with a small hydraulic diameter, which in the case of a thermoelectric generator is true for the intercostal grooves of the TEG body. Intensification of heat exchange between the exhaust gases and the thermoelectric generator body, caused by the influence of the wall roughness, despite the theoretical increase in the output electric power, may be accompanied by a greater percentage increase in the aerodynamic resistance.

Heat transfer from TEG coolers to the environment can only affect the difference in the temperature of the coolant at the outlet from the cooling system and the entrance to it. The second heat transfer process, from the enclosure to the environment, can have a significant effect on the overall efficiency of the thermoelectric generator. Thermal energy transmitted through radiation and convection into the surrounding air volume is excluded from the process of direct conversion of thermal energy into electrical energy in thermoelectric modules. Thus, the output electric power of the TEG is reduced and without taking this process into account it is impossible to achieve the required level of adequacy of

жается через термическое сопротивление вязкого пристеночного слоя, текущего между неровностями микрорельефа и отделяющего стенку от турбулентного ядра потока. При этом распределение температур зависит как от торможения потока (через поле скоростей), так и от теплопроводности в вязком подслое. Оценить влияние шероховатости на теплоотдачу можно на основании следующих допущений: теплопроводностью неровностей микрорельефа стенки и вносимым ими загромождением вязкого слоя можно пренебречь, а также толщину вязкого слоя в общем случае можно определить как функцию высоты микронеровностей.

В шероховатых трубах интенсивность теплоотдачи возрастает относительно меньше, чем коэффициент гидравлического сопротивления. При этом влияние шероховатости на показатель степени зависимости критерия Нуссельта от числа Рейнольдса оказывается небольшим. Наибольшее влияние шероховатости стенки на теплоотдачу (в сторону интенсификации) наблюдается в случае, когда выступы шероховатости выходят за пределы вязкого подслоя. Отдельно стоит отметить, что шероховатость стенок канала оказывает значительное влияние на процессы теплообмена в каналах с малым гидравлическим диаметром, что в случае термоэлектрического генератора верно для межреберных пазов корпуса ТЭГ.

Интенсификация теплообмена между отработавшими газами и корпусом термоэлектрического генератора, обусловленная влиянием шероховатости стенок, несмотря на теоретическое увеличение выходной электрической мощности, может сопровождаться более значительным, в процентном соотношении, увеличением аэродинамического сопротивления. Теплоотдача от охладителей ТЭГ в окружающую среду может повлиять лишь на уменьшение разности температур охлаждающей жидкости на выходе из системы охлаждения и входе в нее. Второй процесс теплоотдачи, от

the developed mathematical model. Analysis of the adequacy of the developed mathematical model on the basis of the results of experimental studies of a thermoelectric generator showed that the deviations of the simulation results from the values obtained during the tests do not exceed 6%, which ensures a correct reflection of the properties of the TEG with sufficient accuracy.	корпуса в окружающую среду, может оказать значительное влияние на эффективность работы термоэлектрического генератора в целом. Тепловая энергия, передаваемая посредством излучения и конвекции в окружающий объем воздуха, исключается из процесса прямого преобразования тепловой энергии в электрическую в термоэлектрических модулях. Таким образом, выходная электрическая мощность ТЭГ снижается и без учета данного процесса невозможно достичь требуемого уровня адекватности разработанной математической модели. Анализ адекватности разработанной математической модели на основании результатов экспериментальных исследований термоэлектрического генератора показал, что отклонения результатов моделирования от полученных в ходе испытаний значений не превышает 6%, что обеспечивает верное отражение свойств ТЭГ с достаточной точностью.
---	---

2 Тепловой расчет двигателя

Исходные данные:

$V_L = 1.52$ л; $n_N = 5000$ мин⁻¹; $i = 4$ – число цилиндров; $\tau = 4$ – тактность;
 $\varepsilon = 25$ – степень сжатия.

Расчет производится на следующих скоростных режимах:

$n_{\min} = 600$ мин⁻¹; $n = 1500$ мин⁻¹; $n_M = 2500$ мин⁻¹; $n = 4200$ мин⁻¹; $n_N = 5000$ мин⁻¹.

В соответствии с ГОСТ 305-82 принимаем дизельное топливо с цетановым числом – не менее 45.

Средний элементарный состав дизельного топлива

$C = 0,870$; $H = 0,126$; $O = 0,004$ и $\mu_m = 190$ кг/моль.

Низшая теплота сгорания топлива

$$\begin{aligned} H_u &= 33,91 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9 \cdot H + W) = \\ &= 33,91 \cdot 0,87 + 125,6 \cdot 0,126 - 10,89 \cdot (0,004 - 0) - 2,51 \cdot (9 \cdot 0,126 + 0) = 42437 \text{ кДж/кг. (2.1)} \end{aligned}$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,4994 \frac{\text{кмольвозд}}{\text{кмольтопл}}; \quad (2.2)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,87 + 8 \cdot 0,126 - 0,004 \right) = 14,452 \frac{\text{кгвозд}}{\text{кгтопл}}; \quad (2.3)$$

Примем коэффициент избытка воздуха следующим на режимах: $\alpha = 1,17$ для $n_{\min} = 600$ мин⁻¹, $\alpha = 1,2$ для $n = 1500$ мин⁻¹, $\alpha = 1,23$ для $n_M = 2500$ мин⁻¹, $\alpha = 1,3$ для $n = 4200$ мин⁻¹, $\alpha = 1,32$ для $n_N = 6000$ мин⁻¹.

Количество горючей смеси:

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

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}; \text{ кмоль } CO_2/\text{кг топл}; \quad (2.5)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}; \text{ кмоль } H_2O/\text{кг топл}; \quad (2.7)$$

$$M_{O_2} = 0,208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0; \text{ кмоль } H_2/\text{кг топл}; \quad (2.8)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0; \text{ кмоль } N_2/\text{кг топл}. \quad (2.9)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}; \text{ кмоль пр.сг/кг топл}. \quad (2.10)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

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

Таблица 2.1 - Параметры рабочего тела

Частота вращения, мин ⁻¹	Коэффициент избытка воздуха	M ₁ , кмоль гор.см./кг топл.	M _{CO₂} , кмоль CO ₂ /кг топл.	M _{H₂O} , кмоль H ₂ O/кг топл.	M _{O₂} , кмоль O ₂ /кг топл.	M _{N₂} , кмоль N ₂ /кг топл.	M ₂ , кмоль пр.сг./кг топл.	μ ₀
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания								
600	1,17	0,58956	0,0725	0,063	0,0177	0,46276	0,615922	1,044714
1500	1,2	0,60454	0,0725	0,063	0,0208	0,47463	0,630904	1,043606
3500	1,23	0,61952	0,0725	0,063	0,0239	0,48649	0,645886	1,042552
4200	1,3	0,65448	0,0725	0,063	0,0312	0,51418	0,680844	1,040279
5000	1,32	0,66447	0,0725	0,063	0,0332	0,52209	0,690832	1,039673
Двигатель ВА3-341								
650	1,2	0,60454	0,0725	0,063	0,0208	0,47463	0,630904	1,043606
1500	1,25	0,62951	0,0725	0,063	0,026	0,49441	0,655874	1,041877
2500	1,3	0,65448	0,0725	0,063	0,0312	0,51418	0,680844	1,040279
3400	1,34	0,67446	0,0725	0,063	0,0353	0,53	0,70082	1,039086
4200	1,37	0,68944	0,0725	0,063	0,0384	0,54187	0,715802	1,038237

Атмосферные условия: p₀ = 0,1 МПа и T₀ = 293 К.

Давление и температура окружающей среды: p₀ = 0,1 Мпа и T₀ = 293 К.

Плотность заряда на впуске: ρ₀ = p₀·10⁶/(R_BT₀); кг/м³.

Температура остаточных газов приведена в таблице 2.2.

Давление остаточных газов:

$$p_r = p_0(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (2.12)$$

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

Таблица 2.2 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

Частота вращения, мин ⁻¹	Плотность воздуха, кг/м ³	T ₀ , К	P ₀ , Мпа	Температура остаточных газов, К	Давление остаточных газов, МПа
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания					
600	1,189	293	0,1	720	0,104036
1500	1,189	293	0,1	770	0,105645
3500	1,189	293	0,1	810	0,11007
4200	1,189	293	0,1	850	0,118
5000	1,189	293	0,1	870	0,1228
Двигатель ВАЗ-341					
650	1,189	293	0,1	740	0,104234
1500	1,189	293	0,1	780	0,107125
2500	1,189	293	0,1	810	0,111656
3400	1,189	293	0,1	840	0,118
4200	1,189	293	0,1	850	0,119486

Температура подогрева свежего заряда приведена в таблице 2.3 и рассчитывается по ниже приведенным формулам:

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n). \quad (2.13)$$

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

Потери давления на впуске;

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{вп}) A_n^2 n^2 \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа}. \quad (2.14)$$

Давление в конце впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа}. \quad (2.15)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} p_r}{\varepsilon \varphi_{доз} p_a - \varphi_{оч} p_r}, \quad (2.16)$$

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

Температура в конце впуска:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r); \text{ К.} \quad (2.17)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} (\varphi_{доз} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \varphi_{оч} \cdot p_r). \quad (2.18)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

$$V_a = 8.314 \cdot 10^{-3} \left[\left(\alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_b} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / [(1 + \alpha \cdot l_0) p_a] \quad (\text{м}^3), \quad (2.19)$$

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

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

Частота вращения, мин ⁻¹	Температура подогрева, °С	Δра, Мпа	ра, Мпа	φ _{оч}	φ _{доз}	γ _r	T _a , К	η _v	V _a , м ³
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания									
600	13	0,00678	0,093217	1	0,85	0,01986	314,06	0,9194	0,92335
1500	11,33	0,0116	0,0884	0,94	0,93	0,019842	313,39	0,9292	0,972726
3500	8,8333	0,013	0,086996	0,98	1	0,019864	311,73	0,9302	0,984289
4200	6	0,0177	0,0823	0,81	0,95	0,0214	310,55	0,9676	1,03899
5000	4,667	0,01943	0,080575	0,77	0,94	0,022213	310,1	0,8826	1,06043
Двигатель ВАЗ-341									
650	9,875	0,00678	0,093217	1	0,85	0,019164	311,09	0,9287	0,9157
1500	8,5	0,00903	0,09097	0,94	0,93	0,019107	310,47	0,931674	0,938167
2500	7,75	0,0116	0,0884	0,98	1	0,019724	310,4559	0,966	0,96594
3400	6	0,01449	0,085511	0,81	0,95	0,020796	310,02	0,76818	0,995677
4200	5,75	0,01605	0,083946	0,77	0,94	0,021219	310,2	0,7533	1,01973

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) \quad (2.20)$$

Показатель политропы сжатия

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

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

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

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

Удельный объём, давление и температура рабочего тела, при угле опережения впрыска топлива Θ ,

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

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

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

n, мин ⁻¹	μ	n ₁	P _c , МПа	T _c , К	Θ°ПКВ	V _y , м ³ /кг	P _y , МПа	T _y , К
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания								
600	1,0438	1,3702	7,779	1048,4	12	0,05411	4,603	908,72
1500	1,0428	1,374725	7,3777	1046,2	14	0,057	4,364	906,8
3500	1,0417	1,37283	7,26054	1040,7	16	0,05768	4,2954	901,97
4200	1,0394	1,37496	6,86864	1036,7	19	0,06089	4,0635	898,55
5000	1,0388	1,37538	6,72461	1035,2	24	0,06214	3,9783	897,27
Двигатель ВАЗ-341								
650	1,0428	1,37058	2,364652	1031,3	15	0,05443	4,5175	896,07
1500	1,0411	1,372	2,259369	1029,3	20	0,05576	4,4086	894,33
2500	1,0395	1,3728	2,180028	1028,1	23	0,05742	4,2841	893,34
3400	1,0383	1,37378	2,122703	1027,9	26	0,05942	4,1441	893,16
4200	1,0374	1,3753	2,044748	1028,6	28	0,06062	4,06823	893,72

Коэффициент использования теплоты Ψ приведен в таблице 2.5, а коэффициент δ равен единице при полном сгорании.

Коэффициент эффективности сгорания топлива:

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

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

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

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

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

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

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

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

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

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

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

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

Температура T_2 газов в процессе сгорания:

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

где:

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

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

Средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}, \quad (2.40)$$

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

где

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

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

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета:

Частота вращения, мин ⁻¹	Ψ	ζ	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	Продолжительность процесса сгорания, град, пкв.	Показатель характера сгорания
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания						
600	0,87	0,87	2511,506	135,54497	28	0,2
1500	0,9	0,9	2591,177	132,90604	36	0,22
3500	0,93	0,93	2675,011	129,71143	42	0,24
4200	0,95	0,95	2620,459	125,59819	50	0,26
5000	0,94	0,94	2643,545	123,99202	54	0,28
Двигатель ВАЗ-341						
650	0,9	0,9	2495,696	135,98798	40	0,31
1500	0,92	0,92	2584,733	132,40438	48	0,32
2500	0,96	0,96	2606,549	129,28953	55	0,33
3400	0,97	0,97	2622,875	127,94589	58	0,34
4200	0,91	0,91	2644,799	126,49647	62	0,35

Степень последующего расширения при V_z :

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

Средний показатель политропы расширения:

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

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

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

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

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры газов от конца процесса сгорания до 540° ПКВ :

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

где φ_{PT} – текущее значение поворота коленчатого вала

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

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

Уточненная температура отработавших газов

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

погрешность расчёта Δ :

$$\Delta = \frac{100(T_r - T_r')}{T_r} \% \quad (2.52)$$

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

Частота вращения, мин ⁻¹	V _z , м ³	T _z , К	P _z , МПа	δ	n ₂	P _b , МПа	T _b , К	T _r , К	Δ, %
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания									
600	0,06518	3135,5	10,1326	11,48804	1,177	0,58329	2067,555	726,33	0,2779
1500	0,143871	2907,209	10,768566	11,27169	1,1796	0,55548	2035,725	768,37	-0,034
3500	0,162852	2889,058	10,06501	10,50078	1,1795	0,55682	2064,706	812,71	0,3717
4200	0,197929	2831,083	9,08341	9,63196	1,1804	0,53085	2072,834	854,43	0,8199
5000	0,195495	3009,4	8,435073	8,79622	1,17476	0,56284	2213,654	876,89	1,157
Двигатель ВА3-341									
650	0,1494	2639,83	9,121	11,688	1,188	0,5354	1846,58	731,95	0,572
1500	0,1684	2756,27	9,714	10,139	1,1835	0,5504	1975,7	771,42	0,093
2500	0,1951	2913,76	9,303	9,47	1,1775	0,5815	2155,05	809,12	-0,036
3400	0,1972	2929,05	8,279	8,74	1,1767	0,5789	2168,77	852,54	0,0347
4200	0,2052	2976,31	8,179	7,44	1,175	0,5669	2209,79	875,43	0,349

Теоретическая индикаторная работа цикла

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

Частота вращения, мин ⁻¹	Индикаторная работа, кДж	P _i , МПа	N _i , кВт	η _i	g _i , г/кВт*ч
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания					
600	1,1718807	1,26863	14,27209	0,489426	167,4399
1500	1,1166917	1,17975	29,49376	0,456318	179,5886
3500	1,1498939	1,200507	62,5222	0,440856	185,8873
4200	1,1350542	1,125416	84,33848	0,458662	178,6709
5000	1,2659878	1,234851	96,43956	0,498398	164,4257
Двигатель ВАЗ-341					
650	1,0012	1,1060343	12,442886	0,4289854	191,03093
1500	1,09	1,1651984	37,868947	0,4405874	186,00051
2500	1,1957	1,2379594	57,255621	0,4484105	182,75552
3400	1,224	1,2533459	78,334121	0,4813589	170,24613
4200	1,2406	1,2210353	85,47247	0,4929888	166,22992

Среднее давление механических потерь

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

где $v_n = \frac{Sn}{30}$, м/с - средняя скорость поршня при $S/D = 84/76 = 1.165$.

Среднее эффективное давление

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

Механический К.П.Д.

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

Эффективный К.П.Д.

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

Удельный эффективный расход топлива

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

Эффективная мощность

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

Часовой расход топлива

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

Крутящий момент

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

Таблица 3.8 - Эффективные показатели двигателя.

Частота вращения, мин ⁻¹	Средняя скорость поршня, м/с	p _м , Мпа	p _е , Мпа	η _м	η _е	g _е , г/(кВт.ч)	Ne, кВт	Me, Н.м	G _т , кг/ч
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания									
600	2,13	0,0671	1,2035	0,9471	0,4643	223,4996	17,539	153,64	4,389
1500	4,733	0,10148	1,0827	0,9143	0,4188	220,6686	35,069	159,23	7,296
3500	8,283	0,14834	1,0537	0,8765	0,3869	224,7794	58,1	162,76	13,763
4200	11,833	0,1952	0,9290	0,8263	0,3786	239,43	77,067	148,88	19,567
5000	13,253	0,2139	1,0188	0,8264	0,4112	251,2899	78,317	131,59	22,212
Двигатель ВАЗ-341									
650	2,13	0,0671	1,0389	0,9393	0,4029	223,3719	15,68	123,99	4,377
1500	6,153	0,1202	1,0449	0,8968	0,3951	227,3998	30,96	124,72	7,043
2500	8,756	0,1546	1,0834	0,8751	0,3924	228,8332	50,11	129,3	13,464
3400	11,833	0,1952	1,0581	0,8442	0,4064	241,652	66,13	126,29	19,336
4200	13,253	0,2139	1,0071	0,8248	0,4066	251,5434	70,49	120,19	22,208

3 Тепловой баланс двигателя

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом:

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (3.1)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (3.2)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{ciD^{1+2m}n^m(H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (3.3)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_o; \quad (3.4)$$

где $c = 0,45 \dots 0,53$ – коэффициент пропорциональности; i – число цилиндров; D – диаметр цилиндра, см; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ; $m = 0,6 \dots 0,7$ – показатель степени для четырехтактных двигателей.

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) \left\{ M_2 \left[(mc_V^H)_{t_o}^{t_r} + 8.315 \right] t_r - M_1 \left[(mc_V^H)_{t_o}^{t_{20}} + 8.315 \right] t_o \right\}, \quad (3.5)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_o \quad (3.6)$$

где $(mc_V)_{t_o}^{20} = 20.775$ кДж/(кмоль* град) – теплоемкость свежего заряда при 20°С.

$(mc_V'')_{t_o}^{t_r}$ - теплоемкость остаточных газов, при соответствующих α и t_r .

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива

$$Q_{н.с} = \Delta H_U * G_T / 3,6 \quad (3.7)$$

$$q_{н.с.} = Q_{н.с.} * 100 / Q_0 \quad (3.8)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_{\sigma} + Q_r + Q_{н.с.}) , \quad (3.9)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_0 \quad (3.10)$$

Таблица 3.1 - Тепловой баланс

Частота вращения, мин ⁻¹	G _T , кг/ч	Q ₀ , Дж/с	Q _e , Дж/с	q _e , %	Q _B , Дж/с	q _B , %	Q _г , Дж/с	q _г , %	Q _{н.с.} , Дж/с	q _{н.с.} , %	Q _{ост} , Дж/с	q _{ост} , %
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания												
600	4,389	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1
1500	7,296	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5
3500	13,763	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0
4200	19,567	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5
5000	22,212	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6
Двигатель ВАЗ-341												
650	4,377	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1
1500	7,043	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5
2500	13,464	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0
3400	19,336	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5
4200	22,208	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6

4 Расчет кинематики двигателя

Перемещение поршня

$$S_x = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] \text{ мм.} \quad (4.1)$$

Угловая скорость вращения коленчатого вала

$$\omega = \pi n / 30 = 3,14 \cdot 5200 / 30 = 586 \text{ рад/с.} \quad (4.2)$$

Скорость поршня

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

Ускорении поршня

$$j = \omega^2 R (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi); \text{ м/с}^2. \quad (4.4)$$

Таблица 4.1 - Перемещение, скорость и ускорение поршня

$\varphi_{\text{кв}}$, град	$\varphi_{\text{кв}}$, рад	Перемещение поршня, мм	Скорость поршня, м/с	Ускорение первого порядка, м/с ²	Ускорение второго порядка, м/с ²	Суммарное ускорение, м/с ²
0	0	0	0	10417,92	2999,097	13417
10	0,1745	0,7422	4,435	10259,64	2818,2293	13077,9
20	0,3491	2,9315	8,646	9789,639	2297,4416	12087,1
30	0,5236	6,4585	12,43	9022,18	1499,5485	10521,7
40	0,6981	11,15	15,61	7980,586	520,78772	8501,37
50	0,8727	16,784	18,06	6696,507	-520,7877	6175,72
60	1,0472	23,102	19,71	5208,958	-1499,548	3709,41
70	1,2217	29,833	20,54	3563,137	-2297,442	1265,7
80	1,3963	36,706	20,57	1809,052	-2818,229	-1009,18

Продолжение таблицы 4.1

90	1,5708	43,47	19,9	6,38E-13	-2999,097	-2999,1
100	1,7453	49,903	18,61	-1809,05	-2818,229	-4627,28
110	1,9199	55,827	16,86	-3563,14	-2297,442	-5860,58
120	2,0944	61,102	14,75	-5208,96	-1499,548	-6708,51
130	2,2689	65,636	12,42	-6696,51	-520,7877	-7217,29
140	2,4435	69,37	9,969	-7980,59	520,78772	-7459,8
150	2,618	72,276	7,468	-9022,18	1499,5485	-7522,63
160	2,7925	74,348	4,964	-9789,64	2297,4416	-7492,2
170	2,9671	75,588	2,476	-10259,6	2818,2293	-7441,41
180	3,1416	76	2E-15	-10417,9	2999,097	-7418,82
190	3,3161	75,588	-2,476	-10259,6	2818,2293	-7441,41
200	3,4907	74,348	-4,964	-9789,64	2297,4416	-7492,2
210	3,6652	72,276	-7,468	-9022,18	1499,5485	-7522,63
220	3,8397	69,37	-9,969	-7980,59	520,78772	-7459,8
230	4,0143	65,636	-12,42	-6696,51	-520,7877	-7217,29
240	4,1888	61,102	-14,75	-5208,96	-1499,548	-6708,51
250	4,3633	55,827	-16,86	-3563,14	-2297,442	-5860,58
260	4,5379	49,903	-18,61	-1809,05	-2818,229	-4627,28
270	4,7124	43,47	-19,9	-1,9E-12	-2999,097	-2999,1
280	4,8869	36,706	-20,57	1809,052	-2818,229	-1009,18
290	5,0615	29,833	-20,54	3563,137	-2297,442	1265,7
300	5,236	23,102	-19,71	5208,958	-1499,548	3709,41
310	5,4105	16,784	-18,06	6696,507	-520,7877	6175,72
320	5,5851	11,15	-15,61	7980,586	520,78772	8501,37
330	5,7596	6,4585	-12,43	9022,18	1499,5485	10521,7
340	5,9341	2,9315	-8,646	9789,639	2297,4416	12087,1
350	6,1087	0,7422	-4,435	10259,64	2818,2293	13077,9
360	6,2832	3E-31	-6E-15	10417,92	2999,097	13417

5 Динамический расчет

Приведение масс частей кривошипно-шатунного механизма:

- масса поршневой группы (для поршня из алюминиевого сплава принято $m'_n=75 \text{ кг/м}^2$)

$$m_n = m'_n \cdot F_n = 75 \cdot 0,00535 = 0,316 \text{ кг}; \quad (5.1)$$

- масса шатуна (для стального кованного шатуна принято $m'_ш=109,6 \text{ кг/м}^2$)

$$m_{ш} = m'_ш \cdot F_n = 109,6 \cdot 0,00535 = 0,624 \text{ кг}; \quad (5.2)$$

- масса неуравновешанных частей одного колена вала без противовесов (для литого чугунного вала принято $m'_к=150 \text{ кг/м}^2$)

$$m_k = m'_к \cdot F_n = 150 \cdot 0,00535 = 0,805 \text{ кг}. \quad (5.3)$$

- масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,624 = 0,165 \text{ кг}. \quad (5.4)$$

- масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,624 = 0,473 \text{ кг}. \quad (5.5)$$

- массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.п} = 0,316 + 0,165 = 0,481 \text{ кг}. \quad (5.6)$$

- массы, совершающие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{ш.к} = 0,805 + 0,473 = 1,278 \text{ кг}. \quad (5.7)$$

Удельные и полные силы инерции.

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс

$$p_j = -j m_j / F_n = -j 0,481 \cdot 10^{-6} / 0,00535 = -j 141 \cdot 10^{-6} \text{ МПа.} \quad (5.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -1,278 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -28,02 \text{ кН.} \quad (5.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна

$$K_{Ru} = -m_{u.k} R \omega^2 = -0,473 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -8,7 \text{ кН.} \quad (5.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_{.k} R \omega^2 = -0,805 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -19,32 \text{ кН.} \quad (5.11)$$

Удельные суммарные силы.

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_z + p_j \text{ (МПа).} \quad (5.12)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа).} \quad (5.13)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа).} \quad (5.14)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа).} \quad (5.15)$$

Удельная и полная тангенциальные силы

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)} \quad (5.16)$$

$$T = p_T 0,004776 \cdot 10^3$$

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_i F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,2486 \cdot 0,00535 = 1063 \text{ Н}; \quad (5.17)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} Mp = \frac{1991 \cdot 1170}{240} \cdot 0,05 = 0,196 \text{ МПа}; \quad (5.18)$$

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{II} = 0,196 \cdot 0,00535 \cdot 10^6 = 1049 \text{ Н}; \quad (5.19)$$

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

Крутящие моменты.

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0374 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (5.20)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с равными интервалами между вспышками

$$\Theta = 720 / i = 720 / 4 = 180^\circ \quad (5.21)$$

Средний крутящий момент двигателя:

по данным теплового расчета

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 143,8 / 0,9052 = 158,8 \text{ Нм} \quad (5.22)$$

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

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_M = \frac{1470 - 615}{60} 10 = 160,5 \text{ Нм} \quad (5.23)$$

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

Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала.

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{RШ} = K + p_k F_{II} \text{ Н.} \quad (5.24)$$

По развернутой диаграмме $R_{шш}$ определяют

$$R_{шш. \max} = 17,31 \text{ кН}; \quad R_{шш. \min} = 0,577 \text{ кН} \quad (5.25)$$

$$R_{шш.ср} = F M_p / OB = 28425 \cdot 0,1 / 240 = 10,66 \text{ кН}; \quad (5.26)$$

где OB – длина диаграммы, мм; F – площадь под кривой $R_{шш}$, мм².

Силы, действующие на колено вала.

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{pK} = P_K + K_{RK} = P_K - 8,960 \text{ кН.} \quad (5.27)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(P_{T_k} \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_K})^2} \quad (5.28)$$

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$$R_{\kappa.ш1} = -0,5R_{\kappa1} \quad (5.29)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{\kappa.ш2} = \sqrt{T_{\kappa2}^2 + K_{\kappa2}^2}, \quad (5.30)$$

где $T_{\kappa2} = -0,5(T_1 - T_2)$; $K_{\kappa2} = -0,5(K_{p\kappa1} - K_{p\kappa2})$.

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{\kappa.ш3} = \sqrt{T_{\kappa3}^2 + K_{\kappa3}^2}, \quad (5.31)$$

где $T_{\kappa3} = 0,5(T_2 + T_3)$;

$K_{\kappa3} = 0,5(K_{p\kappa2} + K_{p\kappa3})$.

6 Двухзонные модели сгорания в дизеле

6.1 Моделирование динамики струй топлива и процесса сгорания

В данной работе использовалась модель распада струи с уточненными константами. При использовании методики, данной в [13], необходимость уточнять коэффициенты отпадает в силу совершенства сетки. Сетки с фиксированным разбиением в области струи (неизменным при движении остальной части сетки) позволяют без изменений применять параметры, полученные в результате моделирования струи, при расчете двигателя. На рисунке 6.1 и 6.2 представлена типичная форма топливной струи в величинах долей испарившегося топлива и температурного поля. На рисунках слева даны сечения по осям цилиндра и струи топлива, а на рисунках справа представлены сечения, перпендикулярные предыдущим и также проходящие через ось струи. Рисунки в правой части также показывают влияние закрутки потока в цилиндре на испарение топлива.

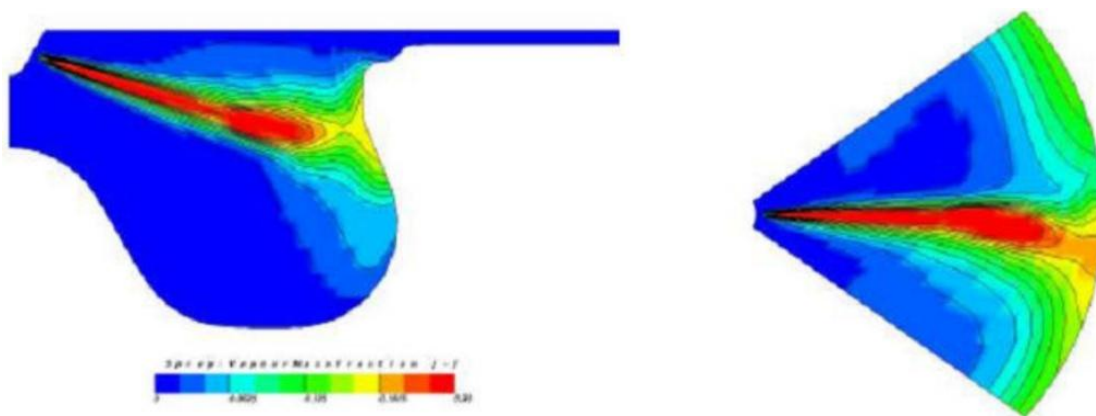


Рисунок 6.1 - Концентрация испарившегося топлива (5° ПКВ до ВМТ, 4000 об/мин, полная нагрузка).

Полученные температуры стенки, использующиеся при моделировании рабочего процесса двигателя, влияют на энергетический баланс, вычисленное же значение h менее подвержено влиянию. Это объясняется тем фактом, что коэффициент теплоотдачи потока газа зависит в основном от скорости течения и в меньшей степени от свойств жидкости вблизи твердой поверхности, на ко-

торые влияет температура стенки. В рубашке охлаждения тепловой поток больше зависит от свойств жидкости, т.к. в этом случае характерны невысокие скорости течения [4, 9].

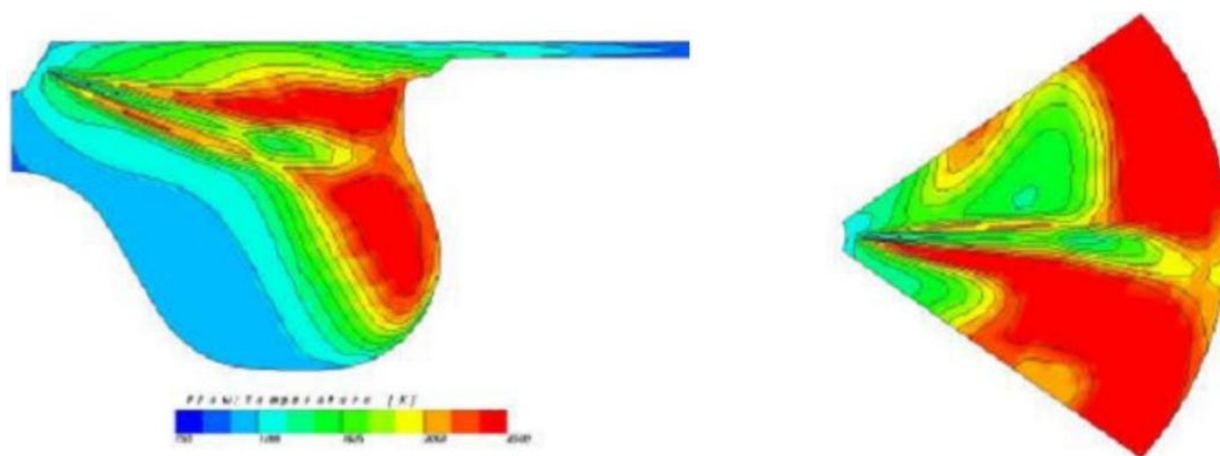


Рисунок 6.2 - Температурное поле (5° ПКВ до ВМТ, 4000 об/мин, полная нагрузка)

Для моделирования в CFD используют те же значения температуры стенки, что были использованы в модели теплообмена при одномерном моделировании рабочего процесса. Сравнительные кривые изменения давления в цилиндре двигателя, полученные в результате двух способов моделирования, дают одинаковые средние индикаторные давления (рисунок 6.3).

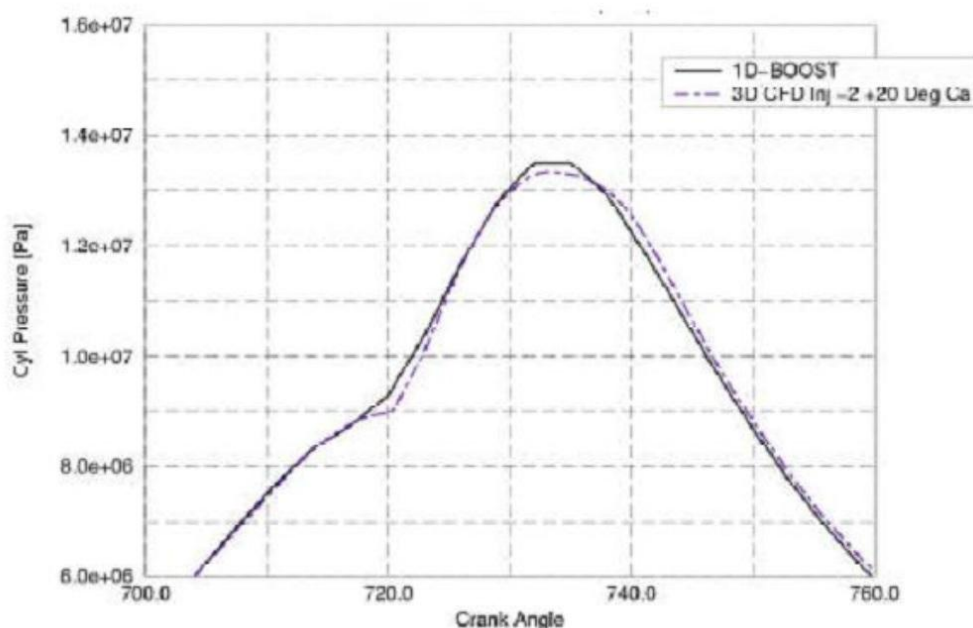


Рисунок 6.3 - Среднее давление в цилиндре (1D и 3D)

В стандартном логарифмическом законе величина коэффициента теплообмена определяется для двух областей

$$HTC = h = \frac{c_p \cdot \mu_m}{Pr \cdot y_p} \cdot [Bm / m^2 K] \quad (6.1)$$

и в турбулентной области:

$$HTC = h = \frac{c_p \cdot \mu_m}{Pr \cdot y_p} \left\{ \frac{y^+}{\frac{1}{\chi} \ln E \cdot y^+ + P} \right\} \cdot [Bm / m^2 K] \quad (6.2)$$

В выражении (6.2) P -функция описывает добавочное сопротивление ламинарного подслоя теплообмену [8]. Для полноразмерной модели, включающей выточки под клапана и другие геометрические особенности, моделирование процесса распространения струй и сгорания проводится так же, как и для секторной сетки. При этом применяются параметры процесса распространения струй и сгорания, откалиброванные для секторной сетки. Мерой качества CFD моделирования является среднее индикаторное давление. Оно сравнивается с результатами моделирования рабочего цикла двигателя. Когда достигается удовлетворительное совпадение, осуществляется наложение на сетку и осреднение коэффициента теплообмена на основании пространственно зависимых значений этой величины, которые записываются в файл для каждого n градусов поворота коленчатого вала, где n берется из диапазона от 1 до 5.

6.2 Наложение на конечно-элементную сетку величин коэффициента теплообмена

Значения h , полученные из CFD моделирования (зависящие от пространства и времени), применяются в качестве граничных условий к фиксированной в пространстве конечно-элементной сетке (NASTRAN или ABAQUS) для всех значений угла поворота коленчатого вала. Само по себе наложение граничных условий осуществить несложно (в ближайшей точке), т.к. разрешение конечно-объемной сетки намного выше, чем конечно-элементной. Необходимо провести

преобразование результатов CFD расчетов, соответственно функциям перемещения поршня и клапанов. Такая операция проводится для следующих элементов:

- Поршень
- Камера сгорания (без учета седел и тарелок клапанов)
- Внутренняя поверхность гильзы цилиндра
- Впускные каналы
- Впускные клапаны
- Тарелки впускных клапанов
- Выпускные каналы
- Выпускные клапаны
- Тарелки выпускных клапанов

В качестве граничных условий используются значения h и T_{GAS} . Пример наложения граничных условий приведен на рисунке 6.4. Значения коэффициентов теплообмена и температуры газа были взяты из упрощенного моделирования и должны быть циклически отражены согласно числу отверстий распылителя форсунки.

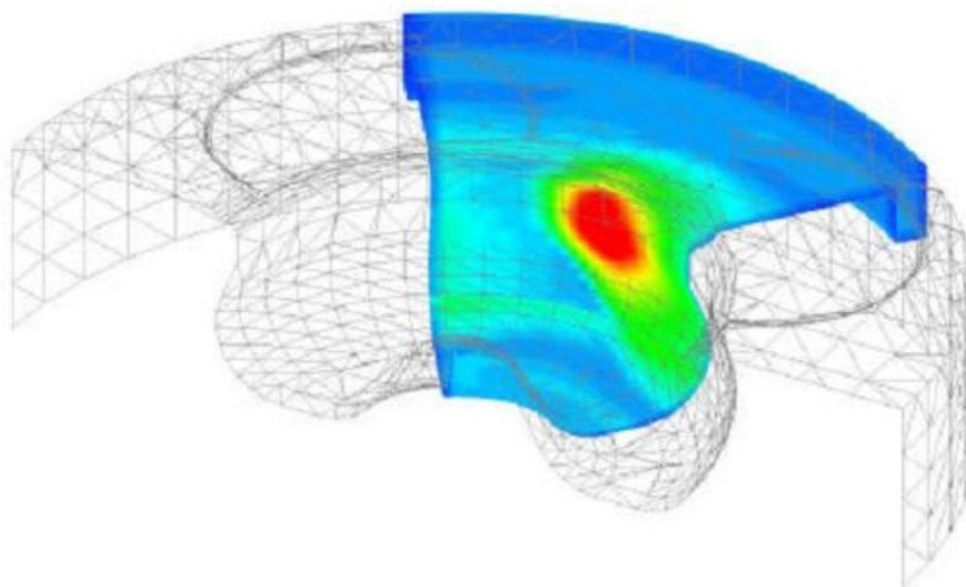


Рисунок 6.4 - Значения коэффициента теплообмена для 5° ПКВ до ВМТ (наложены на конечно-элементную сетку головки поршня)

6.3 Осреднение результатов

Для осреднения по времени величин коэффициента теплообмена и температуры газа используются следующие зависимости:

$$\bar{h}_x = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} h_x \cdot d\varphi, [Bm / m^2 K] \quad (6.3)$$

$$\bar{T}_{G_x} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1 \cdot \bar{h}_x} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} h_x \cdot T_{G_x} \cdot d\varphi, K \quad (6.4)$$

$$\bar{q}_x = \bar{h}_x \cdot \bar{T}_{G_x} - T_{W_x}, [Bm / m^2] \quad (6.5)$$

После осуществления осреднения по времени, определяется суммарный перенос энергии, а также значения h и T_{GAS} для каждого узла на границе конечно-элементной сетки, они вводятся в конечно-элементный решатель.

В результате последующего расчета получается температура стенки. Если она сильно отличается от задававшейся при расчете в CFD модели, необходимо пересчитать весь цикл работы двигателя с использованием уточненного значения температуры и снова осуществить сверку результатов.

6.4 Выводы по разделу

В настоящей работе были обсуждены некоторые детальные исследования процесса теплообмена со стороны газа в высокооборотных дизельных двигателях. Было показано, что при использовании 3D-CFD, характеристики теплообмена в цилиндре двигателя могут вычисляться с учетом их зависимости от пространства и времени. В работе представлено сравнение между зависимыми от времени результатами расчета и соответствующими измерениями.

Усовершенствованный анализ теплообмена в двигателе должен отвечать следующим требованиям:

- Результаты одномерного моделирования рабочего цикла двигателя должны использоваться как граничные условия во входных сечениях впуск-

ных и выпускных каналов, а также для инициализации термодинамического расчета.

- Необходимо точное моделирование трехмерного течения (точная степень сжатия, учет геометрических деталей, таких как выточки под клапана, радиус камеры в поршне, сопловые отверстия и т.п.).
- Усовершенствованные модели теплообмена (сжимаемость, взаимодействие со стенкой).
- Автоматическая обработка данных для зависящих от времени результатов теплообмена и осреднения по циклу.
- Использование полученных значений h и $TGAS$ в стандартных конечно-элементных решателях (включая переход от конечно-объемных к конечно-элементным сеткам и обратно).

В последнее время анализ процессов теплообмена получил большую роль в развитии двигателей. Некоторые вопросы тесно взаимосвязаны с теплообменом, например, анализ теплового состояния, когда температуры материала должны оставаться ниже критических значений для предотвращения поломки двигателя. Более того, правильное численное моделирование теплообмена является предпосылкой точного расчета процессов смесеобразования и сгорания. Это позволяет использовать CFD моделирование для улучшения показателей экологичности и эффективности работы двигателя на ранних стадиях его разработки.

7 Безопасность и экологичность проекта

7.1 Описание проектируемого двигателя

В данной бакалаврской работе предлагается повысить мощность двигателя без увеличения рабочего объема, что обеспечивается повышением частоты вращения коленчатого вала. Для этого применена неразделенная камера сгорания позволяющая сократить время сгорания, что сделало возможным повысить обороты двигателя с 4200 до 5200 об/мин. Производится также модернизация КШМ обеспечивающая снижение массы шатунно-поршневой группы, уменьшающие инерционные нагрузки. Облегчаются впускные и выпускные клапана, а также усиливаются клапанные пружины для предотвращения возможного за-висания клапанов при работе на высоких оборотах.

Проводятся мероприятия по снижению потерь на впуске для улучшения наполнения цилиндров.

Данные мероприятия влияют на токсичность отработавших газов следующим образом:

СН – токсичность по данному компоненту увеличивается, т.к. при повышении оборотов двигателя с 4200 до 5200 об/мин значительно снижается время отводимое на процесс сгорания, а, следовательно, вероятность недогорания в объеме за счет более высокой турбулентности смеси увеличивается, также большие габариты камеры сгорания увеличивают площадь пристеночного слоя в котором происходит гашение пламени, в следовательно увеличивается концентрация несгоревших углеводородов в ОГ.

NO – токсичность по данному компоненту также увеличивается, т.к. при применении неразделенной камеры сгорания повышается температура в камере сгорания, а, следовательно, приводит к увеличению образования термических оксидов азота в цилиндре двигателя.

CO – токсичность по данному компоненту остается примерно одинаковой, т.к. доокисление CO до CO₂ требует малое время и увеличение оборотов в 1,5 раза не скажется на данном процессе. Единственно, что можно отметить так

это увеличение температуры в процессе сгорания может привести к некоторому незначительному уменьшению CO в ОГ.

Дымность при переходе на неразделенную камеру сгорания снизиться, так как повысится полнота сгорания и будет более равномерное распределение ТВС по камере сгорания.

Экономичность работы двигателя будет улучшаться, т.к. уменьшение продолжительности сгорания по углу ПКВ приводит к увеличению термического КПД цикла.

Температурное состояние деталей :

Температурное состояние узлов и агрегатов ДВС – состояние, характеризующее способность системы охлаждения ДВС к отводу избыточного тепла от его деталей, узлов и агрегатов и обеспечения температурного режима, необходимого для их эффективного и безотказного функционирования.

Температурная нагрузка и тепловой поток в двигателе при повышении оборотов двигателя возрастет, т.к. количество тепла выделяемого в процессе сгорания в единицу времени увеличится, также возрастет работа сил трения в ед. времени механизмов совершающих возвратно поступательное движение.

Для снижения тепловой нагрузки необходимо увеличить интенсивность теплообмена и охлаждения при помощи повышения скорости циркуляции охлаждающей жидкости и моторного масла.

Тогда причин для волнения о повышенной тепловой напряженности деталей привода возникать не должно т.к. система охлаждения двигателя будет выполнять свои функции в полном объеме.

Шумность при работе на повышенных оборотах двигателя

Можно предположить, что в связи с увеличением оборотов двигателя, а значит и действием инерционных сил, шум от работы ГРМ и КШМ может несколько возрасти. Также увеличение оборотов обеспечивает большую скорость потока на впуске и выпуске, а значит увеличение шумности.

Для выполнения всех предъявленных норм по шуму необходимо дополнительно проводить модернизацию системы глушения. В частности моторный отсек автомобиля может быть оборудован дополнительными шумопоглощающими панелями монтируемыми на капоте, щитке передка и брызговиках колес кузова, а нижний проем моторного отсека перекрыт аэроакустическим экраном футерованным звукопоглощающим покрытием, что не только уменьшает уровни шума автомобиля, но и уменьшают расход топлива и токсические выбросы с выхлопными газами (включая снижение выбросов CO₂, регламентируемых правилом R 101 ЕЭК ООН).

Шумоизоляция автомобиля

Чтобы снизить амплитуду колебаний капота от излучаемой двигателем вибрации, непосредственно на поверхность капота устанавливаются вибропоглощающие материалы.

Поглощение вибрации происходит за счет деформации сдвига по толщине вибропоглощающего слоя, т.е. взаимного перемещения слоев вибропоглощающего материала, вследствие чего энергия колебаний превращается в тепло.

В нашем случае звукоизоляция, представляющий собой полимерную самоклеющуюся композицию сдублированную с алюминиевой фольгой.

Важными свойствами этого материала являются:

- легкость монтажа на поверхности со сложным рельефом (материал держит "тройной угол");
- нетребовательность к нагреву при установке;
- водонепроницаемость и свойства герметика.

Она эффективно препятствует проникновению влаги к кузову автомобиля, становясь дополнительной защитой от коррозии.

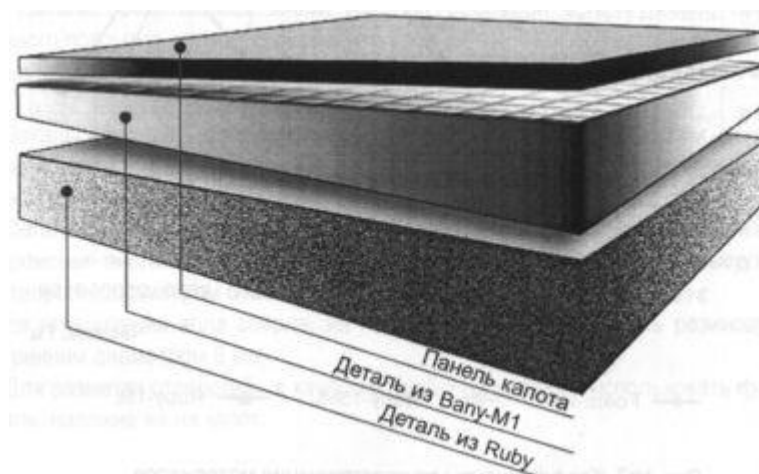


Рисунок 7.1 - Монтаж материалов на панель капота

На разных частотах уровень шумопоглощения материалов неодинаков. Для его оптимизации на всем спектре частот особое значение имеет толщина материала, а так же лицевая пленка. В соответствии со "звуковой" характеристикой двигателя можно выбрать одну из модификаций материала: с металлизированной лавсановой и перфорированной поливинилхлоридной пленкой.

Ruby-15L (толщина 15 мм) - с перфорированной поливинилхлоридной пленкой эффективно нейтрализует шум в области высоких частот (от 900 до 2500 Гц, см. рис. №7).

Ruby-15ML (толщина 15 мм) - с металлизированной лавсановой пленкой эффективно нейтрализует шум в области низких частот (от 300 до 700 Гц, см. рис. №7).

Ruby является неплохим теплоизолятором, что особенно важно в зимний период эксплуатации автомобиля - при остановке на короткое время двигатель уже не остывает так быстро, материал препятствует увеличению температуры внешней поверхности капота в сравнении с температурой окружающей среды. Снег, попадая на крышку капота, не тает.

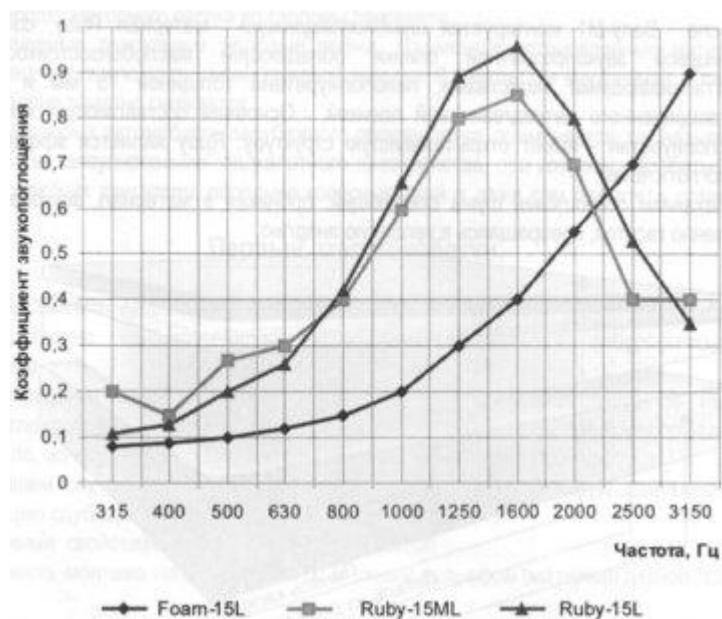


Рисунок 7.2 - Коэффициенты звукопоглощения материалов Ruby-15ML, Ruby-15L и Foam-15L (ППУ - пенополиуритан с клеевым слоем).



Рисунок 7.3 - Схема звукоизоляции автомобиля

Ввиду уменьшения коэффициента аэродинамического сопротивления автомобиля C_x на 10% или 15% от исходного значения, что таким образом обеспечивается достаточно высокие (приемлемые) экологические показатели разработанного проекта ДВС, смонтированного на автомобиле категории M_1 .

Аэроакустический экран – это развитая конструкция штатного брызговика двигателя, футерованного изнутри звукопоглощающим материалом. Оболочка экрана содержит 2 вентиляционных окна для обеспечения вентиляции моторного отсека.

7.2 Выводы по главе безопасность и экологичность проекта

1. Токсичность отработавших газов по сравнению с базовым двигателем будет:
 - По несгоревшим углеводородам – увеличиваться так, как площадь поверхности камеры сгорания увеличится, что приведет к большему содержанию несгоревших углеводородов в пристеночном замороженном слое.
2. Повышение шумности двигателя произошло из-за увеличения частоты вращения коленчатого вала, а, следовательно, и повышения скорости движения воздуха при впуске и выпуске.

В целом спроектированный двигатель удовлетворяет всем предъявляемым требованиям по токсичности и шуму, при установке на двигатель каталитического нейтрализатора и улучшенной системе глушении шума с ОГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе спроектирован дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания. В качестве базового взят дизельный двигатель для легкового автомобиля ВАЗ-341. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, основных деталей и систем двигателя и расчет электромагнитной форсунки.

Получено в двигателе с расслоением ТВС:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 220 г/кВт*ч , в среднем его снижение по сравнению с базовым составило 7% ;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600 \text{ мин}^{-1}$ кВт, по сравнению с базовым увеличение составило 10% ;

В разделе «Безопасность и экологичность проекта» показано что, спроектированный двигатель выполняет нормы по ограничению токсичности отработавших газов автотранспортных ДВС ОСТ 37.001.234-84 согласно правилам ЕЭК ООН (N 24 , N 49 , N 83 , N 96), а также ГОСТ Р 52231-04 «Внешний шум автомобилей в эксплуатации. Допустимые уровни и методы измерения» согласно правилам ЕЭК ООН №51.

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.
2. AVL BOOST Manual, AVL LIST GmbH, Graz, Austria, (2002)
3. AVL FIRE™ User's Manual Version 7, AVL LIST GmbH I, Graz, Austria, (2000)
4. Eiglmeier, C., Merker, G. P.: Neue Ansätze zur phänomenologischen Modellierung des gasseitigen Wandwärmeüberganges im Dieselmotor [Текст]/. In MTZ 61 (2000).
5. Ennemoser, A., Mahmoud, K., Winklhofer, E.: Kombinierte Fluid- und Strukturberechnung zur thermischen Analyse in Zylinderköpfen von Verbrennungskraftmaschinen [Текст]/. In MTZ 60, (1999).
6. I fan, R. and Rätz, R. (1997) A Temperature Wall Function Formulation for Variable-density Turbulent Flows with Application to Engine Convective Heat Transfer Modelling; Int. Journal Heat Mass Transfer [Текст]/, Vol.40, No. 3, pp613-625.
7. Heywood, J. B.: Internal Combustion Engine Fundamentals [Текст]/. McGraw-Hill International Editions, New York, 1988.
8. Huber, K. (1992) Der Warm cube rgang schnelllaufend, direkteinspritzender Dieselmotoren [Текст]/. Dissertation, TU Munich.
9. Launder, B.E and Spalding, D.B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence [Текст]/ Academic Press, London and New York, 1972, page 46-70
10. Mahmoud, K., Bachler, G., Ennemoser, A.: Fluid-Structure Coupling for Thermal Analysis h Internal Combustion Engines [Текст]/, ABAQUS Users' Conference May 30-June I, 2001, Maastricht, The Netherlands
11. Nefischer, P., Ennemoser, A., Wimmer, A., and Pfliigl, M., Rechnerische Bestimmung der Bauteiltemperaturen mit Hilfe verbesserter Modellierung des

Warmeüberganges in Zylinderköpfen [Текст]/ 23rd International Vienna Engine Symposium. 2002

12. Reitz, R. I, and Diwakar, R., 1987, Structure of high-pressure fuel sprays [Текст]/ SAE 870598.

13. Reitz, R D., 1987, Modeling Atomization Processes in High-Pressure Vaporizing Sprays [Текст]/ Atomization and Spray Technology 3 (1987) 309-337.

14. Versacvel, P., Motte, P. and Wieser, K., (2000) A new 3D Model for Vaporizing Diesel Sprays based on Mixing- Limited Vaporization [Текст]/ SAE 2000-01-0949.

15. Wimmer, A. Analyse und Simulation des Arbeitsprozesses von Verbrennungsmotoren - Modellbildung und messtechnische Verifizierung. Habilitationsschrift [Текст]/ Technische Universität Graz, Mai 2000.

16. Woschni, G.: Die Berechnung der Wandwärmeverluste und der thermischen Belastung der Bauteile von Dieselmotoren [Текст]/ In MTZ 31 (1970), S. 491-499.

17. Evaluation the adequacy of the developed mathematical model of a thermoelectric generator for automotive internal combustion engine based on experimental results [Текст]/ <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2016/09/9-2-51.pdf#page=94>

18. Development and testing technique of modeling of working processes in internal combustion engines [Текст]/ <http://research-journal.org/wp-content/uploads/2011/10/6-2-48.pdf#page=81>

19. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282

20. 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Исходные данные для теплового расчета

Угол опережения впрыска топлива	Продолжительность процесса сгорания	Коэффициент избытка воздуха	Степень сжатия	Коэффициент молекулярного изменения смеси	P_y	T_y	V_a	Полнота сгорания топлива	E_2 , МПа	Коэффициент остаточных газов	λ	Показатель характера сгорания	Частота вращения КВ
Дизельный двигатель с неразделенной камерой сгорания													
12	28	1.17	25	1,044714	4,603	908,72	0,92335	0,87	135,54497	0,01986	0,26	0,2	600
14	36	1,2	25	1,043606	4,364	906,8	0,972726	0,9	132,90604	0,019842	0,26	0,22	1500
16	42	1,23	25	1,042552	4,2954	901,97	0,984289	0,93	129,71143	0,019864	0,26	0,24	3500
19	50	1,3	25	1,040279	4,0635	898,55	1,03899	0,95	125,59819	0,0214	0,26	0,26	4200
24	54	1,32	25	1,039673	3,9783	897,27	1,06043	0,94	123,99202	0,022213	0,26	0,28	5000
Двигатель ВАЗ-341													
15	40	1,2	25	1,043606	4,5175	896,07	0,9157	0,9	135,98798	0,019164	0,26	0,31	650
20	48	1,25	25	1,041877	4,4086	894,33	0,938167	0,92	132,40438	0,019107	0,26	0,32	1500
23	55	1,3	25	1,040279	4,2841	893,34	0,96594	0,96	129,28953	0,019724	0,26	0,33	2500
26	58	1,34	25	1,039086	4,1441	893,16	0,995677	0,97	127,94589	0,020796	0,26	0,34	3400
28	62	1,37	25	1,038237	4,06823	893,72	1,01973	0,91	126,49647	0,021219	0,26	0,35	4200

Таблица А2 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с неразделенной камерой сгорания при $n = 600 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k_{1-2}	K_{1-2}	D_{X1-2}	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
967,3109	967,31086	0,05143	0,0275	1,32978	0,059499	1163,35			0,118998	5,192165	1	1	0	0	-12
1359,39	1360,3633	0,0494	0,0231	1,27737	0,066769	1533,202	1,321804	7,214958	0,133539	7,612228	1,0028	1,0014	0,118998	1	-11
1707,015	1710,1009	0,04755	0,0191	1,22942	0,062318	1857,379	1,306127	7,533229	0,124636	9,971992	1,006	1,00438	0,252537	2	-10
2007,743	2013,42	0,04586	0,0155	1,18597	0,055228	2135,961	1,297735	7,717381	0,110455	12,2077	1,0089	1,00742	0,377173	3	-9
2264,178	2272,4062	0,04436	0,0123	1,14704	0,047553	2372,255	1,29271	7,832705	0,095105	14,28478	1,0115	1,01019	0,487628	4	-8
2480,332	2490,8657	0,04303	0,0094	1,11265	0,040153	2570,494	1,289478	7,908988	0,080305	16,1808	1,0137	1,01261	0,582734	5	-7

Продолжение таблицы А2

2660,656	2673,1837	0,04188	0,0069	1,0828	0,033411	2735,099	1,287297	7,961428	0,066823	17,88016	1,0156	1,01468	0,663039	6	-6
2809,542	2823,7466	0,0409	0,0048	1,05753	0,027479	2870,309	1,285776	7,998483	0,054958	19,37169	1,0172	1,01641	0,729862	7	-5
2931,076	2946,6581	0,0401	0,0031	1,03683	0,022382	2980,001	1,284691	8,025167	0,044764	20,64752	1,0185	1,01785	0,78482	8	-4
3028,926	3045,6147	0,03947	0,0017	1,02072	0,018079	3067,62	1,283906	8,044593	0,036158	21,70272	1,0195	1,01902	0,829584	9	-3
3106,314	3123,8688	0,03903	0,0008	1,00921	0,014498	3136,174	1,283336	8,058765	0,028996	22,53532	1,0204	1,01998	0,865742	10	-2
3166,034	3184,2429	0,03876	0,0002	1,0023	0,011551	3188,263	1,282925	8,069013	0,023101	23,1466	1,0211	1,02074	0,894738	11	-1
3210,492	3229,1694	0,03867	0	1	0,009149	3226,124	1,282636	8,07624	0,018298	23,54139	1,0216	1,02136	0,917839	12	0
3241,757	3260,7407	0,03876	0,0002	1,0023	0,007208	3251,685	1,282443	8,081075	0,014417	23,72825	1,0221	1,02185	0,936138	13	1
3261,614	3280,7612	0,03903	0,0008	1,00921	0,005651	3266,611	1,282328	8,083965	0,011303	23,71945	1,0224	1,02223	0,950554	14	2
3271,608	3290,7956	0,03947	0,0017	1,02072	0,004411	3272,349	1,282277	8,085237	0,008822	23,53066	1,0227	1,02253	0,961857	15	3
3273,09	3292,2105	0,0401	0,0031	1,03683	0,003428	3270,169	1,282281	8,085136	0,006856	23,18043	1,0229	1,02277	0,970679	16	4
3267,248	3286,2078	0,0409	0,0048	1,05753	0,002653	3261,191	1,282332	8,08385	0,005307	22,68943	1,023	1,02296	0,977535	17	5
3255,133	3273,8522	0,04188	0,0069	1,0828	0,002046	3246,408	1,282425	8,081529	0,004093	22,07957	1,0232	1,0231	0,982842	18	6
3237,682	3256,0906	0,04303	0,0094	1,11265	0,001573	3226,705	1,282554	8,078299	0,003145	21,37311	1,0233	1,02321	0,986934	19	7
3215,728	3233,7674	0,04436	0,0123	1,14704	0,001204	3202,871	1,282715	8,074263	0,002409	20,5918	1,0233	1,0233	0,99008	20	8
3190,014	3207,6358	0,04586	0,0155	1,18597	0,00092	3175,609	1,282905	8,069512	0,001839	19,75617	1,0234	1,02336	0,992488	21	9
3161,203	3178,3665	0,04755	0,0191	1,22942	0,0007	3145,543	1,283121	8,064126	0,0014	18,885	1,0234	1,02341	0,994328	22	10
3129,882	3146,5542	0,0494	0,0231	1,27737	0,000531	3113,226	1,283359	8,058178	0,001062	17,99491	1,0235	1,02345	0,995727	23	11
3096,569	3112,7239	0,05143	0,0275	1,32978	0,000402	3079,144	1,283618	8,051731	0,000804	17,10021	1,0235	1,02348	0,99679	24	12
3061,719	3077,3358	0,05363	0,0322	1,38665	0,000303	3043,723	1,283896	8,044844	0,000607	16,21283	1,0235	1,0235	0,997594	25	13
3025,726	3040,7913	0,056	0,0373	1,44794	0,000228	3007,33	1,284189	8,037573	0,000457	15,34244	1,0235	1,02352	0,9982	26	14
2988,934	3003,4373	0,05854	0,0428	1,51362	0,000172	2970,285	1,284496	8,029965	0,000343	14,49658	1,0235	1,02353	0,998657	27	15
2951,636	2965,5719	0,06124	0,0486	1,58366	0,000128	2932,859	1,284817	8,022065	0,000257	13,68088	1,0235	1,02354	0,999	28	16

Таблица А3 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с неразделенной камерой сгорания при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред- няя на участке темпе- ратура, К	k1-2	K1-2	D_{X1-2}	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
939,4422	939,44225	0,0576	0,0373	1,447939	0,041767	1065,516			0,083533	4,505169	1	1	0	0	-14
1191,59	1191,9763	0,0552	0,0322	1,386651	0,050175	1312,422	1,328588	7,086641	0,10035	5,969676	1,00027	1,0001	0,083533	1	-13
1433,254	1434,7342	0,0529	0,0275	1,329784	0,049758	1545,079	1,315082	7,347562	0,099515	7,49498	1,0006	1,0004	0,183884	2	-12

Продолжение таблицы А3

1656,904	1659,9894	0,0508	0,0231	1,277365	0,046843	1758,618	1,306429	7,526792	0,093685	9,030489	1,00092	1,0008	0,283399	3	-11
1860,332	1865,2272	0,0489	0,0191	1,22942	0,042876	1951,748	1,300595	7,653474	0,085751	10,54602	1,00123	1,0011	0,377084	4	-10
2043,164	2049,8878	0,0472	0,0155	1,185972	0,038521	2124,52	1,296488	7,745634	0,077041	12,0182	1,0015	1,0014	0,462835	5	-9
2205,877	2214,346	0,0456	0,0123	1,147041	0,034137	2277,629	1,293501	7,814293	0,068274	13,42658	1,00176	1,0016	0,539877	6	-8
2349,381	2359,4563	0,0443	0,0094	1,112646	0,029928	2412,088	1,291273	7,866411	0,059855	14,75218	1,00198	1,0019	0,608151	7	-7
2474,795	2486,3115	0,0431	0,0069	1,082803	0,026006	2529,058	1,289581	7,906538	0,052012	15,97708	1,00217	1,0021	0,668006	8	-6
2583,322	2596,1047	0,0421	0,0048	1,057528	0,02243	2629,75	1,288278	7,937743	0,044859	17,08444	1,00234	1,0023	0,720018	9	-5
2676,178	2690,0491	0,0413	0,0031	1,036831	0,019219	2715,361	1,287268	7,962148	0,038438	18,05887	1,00249	1,0024	0,764878	10	-4
2754,545	2769,3327	0,0406	0,0017	1,020723	0,016374	2787,051	1,286481	7,981254	0,032747	18,88705	1,00261	1,0025	0,803316	11	-3
2819,557	2835,097	0,0402	0,0008	1,009212	0,013878	2845,925	1,285872	7,996143	0,027755	19,55837	1,00272	1,0027	0,836063	12	-2
2872,293	2888,4293	0,0399	0,0002	1,002303	0,011707	2893,035	1,285404	8,007609	0,023414	20,06561	1,00281	1,0028	0,863818	13	-1
2913,776	2930,3635	0,0398	0	1	0,009834	2929,378	1,285053	8,016244	0,019667	20,4055	1,00288	1,0028	0,887232	14	0
2944,98	2961,8847	0,0399	0,0002	1,002303	0,008227	2955,908	1,284799	8,022498	0,016455	20,57904	1,00295	1,0029	0,9069	15	1
2966,836	2983,9354	0,0402	0,0008	1,009212	0,006858	2973,537	1,284628	8,026718	0,013716	20,59152	1,003	1,003	0,923354	16	2
2980,237	2997,4199	0,0406	0,0017	1,020723	0,005697	2983,139	1,284528	8,029178	0,011394	20,45231	1,00305	1,003	0,93707	17	3
2986,041	3003,2071	0,0413	0,0031	1,036831	0,004717	2985,556	1,284491	8,0301	0,009435	20,17427	1,00308	1,0031	0,948465	18	4
2985,071	3002,1313	0,0421	0,0048	1,057528	0,003894	2981,592	1,284509	8,029665	0,007788	19,77303	1,00311	1,0031	0,957899	19	5
2978,114	2994,9904	0,0431	0,0069	1,082803	0,003205	2972,016	1,284575	8,028027	0,006411	19,26607	1,00314	1,0031	0,965688	20	6
2965,919	2982,5425	0,0443	0,0094	1,112646	0,002631	2957,555	1,284685	8,025319	0,005262	18,67183	1,00316	1,0032	0,972099	21	7
2949,19	2965,5029	0,0456	0,0123	1,147041	0,002154	2938,889	1,284833	8,021658	0,004308	18,00881	1,00318	1,0032	0,977361	22	8
2928,589	2944,5395	0,0472	0,0155	1,185972	0,001759	2916,655	1,285016	8,017146	0,003519	17,29479	1,00319	1,0032	0,981669	23	9
2904,722	2920,2701	0,0489	0,0191	1,22942	0,001433	2891,436	1,28523	8,011877	0,002867	16,54628	1,0032	1,0032	0,985188	24	10
2878,15	2893,2599	0,0508	0,0231	1,277365	0,001165	2863,763	1,285472	8,005936	0,00233	15,77809	1,00321	1,0032	0,988055	25	11
2849,376	2864,0207	0,0529	0,0275	1,329784	0,000945	2834,114	1,285739	7,999399	0,00189	15,0031	1,00322	1,0032	0,990385	26	12
2818,853	2833,0106	0,0552	0,0322	1,386651	0,000765	2802,917	1,286027	7,992337	0,00153	14,23213	1,00323	1,0032	0,992275	27	13
2786,981	2800,6359	0,0576	0,0373	1,447939	0,000618	2770,547	1,286335	7,984813	0,001235	13,47403	1,00323	1,0032	0,993804	28	14
2754,113	2767,2532	0,0602	0,0428	1,513619	0,000498	2737,334	1,286661	7,976887	0,000996	12,73578	1,00324	1,0032	0,99504	29	15
2720,554	2733,1721	0,063	0,0486	1,58366	0,000401	2703,561	1,287001	7,968611	0,000801	12,02264	1,00324	1,0032	0,996035	30	16
2686,568	2698,6593	0,066	0,0548	1,658028	0,000322	2669,473	1,287355	7,960033	0,000643	11,33841	1,00324	1,0032	0,996836	31	17
2652,378	2663,9422	0,0691	0,0614	1,736687	0,000258	2635,276	1,28772	7,951197	0,000516	10,68563	1,00324	1,0032	0,99748	32	18
2618,174	2629,2124	0,0724	0,0683	1,819601	0,000206	2601,144	1,288095	7,942143	0,000413	10,06578	1,00324	1,0032	0,997995	33	19
2584,114	2594,6306	0,0759	0,0756	1,90673	0,000165	2567,222	1,288479	7,932906	0,00033	9,47949	1,00325	1,0032	0,998408	34	20
2550,329	2560,3294	0,0795	0,0832	1,998031	0,000131	2533,628	1,288871	7,923517	0,000263	8,926734	1,00325	1,0032	0,998737	35	21
2516,927	2526,4172	0,0833	0,0911	2,093463	0,000105	2500,506	1,289268	7,914006	0,000209	8,406966	1,00325	1,0032	0,999	36	22

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

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Средняя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	ΔX_{1-2}	Давление	Кoeffи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от нача- ла горе- ния	Теку- щий угол ПКВ
887,4445	887,4445	0,0639	0,04864	1,58366	0,032435	994,031			0,06487	3,84178	1	1	0	0	-16
1100,618	1100,904	0,0611	0,0428	1,513619	0,040818	1206,639	1,334175	6,98489	0,081636	4,986102	0,9999	0,999943	0,06487	1	-15
1312,661	1313,836	0,0584	0,03733	1,447939	0,041957	1414,106	1,320539	7,23949	0,083915	6,219606	0,9997	0,999813	0,146506	2	-14
1515,551	1518,127	0,0559	0,03222	1,386651	0,040862	1610,859	1,311276	7,42516	0,081725	7,503252	0,9996	0,999667	0,23042	3	-13
1706,167	1710,42	0,0536	0,02748	1,329784	0,03867	1794,654	1,304764	7,56246	0,07734	8,813871	0,9994	0,99952	0,312145	4	-12
1883,14	1889,179	0,0515	0,02311	1,277365	0,035916	1964,542	1,300024	7,66614	0,071832	10,13309	0,9993	0,99938	0,389486	5	-11
2045,944	2053,768	0,0496	0,01912	1,22942	0,032906	2120,23	1,296475	7,74593	0,065813	11,44399	0,9992	0,999248	0,461318	6	-10
2194,516	2204,06	0,0478	0,0155	1,185972	0,02983	2261,793	1,293757	7,80835	0,05966	12,72983	0,9991	0,999126	0,527131	7	-9
2329,071	2340,227	0,0463	0,01225	1,147041	0,026808	2389,526	1,291638	7,85782	0,053617	13,97348	0,999	0,999015	0,586791	8	-8
2449,982	2462,618	0,0449	0,00939	1,112646	0,023917	2503,851	1,289964	7,89741	0,047835	15,15731	0,9989	0,998915	0,640408	9	-7
2557,72	2571,69	0,0437	0,0069	1,082803	0,021204	2605,262	1,288628	7,92934	0,042409	16,26343	0,9988	0,998826	0,688242	10	-6
2652,803	2667,956	0,0427	0,00479	1,057528	0,018695	2694,291	1,287555	7,9552	0,03739	17,27409	0,9987	0,998746	0,730651	11	-5
2735,779	2751,962	0,0418	0,00307	1,036831	0,016401	2771,494	1,286691	7,97615	0,032802	18,17239	0,9986	0,998675	0,768041	12	-4
2807,209	2824,269	0,0412	0,00173	1,020723	0,014325	2837,435	1,285997	7,99309	0,028649	18,943	0,9986	0,998613	0,800843	13	-3
2867,662	2885,451	0,0407	0,00077	1,009212	0,01246	2892,691	1,285442	8,00668	0,02492	19,57304	0,9985	0,998559	0,829493	14	-2
2917,72	2936,096	0,0404	0,00019	1,002303	0,010797	2937,848	1,285004	8,01743	0,021594	20,05292	0,9985	0,998512	0,854412	15	-1
2957,977	2976,803	0,0403	0	1	0,009324	2973,509	1,284667	8,02576	0,018647	20,37692	0,9985	0,998471	0,876007	16	0
2989,041	3008,189	0,0404	0,00019	1,002303	0,008025	3000,291	1,284415	8,03198	0,01605	20,54372	0,9984	0,998435	0,894654	17	1
3011,541	3030,891	0,0407	0,00077	1,009212	0,006886	3018,83	1,284239	8,03634	0,013773	20,55642	0,9984	0,998404	0,910704	18	2
3026,12	3045,561	0,0412	0,00173	1,020723	0,005892	3029,778	1,284129	8,03906	0,011784	20,42244	0,9984	0,998378	0,924477	19	3
3033,437	3052,868	0,0418	0,00307	1,036831	0,005028	3033,797	1,284078	8,04033	0,010056	20,15295	0,9983	0,998355	0,936261	20	4
3034,158	3053,487	0,0427	0,00479	1,057528	0,004279	3031,553	1,28408	8,04028	0,008558	19,76216	0,9983	0,998336	0,946317	21	5
3028,949	3048,096	0,0437	0,0069	1,082803	0,003633	3023,71	1,284129	8,03906	0,007266	19,26646	0,9983	0,99832	0,954875	22	6
3018,47	3037,361	0,0449	0,00939	1,112646	0,003077	3010,916	1,284221	8,03678	0,006155	18,68342	0,9983	0,998306	0,962142	23	7
3003,362	3021,935	0,0463	0,01225	1,147041	0,002601	2993,802	1,284351	8,03356	0,005201	18,03092	0,9983	0,998294	0,968296	24	8
2984,241	3002,442	0,0478	0,0155	1,185972	0,002193	2972,965	1,284516	8,02948	0,004386	17,32637	0,9983	0,998284	0,973498	25	9
2961,69	2979,473	0,0496	0,01912	1,22942	0,001846	2948,97	1,284712	8,02464	0,003691	16,58604	0,9983	0,998275	0,977884	26	10
2936,251	2953,579	0,0515	0,02311	1,277365	0,00155	2922,339	1,284936	8,01913	0,0031	15,82464	0,9983	0,998268	0,981575	27	11

Продолжение таблицы А4

2908,427	2925,269	0,0536	0,02748	1,329784	0,001299	2893,55	1,285185	8,013	0,002599	15,05506	0,9983	0,998262	0,984675	28	12
2878,672	2895,003	0,0559	0,03222	1,386651	0,001087	2863,034	1,285456	8,00634	0,002174	14,2882	0,9983	0,998257	0,987274	29	13
2847,396	2863,198	0,0584	0,03733	1,447939	0,000908	2831,178	1,285747	7,9992	0,001816	13,53303	0,9983	0,998253	0,989449	30	14
2814,961	2830,22	0,0611	0,0428	1,513619	0,000757	2798,324	1,286055	7,99165	0,001514	12,79664	0,9982	0,998249	0,991265	31	15
2781,687	2796,395	0,0639	0,04864	1,58366	0,00063	2764,77	1,286379	7,98374	0,00126	12,08447	0,9982	0,998246	0,992779	32	16
2747,852	2762,003	0,0669	0,05484	1,658028	0,000524	2730,774	1,286717	7,97552	0,001047	11,40046	0,9982	0,998244	0,994039	33	17
2713,695	2727,287	0,0701	0,06139	1,736687	0,000434	2696,558	1,287067	7,96702	0,000869	10,74727	0,9982	0,998242	0,995086	34	18
2679,42	2692,454	0,0734	0,0683	1,819601	0,00036	2662,31	1,287427	7,9583	0,00072	10,12652	0,9982	0,99824	0,995955	35	19
2645,199	2657,678	0,0769	0,07556	1,90673	0,000298	2628,188	1,287795	7,94938	0,000595	9,538958	0,9982	0,998239	0,996674	36	20
2611,177	2623,105	0,0806	0,08317	1,998031	0,000246	2594,324	1,288172	7,9403	0,000492	8,984639	0,9982	0,998238	0,99727	37	21
2577,471	2588,857	0,0845	0,09112	2,093463	0,000203	2560,826	1,288555	7,93109	0,000405	8,463102	0,9982	0,998237	0,997761	38	22
2544,181	2555,031	0,0885	0,09941	2,192979	0,000167	2527,782	1,288943	7,92177	0,000334	7,973484	0,9982	0,998236	0,998166	39	23
2511,383	2521,707	0,0926	0,10804	2,296532	0,000137	2495,262	1,289336	7,91237	0,000275	7,51464	0,9982	0,998235	0,9985	40	24
2479,14	2488,948	0,097	0,11701	2,404075	0,000113	2463,321	1,289733	7,90291	0,000225	7,085227	0,9982	0,998235	0,998775	41	25
2447,501	2456,802	0,1015	0,1263	2,515554	9,25E-05	2432,001	1,290132	7,8934	0,000185	6,683782	0,9982	0,998234	0,999	42	26

Таблица А5 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с неразделенной камерой сгорания при $n = 4200 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y(f1)	Доля вы- дели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участке темпе- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент моле- кулярного изменения смеси	m ₁₋₂	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
838,4622	838,4622	0,0732	0,0683	1,819601	0,024368	922,5229			0,048736	3,174909	1	1	0	0	-19
1006,584	1006,755	0,0699	0,06139	1,736687	0,032021	1093,35	1,340523	6,87332	0,064042	3,992939	0,9994	0,999693	0,048736	1	-18
1180,117	1180,879	0,0667	0,05484	1,658028	0,034018	1265,881	1,327447	7,10786	0,068037	4,902251	0,9986	0,998983	0,112778	2	-17
1351,645	1353,426	0,0637	0,04864	1,58366	0,034179	1434,763	1,317889	7,2915	0,068358	5,877505	0,9977	0,998152	0,180815	3	-16
1517,881	1520,978	0,0609	0,0428	1,513619	0,033354	1597,481	1,310807	7,43487	0,066708	6,904829	0,9969	0,997293	0,249173	4	-15
1677,081	1681,674	0,0582	0,03733	1,447939	0,031944	1752,66	1,305437	7,54799	0,063888	7,973845	0,996	0,996442	0,315881	5	-14
1828,24	1834,418	0,0558	0,03222	1,386651	0,030184	1899,503	1,301278	7,6384	0,060368	9,075049	0,9952	0,99562	0,379768	6	-13
1970,765	1978,552	0,0535	0,02748	1,329784	0,028226	2037,54	1,297994	7,71154	0,056452	10,19865	0,9945	0,994838	0,440136	7	-12
2104,316	2113,689	0,0514	0,02311	1,277365	0,026175	2166,514	1,295362	7,77136	0,05235	11,33394	0,9937	0,994102	0,496588	8	-11
2228,712	2239,615	0,0495	0,01912	1,22942	0,024104	2286,295	1,293224	7,82072	0,048207	12,46892	0,9931	0,993417	0,548938	9	-10
2343,878	2356,232	0,0477	0,0155	1,185972	0,022063	2396,842	1,291471	7,86176	0,044126	13,5901	0,9925	0,992784	0,597146	10	-9

Продолжение таблицы А5

2449,806	2463,517	0,0461	0,01225	1,147041	0,02009	2498,17	1,290021	7,89606	0,040179	14,68254	0,9919	0,992203	0,641272	11	-8
2546,534	2561,494	0,0448	0,00939	1,112646	0,018207	2590,332	1,288815	7,92484	0,036415	15,72999	0,9914	0,991672	0,681451	12	-7
2634,129	2650,223	0,0436	0,0069	1,082803	0,016432	2673,406	1,28781	7,94903	0,032865	16,71529	0,991	0,99119	0,717866	13	-6
2712,684	2729,793	0,0425	0,00479	1,057528	0,014774	2747,5	1,286971	7,96934	0,029547	17,62089	0,9905	0,990754	0,750731	14	-5
2782,316	2800,317	0,0417	0,00307	1,036831	0,013236	2812,742	1,286273	7,98635	0,026472	18,42963	0,9902	0,990361	0,780278	15	-4
2843,169	2861,937	0,0411	0,00173	1,020723	0,01182	2869,296	1,285694	8,00049	0,02364	19,12559	0,9898	0,990008	0,80675	16	-3
2895,422	2914,833	0,0406	0,00077	1,009212	0,010524	2917,358	1,28522	8,01213	0,021047	19,69498	0,9895	0,989693	0,83039	17	-2
2939,293	2959,225	0,0403	0,00019	1,002303	0,009343	2957,17	1,284837	8,02156	0,018686	20,12703	0,9893	0,989411	0,851437	18	-1
2975,047	2995,379	0,0402	0	1	0,008273	2989,022	1,284535	8,02901	0,016546	20,4147	0,989	0,989161	0,870124	19	0
3002,997	3023,616	0,0403	0,00019	1,002303	0,007307	3013,255	1,284306	8,03468	0,014614	20,55518	0,9888	0,988939	0,88667	20	1
3023,512	3044,308	0,0406	0,00077	1,009212	0,006439	3030,26	1,284142	8,03874	0,012878	20,55009	0,9887	0,988743	0,901284	21	2
3037,008	3057,878	0,0411	0,00173	1,020723	0,005661	3040,477	1,284037	8,04135	0,011322	20,40533	0,9885	0,98857	0,914162	22	3
3043,947	3064,796	0,0417	0,00307	1,036831	0,004966	3044,388	1,283985	8,04262	0,009932	20,13066	0,9883	0,988418	0,925483	23	4
3044,829	3065,568	0,0425	0,00479	1,057528	0,004348	3042,504	1,283983	8,04268	0,008696	19,73899	0,9882	0,988284	0,935416	24	5
3040,179	3060,731	0,0436	0,0069	1,082803	0,003799	3035,36	1,284025	8,04163	0,007598	19,24553	0,9881	0,988167	0,944111	25	6
3030,541	3050,834	0,0448	0,00939	1,112646	0,003313	3023,501	1,284108	8,03958	0,006626	18,66684	0,988	0,988064	0,951709	26	7
3016,461	3036,432	0,0461	0,01225	1,147041	0,002884	3007,469	1,284228	8,03661	0,005768	18,01999	0,9879	0,987975	0,958336	27	8
2998,477	3018,073	0,0477	0,0155	1,185972	0,002506	2987,794	1,284382	8,03281	0,005013	17,32171	0,9879	0,987897	0,964104	28	9
2977,111	2996,287	0,0495	0,01912	1,22942	0,002174	2964,987	1,284566	8,02826	0,004349	16,58779	0,9878	0,987829	0,969117	29	10
2952,862	2971,579	0,0514	0,02311	1,277365	0,001883	2939,528	1,284777	8,02304	0,003766	15,83258	0,9877	0,98777	0,973465	30	11
2926,194	2944,42	0,0535	0,02748	1,329784	0,001628	2911,866	1,285014	8,01721	0,003257	15,06871	0,9877	0,987719	0,977232	31	12
2897,538	2915,248	0,0558	0,03222	1,386651	0,001406	2882,411	1,285272	8,01085	0,002812	14,30692	0,9877	0,987674	0,980489	32	13
2867,284	2884,459	0,0582	0,03733	1,447939	0,001212	2851,535	1,285551	8,00401	0,002424	13,55611	0,9876	0,987636	0,983301	33	14
2835,786	2852,41	0,0609	0,0428	1,513619	0,001044	2819,57	1,285847	7,99675	0,002087	12,82336	0,9876	0,987603	0,985725	34	15
2803,355	2819,419	0,0637	0,04864	1,58366	0,000897	2786,812	1,286159	7,98912	0,001794	12,11412	0,9876	0,987575	0,987812	35	16
2770,268	2785,766	0,0667	0,05484	1,658028	0,00077	2753,516	1,286485	7,98117	0,00154	11,43237	0,9875	0,98755	0,989607	36	17
2736,765	2751,694	0,0699	0,06139	1,736687	0,00066	2719,908	1,286823	7,97294	0,001321	10,78084	0,9875	0,987529	0,991147	37	18
2703,052	2717,413	0,0732	0,0683	1,819601	0,000565	2686,179	1,287172	7,96447	0,001131	10,16121	0,9875	0,987511	0,992467	38	19
2669,306	2683,101	0,0767	0,07556	1,90673	0,000483	2652,491	1,28753	7,95579	0,000967	9,574305	0,9875	0,987496	0,993598	39	20
2635,677	2648,911	0,0804	0,08317	1,998031	0,000413	2618,983	1,287896	7,94695	0,000826	9,020251	0,9875	0,987483	0,994565	40	21
2602,29	2614,969	0,0842	0,09112	2,093463	0,000352	2585,769	1,288269	7,93796	0,000704	8,498649	0,9875	0,987471	0,995391	41	22
2569,249	2581,381	0,0882	0,09941	2,192979	0,0003	2552,943	1,288648	7,92886	0,0006	8,008699	0,9875	0,987462	0,996095	42	23
2536,638	2548,232	0,0924	0,10804	2,296532	0,000255	2520,582	1,289031	7,91967	0,000511	7,549308	0,9874	0,987454	0,996695	43	24
2504,527	2515,593	0,0967	0,11701	2,404075	0,000217	2488,748	1,289419	7,9104	0,000434	7,11918	0,9874	0,987447	0,997206	44	25

Продолжение таблицы А5

2472,969	2483,517	0,1012	0,1263	2,515554	0,000184	2457,488	1,28981	7,90108	0,000369	6,716892	0,9874	0,987441	0,99764	45	26
2442,006	2452,047	0,1058	0,13591	2,630919	0,000156	2426,839	1,290203	7,89172	0,000313	6,340946	0,9874	0,987436	0,998009	46	27
2411,672	2421,217	0,1106	0,14584	2,750115	0,000132	2396,829	1,290598	7,88235	0,000265	5,989818	0,9874	0,987431	0,998322	47	28
2381,987	2391,048	0,1156	0,15609	2,873086	0,000112	2367,478	1,290995	7,87297	0,000224	5,661988	0,9874	0,987428	0,998586	48	29
2352,968	2361,556	0,1207	0,16665	2,999773	9,48E-05	2338,797	1,291393	7,86359	0,00019	5,355966	0,9874	0,987425	0,998811	49	30
2324,625	2332,752	0,1259	0,17751	3,130119	8,01E-05	2310,794	1,291791	7,85423	0,00016	5,07031	0,9874	0,987422	0,999	50	31

Таблица А6 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя с неразделенной камерой сгорания при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред- няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от нача- ла горе- ния	Те- ку- щий угол ПК В
771,002	771,002	0,0974	0,108044	2,296532	0,020502	844,2739			0,041004	2,194855	1	1	0	0	-24
917,546	917,6808	0,093	0,099415	2,192979	0,027836	994,6071	1,348419	6,740212	0,055671	2,734906	0,999366	0,999683	0,041004	1	-23
1071,67	1072,295	0,0888	0,091122	2,093463	0,030186	1149,065	1,334582	6,977599	0,060373	3,345101	0,998505	0,998936	0,096675	2	-22
1226,46	1227,975	0,0847	0,083169	1,998031	0,030867	1302,614	1,324194	7,169149	0,061735	4,010121	0,997571	0,998038	0,157048	3	-21
1378,77	1381,478	0,0809	0,075561	1,90673	0,030616	1452,82	1,316347	7,32217	0,061233	4,722957	0,996617	0,997094	0,218783	4	-20
1526,87	1530,995	0,0772	0,0683	1,819601	0,029782	1598,316	1,310308	7,445212	0,059564	5,479517	0,99567	0,996143	0,280016	5	-19
1669,76	1675,424	0,0737	0,061391	1,736687	0,02857	1738,277	1,305568	7,545198	0,057141	6,276831	0,994749	0,995209	0,33958	6	-18
1806,79	1814,074	0,0703	0,054836	1,658028	0,027117	1872,192	1,30178	7,627348	0,054234	7,112245	0,993865	0,994307	0,396721	7	-17
1937,59	1946,512	0,0672	0,048638	1,58366	0,025518	1999,753	1,298706	7,695548	0,051036	7,982928	0,993027	0,993446	0,450955	8	-16
2061,92	2072,47	0,0642	0,042802	1,513619	0,023843	2120,777	1,296178	7,752699	0,047685	8,885519	0,992237	0,992632	0,501991	9	-15
2179,64	2191,796	0,0614	0,037328	1,447939	0,022142	2235,167	1,294075	7,800989	0,044283	9,815828	0,9915	0,991869	0,549677	10	-14
2290,7	2304,408	0,0588	0,032221	1,386651	0,020453	2342,879	1,292309	7,842084	0,040905	10,76857	0,990815	0,991158	0,59396	11	-13
2395,06	2410,266	0,0564	0,027482	1,329784	0,018804	2443,896	1,290813	7,877266	0,037607	11,7371	0,990183	0,990499	0,634865	12	-12
2492,73	2509,353	0,0542	0,023114	1,277365	0,017215	2538,212	1,289539	7,907531	0,034429	12,71327	0,989601	0,989892	0,672473	13	-11
2583,7	2601,658	0,0521	0,019118	1,22942	0,015699	2625,824	1,288448	7,93366	0,031398	13,68725	0,989069	0,989335	0,706902	14	-10
2667,95	2687,167	0,0503	0,015498	1,185972	0,014267	2706,719	1,287511	7,956268	0,028533	14,64749	0,988583	0,988826	0,7383	15	-9
2745,49	2765,858	0,0487	0,012253	1,147041	0,012923	2780,877	1,286704	7,97584	0,025846	15,58082	0,988142	0,988363	0,766833	16	-8
2816,27	2837,702	0,0472	0,009387	1,112646	0,01167	2848,269	1,28601	7,992766	0,02334	16,47268	0,987742	0,987942	0,792679	17	-7
2880,27	2902,66	0,0459	0,0069	1,082803	0,010509	2908,864	1,285414	8,007356	0,021018	17,30748	0,987382	0,987562	0,816019	18	-6

Продолжение таблицы А6

2937,46	2960,698	0,0449	0,004794	1,057528	0,009438	2962,633	1,284906	8,019859	0,018877	18,06919	0,987057	0,987219	0,837037	19	-5
2987,81	3011,789	0,044	0,003069	1,036831	0,008456	3009,564	1,284476	8,030478	0,016911	18,74206	0,986765	0,986911	0,855914	20	-4
3031,32	3055,928	0,0433	0,001727	1,020723	0,007557	3049,67	1,284116	8,039378	0,015114	19,31141	0,986503	0,986634	0,872825	21	-3
3068,02	3093,142	0,0428	0,000768	1,009212	0,006739	3082,999	1,283821	8,046697	0,013478	19,76457	0,986269	0,986386	0,887939	22	-2
3097,98	3123,5	0,0425	0,000192	1,002303	0,005997	3109,646	1,283585	8,05255	0,011993	20,09162	0,986061	0,986165	0,901417	23	-1
3121,31	3147,124	0,0424	0	1	0,005325	3129,76	1,283405	8,057037	0,01065	20,28615	0,985876	0,985968	0,91341	24	0
3138,21	3164,193	0,0425	0,000192	1,002303	0,004719	3143,548	1,283276	8,060248	0,009438	20,34569	0,985711	0,985793	0,92406	25	1
3148,89	3174,947	0,0428	0,000768	1,009212	0,004174	3151,273	1,283195	8,062264	0,008349	20,27189	0,985565	0,985638	0,933498	26	2
3153,66	3179,685	0,0433	0,001727	1,020723	0,003686	3153,259	1,283159	8,063161	0,007372	20,07039	0,985436	0,9855	0,941847	27	3
3152,86	3178,762	0,044	0,003069	1,036831	0,003249	3149,877	1,283165	8,063011	0,006498	19,75042	0,985322	0,985379	0,949219	28	4
3146,89	3172,581	0,0449	0,004794	1,057528	0,002859	3141,537	1,283211	8,061884	0,005718	19,32412	0,985221	0,985272	0,955717	29	5
3136,18	3161,577	0,0459	0,0069	1,082803	0,002511	3128,684	1,283292	8,05985	0,005023	18,80579	0,985133	0,985177	0,961434	30	6
3121,18	3146,214	0,0472	0,009387	1,112646	0,002203	3111,775	1,283408	8,056976	0,004406	18,21093	0,985055	0,985094	0,966457	31	7
3102,37	3126,967	0,0487	0,012253	1,147041	0,001929	3091,279	1,283554	8,053329	0,003858	17,55549	0,984987	0,985021	0,970863	32	8
3080,19	3104,309	0,0503	0,015498	1,185972	0,001687	3067,656	1,283729	8,048972	0,003374	16,85508	0,984927	0,984957	0,974721	33	9
3055,12	3078,707	0,0521	0,019118	1,22942	0,001473	3041,355	1,283931	8,043969	0,002946	16,1244	0,984875	0,984901	0,978095	34	10
3027,59	3050,606	0,0542	0,023114	1,277365	0,001284	3012,8	1,284156	8,038381	0,002569	15,37677	0,98483	0,984853	0,981041	35	11
2998,01	3020,427	0,0564	0,027482	1,329784	0,001118	2982,391	1,284403	8,032266	0,002237	14,62388	0,98479	0,98481	0,98361	36	12
2966,77	2988,56	0,0588	0,032221	1,386651	0,000973	2950,495	1,28467	8,025677	0,001945	13,87566	0,984755	0,984773	0,985847	37	13
2934,22	2955,361	0,0614	0,037328	1,447939	0,000845	2917,443	1,284954	8,018668	0,001689	13,14029	0,984725	0,98474	0,987792	38	14
2900,67	2921,151	0,0642	0,042802	1,513619	0,000733	2883,534	1,285254	8,011288	0,001465	12,42424	0,984699	0,984712	0,989481	39	15
2866,4	2886,217	0,0672	0,048638	1,58366	0,000635	2849,033	1,285568	8,00358	0,001269	11,73244	0,984677	0,984688	0,990947	40	16
2831,66	2850,809	0,0703	0,054836	1,658028	0,000549	2814,17	1,285895	7,995586	0,001098	11,06849	0,984657	0,984667	0,992216	41	17
2796,68	2815,146	0,0737	0,061391	1,736687	0,000475	2779,147	1,286232	7,987346	0,000949	10,43478	0,98464	0,984648	0,993314	42	18
2761,62	2779,418	0,0772	0,0683	1,819601	0,00041	2744,136	1,286578	7,978895	0,000819	9,832744	0,984625	0,984633	0,994264	43	19
2726,65	2743,784	0,0809	0,075561	1,90673	0,000353	2709,281	1,286933	7,970263	0,000706	9,263006	0,984613	0,984619	0,995083	44	20
2691,91	2708,381	0,0847	0,083169	1,998031	0,000304	2674,705	1,287295	7,961481	0,000608	8,725563	0,984602	0,984607	0,995789	45	21
2657,5	2673,322	0,0888	0,091122	2,093463	0,000262	2640,511	1,287663	7,952574	0,000523	8,219917	0,984592	0,984597	0,996398	46	22
2623,52	2638,699	0,093	0,099415	2,192979	0,000225	2606,78	1,288036	7,943567	0,00045	7,745207	0,984584	0,984588	0,996921	47	23
2590,04	2604,589	0,0974	0,108044	2,296532	0,000193	2573,58	1,288414	7,934481	0,000386	7,300303	0,984577	0,984581	0,997371	48	24
2557,12	2571,052	0,102	0,117006	2,404075	0,000166	2540,965	1,288795	7,925334	0,000331	6,883896	0,984571	0,984574	0,997757	49	25
2524,81	2538,135	0,1067	0,126296	2,515554	0,000142	2508,974	1,289178	7,916145	0,000284	6,494564	0,984566	0,984569	0,998089	50	26
2493,14	2505,875	0,1116	0,13591	2,630919	0,000121	2477,64	1,289564	7,906929	0,000243	6,130821	0,984562	0,984564	0,998372	51	27

Продолжение таблицы А6

2462,14	2474,297	0,1166	0,145843	2,750115	0,000104	2446,984	1,289952	7,897699	0,000208	5,791166	0,984558	0,98456	0,998615	52	28
2431,83	2443,421	0,1219	0,15609	2,873086	8,87E-05	2417,021	1,29034	7,888467	0,000177	5,474106	0,984555	0,984556	0,998823	53	29
2402,21	2413,257	0,1272	0,166648	2,999773	7,57E-05	2387,76	1,29073	7,879246	0,000151	5,178182	0,984552	0,984553	0,999	54	30

Таблица А7 - Результаты теплового расчета двигателя ВА3-341 при $n = 650 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$y(f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред-няя на участке темпре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
900,3097	900,3097	0,05647	0,0428	1,5136	0,0268	999,0292			0,05355	4,3995	1	1	0	0	-15
1097,749	1097,692	0,05402	0,0373	1,4479	0,037	1200,404	1,334	6,988	0,07401	5,6079	1,0002	1,0001	0,05355	1	-14
1303,06	1302,847	0,05173	0,0322	1,3867	0,0398	1404,162	1,321	7,23	0,07958	6,9516	1,0004	1,0003	0,127558	2	-13
1505,265	1504,833	0,04961	0,0275	1,3298	0,04	1602,149	1,3117	7,416	0,07991	8,3748	1,0007	1,0005	0,207136	3	-12
1699,033	1698,367	0,04766	0,0231	1,2774	0,0387	1790,231	1,305	7,556	0,07737	9,8423	1,0009	1,0008	0,287047	4	-11
1881,428	1880,536	0,04587	0,0191	1,2294	0,0366	1966,112	1,3001	7,664	0,07315	11,326	1,0012	1,0011	0,364419	5	-10
2050,796	2049,697	0,04425	0,0155	1,186	0,034	2128,528	1,2964	7,747	0,06796	12,8	1,0014	1,0013	0,437566	6	-9
2206,261	2204,979	0,04279	0,0123	1,147	0,0311	2276,859	1,2936	7,813	0,06228	14,24	1,0016	1,0015	0,505525	7	-8
2347,457	2346,016	0,04151	0,0094	1,1126	0,0282	2410,907	1,2914	7,864	0,05645	15,623	1,0018	1,0017	0,567807	8	-7
2474,357	2472,778	0,0404	0,0069	1,0828	0,0253	2530,763	1,2896	7,905	0,05067	16,924	1,002	1,0019	0,624253	9	-6
2587,169	2585,474	0,03945	0,0048	1,0575	0,0226	2636,717	1,2883	7,938	0,04512	18,121	1,0022	1,0021	0,674928	10	-5
2686,264	2684,471	0,03868	0,0031	1,0368	0,0199	2729,196	1,2872	7,965	0,03989	19,194	1,0023	1,0023	0,72005	11	-4
2772,128	2770,253	0,03808	0,0017	1,0207	0,0175	2808,728	1,2863	7,986	0,03503	20,122	1,0025	1,0024	0,759938	12	-3
2845,328	2843,388	0,03765	0,0008	1,0092	0,0153	2875,913	1,2856	8,003	0,03059	20,892	1,0026	1,0025	0,79497	13	-2
2906,497	2904,505	0,03739	0,0002	1,0023	0,0133	2931,406	1,285	8,016	0,02656	21,49	1,0027	1,0026	0,825556	14	-1
2956,315	2954,284	0,03731	0	1	0,0115	2975,909	1,2846	8,027	0,02295	21,911	1,0028	1,0027	0,852115	15	0
2995,502	2993,444	0,03739	0,0002	1,0023	0,0099	3010,156	1,2843	8,034	0,01973	22,152	1,0028	1,0028	0,875062	16	1
3024,81	3022,734	0,03765	0,0008	1,0092	0,0084	3034,911	1,2841	8,04	0,0169	22,217	1,0029	1,0029	0,894797	17	2
3045,012	3042,929	0,03808	0,0017	1,0207	0,0072	3050,956	1,2839	8,044	0,01441	22,115	1,0029	1,0029	0,911694	18	3
3056,899	3054,816	0,03868	0,0031	1,0368	0,0061	3059,081	1,2839	8,046	0,01224	21,857	1,003	1,003	0,926103	19	4
3061,264	3059,19	0,03945	0,0048	1,0575	0,0052	3060,079	1,2838	8,046	0,01036	21,461	1,003	1,003	0,938341	20	5
3058,894	3056,836	0,0404	0,0069	1,0828	0,0044	3054,729	1,2839	8,046	0,00873	20,945	1,0031	1,003	0,948698	21	6
3050,563	3048,526	0,04151	0,0094	1,1126	0,0037	3043,788	1,2839	8,044	0,00734	20,328	1,0031	1,0031	0,957432	22	7

Продолжение таблицы А7

3037,014	3035,004	0,04279	0,0123	1,147	0,0031	3027,985	1,2841	8,041	0,00615	19,632	1,0031	1,0031	0,964773	23	8
3018,956	3016,977	0,04425	0,0155	1,186	0,0026	3008,006	1,2842	8,037	0,00514	18,875	1,0031	1,0031	0,970922	24	9
2997,056	2995,112	0,04587	0,0191	1,2294	0,0021	2984,492	1,2844	8,032	0,00428	18,076	1,0032	1,0031	0,976058	25	10
2971,929	2970,024	0,04766	0,0231	1,2774	0,0018	2958,035	1,2846	8,027	0,00355	17,252	1,0032	1,0032	0,980334	26	11
2944,141	2942,276	0,04961	0,0275	1,3298	0,0015	2929,17	1,2849	8,021	0,00294	16,418	1,0032	1,0032	0,983885	27	12
2914,2	2912,378	0,05173	0,0322	1,3867	0,0012	2898,381	1,2851	8,014	0,00243	15,584	1,0032	1,0032	0,986825	28	13
2882,562	2880,785	0,05402	0,0373	1,4479	0,001	2866,095	1,2854	8,007	0,002	14,763	1,0032	1,0032	0,989253	29	14
2849,629	2847,899	0,05647	0,0428	1,5136	0,0008	2832,691	1,2857	8	0,00164	13,961	1,0032	1,0032	0,991252	30	15
2815,753	2814,07	0,05908	0,0486	1,5837	0,0007	2798,496	1,286	7,992	0,00135	13,185	1,0032	1,0032	0,992895	31	16
2781,239	2779,604	0,06186	0,0548	1,658	0,0006	2763,793	1,2864	7,984	0,0011	12,44	1,0032	1,0032	0,994241	32	17
2746,348	2744,761	0,06479	0,0614	1,7367	0,0004	2728,825	1,2867	7,975	0,0009	11,728	1,0032	1,0032	0,995342	33	18
2711,301	2709,762	0,06789	0,0683	1,8196	0,0004	2693,794	1,2871	7,966	0,00073	11,05	1,0032	1,0032	0,99624	34	19
2676,286	2674,795	0,07114	0,0756	1,9067	0,0003	2658,871	1,2875	7,958	0,00059	10,409	1,0032	1,0032	0,996971	35	20
2641,457	2640,014	0,07454	0,0832	1,998	0,0002	2624,2	1,2878	7,948	0,00048	9,8046	1,0032	1,0032	0,997564	36	21
2606,942	2605,547	0,0781	0,0911	2,0935	0,0002	2589,894	1,2882	7,939	0,00039	9,2355	1,0032	1,0032	0,998045	37	22
2572,846	2571,497	0,08182	0,0994	2,193	0,0002	2556,049	1,2886	7,93	0,00031	8,7012	1,0032	1,0032	0,998434	38	23
2539,252	2537,949	0,08568	0,108	2,2965	0,0001	2522,738	1,289	7,92	0,00025	8,2005	1,0032	1,0032	0,998748	39	24
2506,225	2504,968	0,08969	0,117	2,4041	0,0001	2490,021	1,2894	7,911	0,0002	7,7319	1,0032	1,0032	0,999	40	25

Таблица А8 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ-341 при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y(f1)	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред-няя на участке темпе- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффи- циент моле- кулярного изменения смеси	m ₁₋₂	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
824,6395	824,6395	0,07398	0,07556	1,90673	0,02042	904,6075			0,04084	3,06431	1	1	0	0	-20
984,5755	984,5175	0,07060	0,06830	1,81960	0,02901	1069,957	1,34236	6,84188	0,05803	3,83361	1	1	0,0408	1	-19
1155,339	1155,11	0,06738	0,06139	1,73669	0,03201	1241,714	1,32912	7,07687	0,06401	4,71271	1	1	0,0989	2	-18
1328,088	1327,607	0,06433	0,05484	1,65803	0,03300	1413,226	1,31916	7,26641	0,06600	5,67357	1,0001	1	0,1629	3	-17
1498,364	1497,599	0,06144	0,04864	1,58366	0,03284	1580,958	1,31168	7,41682	0,06568	6,70074	1,0001	1,0001	0,2289	4	-16
1663,552	1662,503	0,05873	0,04280	1,51362	0,03195	1742,781	1,30597	7,53656	0,06390	7,78297	1,0001	1,0001	0,2946	5	-15
1822,01	1820,688	0,05618	0,03733	1,44794	0,03057	1897,343	1,30154	7,63269	0,06115	8,91036	1,0001	1,0001	0,3585	6	-14
1972,676	1971,1	0,05380	0,03222	1,38665	0,02889	2043,768	1,29804	7,71060	0,05778	10,07306	1,0002	1,0001	0,4196	7	-13

Продолжение таблицы А8

2114,861	2113,053	0,05159	0,02748	1,32978	0,02702	2181,496	1,29523	7,77434	0,05404	11,26053	1,0002	1,0002	0,4774	8	-12
2248,132	2246,115	0,04956	0,02311	1,27737	0,02506	2310,182	1,29296	7,82691	0,05011	12,46107	1,0002	1,0002	0,5314	9	-11
2372,232	2370,025	0,04770	0,01912	1,22942	0,02306	2429,626	1,29110	7,87057	0,04613	13,66153	1,0002	1,0002	0,5815	10	-10
2487,021	2484,646	0,04601	0,01550	1,18597	0,02109	2539,733	1,28956	7,90703	0,04218	14,84720	1,0002	1,0002	0,6277	11	-9
2592,445	2589,92	0,04450	0,01225	1,14704	0,01918	2640,476	1,28828	7,93761	0,03836	16,00181	1,0002	1,0002	0,6699	12	-8
2688,508	2685,849	0,04317	0,00939	1,11265	0,01735	2731,88	1,28722	7,96331	0,03469	17,10774	1,0003	1,0003	0,7082	13	-7
2775,253	2772,478	0,04201	0,00690	1,08280	0,01562	2814,007	1,28633	7,98493	0,03123	18,14649	1,0003	1,0003	0,7429	14	-6
2852,761	2849,886	0,04103	0,00479	1,05753	0,01400	2886,953	1,28559	8,00307	0,02799	19,09919	1,0003	1,0003	0,7741	15	-5
2921,144	2918,183	0,04023	0,00307	1,03683	0,01249	2950,846	1,28497	8,01823	0,02498	19,94751	1,0003	1,0003	0,8021	16	-4
2980,548	2977,515	0,03960	0,00173	1,02072	0,01111	3005,851	1,28446	8,03079	0,02222	20,67446	1,0003	1,0003	0,8271	17	-3
3031,155	3028,065	0,03916	0,00077	1,00921	0,00984	3052,176	1,28405	8,04107	0,01969	21,26546	1,0003	1,0003	0,8493	18	-2
3073,197	3070,062	0,03889	0,00019	1,00230	0,00869	3090,074	1,28372	8,04931	0,01738	21,70917	1,0003	1,0003	0,869	19	-1
3106,951	3103,783	0,03880	0,00000	1,00000	0,00765	3119,85	1,28346	8,05574	0,01530	21,99833	1,0003	1,0003	0,8864	20	0
3132,749	3129,561	0,03889	0,00019	1,00230	0,00672	3141,864	1,28326	8,06053	0,01343	22,13019	1,0003	1,0003	0,9017	21	1
3150,978	3147,78	0,03916	0,00077	1,00921	0,00588	3156,527	1,28313	8,06383	0,01175	22,10676	1,0003	1,0003	0,9151	22	2
3162,076	3158,878	0,03960	0,00173	1,02072	0,00513	3164,301	1,28305	8,06577	0,01026	21,93462	1,0003	1,0003	0,9269	23	3
3166,526	3163,338	0,04023	0,00307	1,03683	0,00446	3165,687	1,28303	8,06647	0,00893	21,62443	1,0003	1,0003	0,9371	24	4
3164,848	3161,681	0,04103	0,00479	1,05753	0,00388	3161,22	1,28304	8,06604	0,00775	21,19019	1,0003	1,0003	0,9461	25	5
3157,592	3154,452	0,04201	0,00690	1,08280	0,00336	3151,456	1,28310	8,06457	0,00671	20,64830	1,0004	1,0004	0,9538	26	6
3145,32	3142,214	0,04317	0,00939	1,11265	0,00290	3136,958	1,28320	8,06215	0,00580	20,01658	1,0004	1,0004	0,9605	27	7
3128,596	3125,531	0,04450	0,01225	1,14704	0,00250	3118,287	1,28333	8,05887	0,00500	19,31332	1,0004	1,0004	0,9663	28	8
3107,978	3104,959	0,04601	0,01550	1,18597	0,00215	3095,99	1,28349	8,05481	0,00430	18,55643	1,0004	1,0004	0,9713	29	9
3084,003	3081,035	0,04770	0,01912	1,22942	0,00185	3070,591	1,28369	8,05005	0,00369	17,76274	1,0004	1,0004	0,9756	30	10
3057,18	3054,267	0,04956	0,02311	1,27737	0,00158	3042,584	1,28390	8,04464	0,00316	16,94752	1,0004	1,0004	0,9793	31	11
3027,988	3025,133	0,05159	0,02748	1,32978	0,00135	3012,426	1,28414	8,03867	0,00270	16,12421	1,0004	1,0004	0,9825	32	12
2996,864	2994,071	0,05380	0,03222	1,38665	0,00115	2980,535	1,28441	8,03219	0,00231	15,30419	1,0004	1,0004	0,9852	33	13
2964,207	2961,478	0,05618	0,03733	1,44794	0,00098	2947,291	1,28469	8,02526	0,00196	14,49686	1,0004	1,0004	0,9875	34	14
2930,375	2927,711	0,05873	0,04280	1,51362	0,00083	2913,03	1,28498	8,01794	0,00167	13,70969	1,0004	1,0004	0,9895	35	15
2895,685	2893,087	0,06144	0,04864	1,58366	0,00071	2878,05	1,28530	8,01026	0,00142	12,94839	1,0004	1,0004	0,9911	36	16
2860,414	2857,883	0,06433	0,05484	1,65803	0,00060	2842,609	1,28562	8,00228	0,00120	12,21713	1,0004	1,0004	0,9925	37	17
2824,804	2822,341	0,06738	0,06139	1,73669	0,00051	2806,933	1,28596	7,99403	0,00101	11,51873	1,0004	1,0004	0,9937	38	18
2789,062	2786,666	0,07060	0,06830	1,81960	0,00043	2771,212	1,28630	7,98556	0,00086	10,85490	1,0004	1,0004	0,9948	39	19
2753,363	2751,034	0,07398	0,07556	1,90673	0,00036	2735,609	1,28666	7,97690	0,00072	10,22643	1,0004	1,0004	0,9956	40	20
2717,856	2715,594	0,07752	0,08317	1,99803	0,00030	2700,26	1,287023	7,96808	0,00061	9,63341	1,0004	1,0004	0,9963	41	21

Продолжение таблицы А8

2682,664	2680,469	0,08122	0,09112	2,09346	0,00025	2665,276	1,287393	7,95912	0,00051	9,07534	1,0004	1,0004	0,9969	42	22
2647,888	2645,76	0,08509	0,09941	2,19298	0,00021	2630,75	1,287767	7,95006	0,00043	8,55133	1,0004	1,0004	0,9975	43	23
2613,612	2611,548	0,08910	0,10804	2,29653	0,00018	2596,756	1,288147	7,94091	0,00036	8,06015	1,0004	1,0004	0,9979	44	24
2579,9	2577,901	0,09328	0,11701	2,40407	0,00015	2563,352	1,28853	7,93170	0,00030	7,60039	1,0004	1,0004	0,9982	45	25
2546,805	2544,868	0,09760	0,12630	2,51555	0,00012	2530,584	1,288916	7,92243	0,00025	7,17050	1,0004	1,0004	0,9985	46	26
2514,364	2512,49	0,10208	0,13591	2,63092	0,00010	2498,486	1,289304	7,91314	0,00021	6,76884	1,0004	1,0004	0,9988	47	27
2482,608	2480,795	0,10670	0,14584	2,75012	0,00009	2467,083	1,289694	7,90383	0,00017	6,39378	1,0004	1,0004	0,999	48	28

Таблица А9 - Результаты теплового расчета двигателя ВА3-341 при $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выдели- вшегося на участке тепла	Сред- няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кэффи- циент мо- леку- лярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Теку- щий угол ПКВ
779,9345	779,9345	0,0885	0,0994	2,193	0,0165	847,6879			0,032917	2,44058	1	1	0	0	-23
915,4413	915,4109	0,0844	0,0911	2,0935	0,0239	989,2016	1,34827	6,74271	0,047787	3,00007	0,99959	0,99979	0,032917	1	-22
1062,962	1062,834	0,0806	0,0832	1,998	0,0268	1138,949	1,33519	6,96683	0,053661	3,64774	0,99899	0,99929	0,080704	2	-21
1214,936	1214,656	0,0769	0,0756	1,9067	0,0282	1291,203	1,32494	7,15508	0,056305	4,36565	0,99832	0,99865	0,134365	3	-20
1367,469	1367,01	0,0734	0,0683	1,8196	0,0285	1442,843	1,31698	7,30947	0,057047	5,14493	0,99761	0,99796	0,19067	4	-19
1518,217	1517,57	0,0701	0,0614	1,7367	0,0283	1591,924	1,31076	7,43584	0,056525	5,98001	0,9969	0,99725	0,247717	5	-18
1665,632	1664,798	0,0669	0,0548	1,658	0,0276	1737,135	1,30582	7,53978	0,055125	6,86649	0,99619	0,99654	0,304242	6	-17
1808,638	1807,627	0,0639	0,0486	1,5837	0,0266	1877,551	1,30185	7,62588	0,05311	7,80022	0,9955	0,99584	0,359366	7	-16
1946,465	1945,287	0,0611	0,0428	1,5136	0,0253	2012,507	1,29861	7,69775	0,050671	8,7767	0,99483	0,99516	0,412476	8	-15
2078,55	2077,216	0,0584	0,0373	1,4479	0,024	2141,511	1,29594	7,75819	0,047954	9,79066	0,9942	0,99451	0,463147	9	-14
2204,473	2202,997	0,0559	0,0322	1,3867	0,0225	2264,197	1,29371	7,80935	0,045068	10,8357	0,9936	0,9939	0,511101	10	-13
2323,92	2322,311	0,0536	0,0275	1,3298	0,021	2380,281	1,29185	7,8529	0,0421	11,9041	0,99303	0,99331	0,556169	11	-12
2436,642	2434,913	0,0515	0,0231	1,2774	0,0196	2489,542	1,29027	7,89016	0,039116	12,9863	0,9925	0,99277	0,598268	12	-11
2542,442	2540,603	0,0496	0,0191	1,2294	0,0181	2591,797	1,28893	7,92215	0,036169	14,0712	0,99201	0,99226	0,637385	13	-10
2641,153	2639,214	0,0478	0,0155	1,186	0,0166	2686,892	1,28778	7,94969	0,033298	15,1457	0,99156	0,99179	0,673554	14	-9
2732,63	2730,602	0,0463	0,0123	1,147	0,0153	2774,689	1,2868	7,97342	0,030531	16,1948	0,99114	0,99135	0,706851	15	-8
2816,747	2814,637	0,0449	0,0094	1,1126	0,0139	2855,068	1,28596	7,99387	0,02789	17,2023	0,99076	0,99095	0,737382	16	-7
2893,39	2891,209	0,0437	0,0069	1,0828	0,0127	2927,93	1,28525	8,01145	0,02539	18,1506	0,99041	0,99059	0,765272	17	-6
2962,469	2960,226	0,0427	0,0048	1,0575	0,0115	2993,193	1,28464	8,02651	0,023038	19,0217	0,99009	0,99025	0,790662	18	-5

Продолжение таблицы А9

3023,917	3021,62	0,0418	0,0031	1,0368	0,0104	3050,81	1,28412	8,03931	0,020841	19,7977	0,9898	0,98995	0,8137	19	-4
3077,703	3075,36	0,0412	0,0017	1,0207	0,0094	3100,771	1,28368	8,05008	0,0188	20,4621	0,98954	0,98967	0,834542	20	-3
3123,839	3121,459	0,0407	0,0008	1,0092	0,0085	3143,114	1,28333	8,05902	0,016912	21,0004	0,98931	0,98943	0,853341	21	-2
3162,39	3159,982	0,0404	0,0002	1,0023	0,0076	3177,936	1,28303	8,06628	0,015174	21,4013	0,9891	0,9892	0,870253	22	-1
3193,482	3191,054	0,0403	0	1	0,0068	3205,395	1,28281	8,07199	0,013581	21,6571	0,98891	0,989	0,885427	23	0
3217,308	3214,867	0,0404	0,0002	1,0023	0,0061	3225,718	1,28263	8,07628	0,012127	21,7646	0,98874	0,98882	0,899009	24	1
3234,128	3231,682	0,0407	0,0008	1,0092	0,0054	3239,198	1,28252	8,07925	0,010803	21,7251	0,98858	0,98866	0,911135	25	2
3244,267	3241,823	0,0412	0,0017	1,0207	0,0048	3246,189	1,28245	8,081	0,009603	21,5444	0,98845	0,98852	0,921939	26	3
3248,11	3245,675	0,0418	0,0031	1,0368	0,0043	3247,102	1,28242	8,08162	0,008519	21,2322	0,98833	0,98839	0,931542	27	4
3246,094	3243,673	0,0427	0,0048	1,0575	0,0038	3242,394	1,28244	8,08119	0,007541	20,8014	0,98822	0,98827	0,940061	28	5
3238,694	3236,293	0,0437	0,0069	1,0828	0,0033	3232,553	1,28249	8,0798	0,006663	20,2675	0,98813	0,98817	0,947602	29	6
3226,412	3224,036	0,0449	0,0094	1,1126	0,0029	3218,087	1,28258	8,07752	0,005876	19,6475	0,98804	0,98808	0,954265	30	7
3209,762	3207,416	0,0463	0,0123	1,147	0,0026	3199,513	1,28271	8,07442	0,005172	18,9586	0,98797	0,98801	0,960141	31	8
3189,263	3186,95	0,0478	0,0155	1,186	0,0023	3177,34	1,28286	8,07058	0,004544	18,218	0,9879	0,98794	0,965313	32	9
3165,418	3163,143	0,0496	0,0191	1,2294	0,002	3152,066	1,28304	8,06606	0,003986	17,4418	0,98785	0,98788	0,969857	33	10
3138,715	3136,479	0,0515	0,0231	1,2774	0,0017	3124,162	1,28325	8,06094	0,00349	16,6447	0,9878	0,98782	0,973843	34	11
3109,61	3107,417	0,0536	0,0275	1,3298	0,0015	3094,071	1,28348	8,05526	0,003051	15,8397	0,98775	0,98778	0,977334	35	12
3078,532	3076,383	0,0559	0,0322	1,3867	0,0013	3062,2	1,28372	8,04909	0,002663	15,0378	0,98772	0,98773	0,980385	36	13
3045,868	3043,765	0,0584	0,0373	1,4479	0,0012	3028,92	1,28399	8,04248	0,002321	14,248	0,98768	0,9877	0,983048	37	14
3011,972	3009,916	0,0611	0,0428	1,5136	0,001	2994,566	1,28427	8,03548	0,002019	13,4778	0,98765	0,98767	0,985368	38	15
2977,159	2975,15	0,0639	0,0486	1,5837	0,0009	2959,432	1,28457	8,02814	0,001754	12,7326	0,98763	0,98764	0,987387	39	16
2941,705	2939,745	0,0669	0,0548	1,658	0,0008	2923,779	1,28488	8,0205	0,001522	12,0164	0,98761	0,98762	0,989142	40	17
2905,854	2903,942	0,0701	0,0614	1,7367	0,0007	2887,834	1,2852	8,01259	0,001318	11,3322	0,98759	0,9876	0,990664	41	18
2869,815	2867,952	0,0734	0,0683	1,8196	0,0006	2851,791	1,28553	8,00447	0,00114	10,6816	0,98757	0,98758	0,991982	42	19
2833,768	2831,953	0,0769	0,0756	1,9067	0,0005	2815,817	1,28587	7,99615	0,000985	10,0654	0,98756	0,98756	0,993122	43	20
2797,866	2796,099	0,0806	0,0832	1,998	0,0004	2780,051	1,28622	7,98767	0,00085	9,48373	0,98754	0,98755	0,994107	44	21
2762,235	2760,517	0,0844	0,0911	2,0935	0,0004	2744,61	1,28657	7,97906	0,000732	8,93612	0,98753	0,98754	0,994957	45	22
2726,984	2725,312	0,0885	0,0994	2,193	0,0003	2709,591	1,28693	7,97033	0,00063	8,42173	0,98752	0,98753	0,99569	46	23
2692,198	2690,573	0,0926	0,108	2,2965	0,0003	2675,073	1,28729	7,96152	0,000541	7,9394	0,98752	0,98752	0,99632	47	24
2657,948	2656,368	0,097	0,117	2,4041	0,0002	2641,119	1,28766	7,95263	0,000465	7,48777	0,98751	0,98751	0,996861	48	25
2624,29	2622,755	0,1015	0,1263	2,5156	0,0002	2607,778	1,28803	7,9437	0,000398	7,06535	0,9875	0,98751	0,997326	49	26
2591,267	2589,777	0,1061	0,1359	2,6309	0,0002	2575,089	1,2884	7,93472	0,000341	6,67055	0,9875	0,9875	0,997724	50	27
2558,912	2557,465	0,1109	0,1458	2,7501	0,0001	2543,081	1,28878	7,92573	0,000292	6,30179	0,98749	0,9875	0,998066	51	28
2527,249	2525,845	0,1159	0,1561	2,8731	0,0001	2511,772	1,28915	7,91672	0,000249	5,95746	0,98749	0,98749	0,998357	52	29

Продолжение таблицы А9

2496,295	2494,932	0,121	0,1666	2,9998	0,0001	2481,176	1,28953	7,90772	0,000213	5,63602	0,98749	0,98749	0,998606	53	30
2466,058	2464,736	0,1263	0,1775	3,1301	9E-05	2451,3	1,28991	7,89873	0,000181	5,33593	0,98748	0,98749	0,998819	54	31
2436,543	2435,26	0,1317	0,1887	3,2641	8E-05	2422,146	1,29029	7,88976	0,000154	5,05576	0,98748	0,98748	0,999	55	32

Таблица А10 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ-341 при $n = 3400 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред-няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DХ1-2	Давление	Кэффи- циент моле- кулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
735,774	735,774	0,1036	0,1263	2,5156	0,01475	797,471			0,029503	1,96825	1	1	0	0	-26
859,168	859,156	0,099	0,117	2,4041	0,02175	926,951	1,35405	6,648948	0,043506	2,40423	0,99946	0,999732	0,029503	1	-25
994,733	994,685	0,0946	0,108	2,2965	0,02468	1065,11	1,34047	6,874154	0,049358	2,9119	0,99867	0,999068	0,07301	2	-24
1135,49	1135,39	0,0903	0,0994	2,193	0,02613	1206,66	1,32968	7,06653	0,052259	3,4778	0,99777	0,998223	0,122367	3	-23
1277,83	1277,67	0,0862	0,0911	2,0935	0,0267	1348,71	1,32121	7,226454	0,053402	4,09589	0,99682	0,997299	0,174627	4	-22
1419,59	1419,38	0,0823	0,0832	1,998	0,02668	1489,46	1,31452	7,358826	0,053357	4,7629	0,99585	0,996338	0,228029	5	-21
1559,33	1559,07	0,0785	0,0756	1,9067	0,02623	1627,68	1,30918	7,468777	0,052468	5,47683	0,99488	0,995367	0,281386	6	-20
1696,04	1695,75	0,0749	0,0683	1,8196	0,02548	1762,51	1,30485	7,56068	0,05097	6,23615	0,99393	0,994405	0,333854	7	-19
1828,99	1828,67	0,0715	0,0614	1,7367	0,02452	1893,32	1,30129	7,638046	0,049034	7,03938	0,993	0,993464	0,384824	8	-18
1957,65	1957,31	0,0683	0,0548	1,658	0,0234	2019,63	1,29835	7,703634	0,046792	7,88478	0,99211	0,992555	0,433858	9	-17
2081,61	2081,25	0,0652	0,0486	1,5837	0,02217	2141,1	1,29588	7,759608	0,044346	8,77009	0,99126	0,991683	0,48065	10	-16
2200,58	2200,2	0,0623	0,0428	1,5136	0,02089	2257,44	1,29379	7,807669	0,041776	9,69224	0,99045	0,990855	0,524996	11	-15
2314,3	2313,92	0,0596	0,0373	1,4479	0,01957	2368,45	1,29201	7,849158	0,039147	10,6471	0,98969	0,990071	0,566772	12	-14
2422,6	2422,2	0,0571	0,0322	1,3867	0,01825	2473,95	1,29048	7,885139	0,036509	11,6293	0,98898	0,989336	0,605919	13	-13
2525,3	2524,89	0,0548	0,0275	1,3298	0,01695	2573,77	1,28917	7,916462	0,033902	12,632	0,98832	0,988647	0,642428	14	-12
2622,25	2621,84	0,0526	0,0231	1,2774	0,01568	2667,78	1,28803	7,943809	0,031356	13,6465	0,9877	0,988007	0,67633	15	-11
2713,31	2712,9	0,0506	0,0191	1,2294	0,01445	2755,82	1,28704	7,967728	0,028896	14,6623	0,98713	0,987414	0,707686	16	-10
2798,33	2797,92	0,0488	0,0155	1,186	0,01327	2837,75	1,28618	7,988664	0,026538	15,6671	0,9866	0,986866	0,736582	17	-9
2877,17	2876,76	0,0472	0,0123	1,147	0,01215	2913,42	1,28543	8,006976	0,024296	16,6467	0,98612	0,986362	0,763121	18	-8
2949,67	2949,26	0,0458	0,0094	1,1126	0,01109	2982,68	1,28478	8,022956	0,022176	17,5856	0,98568	0,985899	0,787416	19	-7
3015,69	3015,28	0,0446	0,0069	1,0828	0,01009	3045,39	1,28422	8,036844	0,020185	18,4668	0,98528	0,985477	0,809593	20	-6
3075,09	3074,67	0,0435	0,0048	1,0575	0,00916	3101,41	1,28373	8,048835	0,018323	19,2731	0,98491	0,985092	0,829778	21	-5
3127,74	3127,33	0,0427	0,0031	1,0368	0,0083	3150,65	1,28332	8,05909	0,016591	19,9874	0,98457	0,984741	0,848101	22	-4

Продолжение таблицы А10

3173,57	3173,15	0,042	0,0017	1,0207	0,00749	3193,04	1,28298	8,067744	0,014987	20,5937	0,98427	0,984424	0,864692	23	-3
3212,52	3212,1	0,0416	0,0008	1,0092	0,00675	3228,56	1,28269	8,074912	0,013506	21,0781	0,984	0,984137	0,879679	24	-2
3244,6	3244,19	0,0413	0,0002	1,0023	0,00607	3257,24	1,28246	8,080691	0,012144	21,4297	0,98375	0,983878	0,893184	25	-1
3269,88	3269,47	0,0412	0	1	0,00545	3279,19	1,28228	8,085168	0,010897	21,6413	0,98353	0,983644	0,905329	26	0
3288,5	3288,09	0,0413	0,0002	1,0023	0,00488	3294,58	1,28215	8,088422	0,009757	21,7099	0,98334	0,983435	0,916225	27	1
3300,66	3300,25	0,0416	0,0008	1,0092	0,00436	3303,65	1,28207	8,090527	0,00872	21,6369	0,98316	0,983247	0,925983	28	2
3306,63	3306,23	0,042	0,0017	1,0207	0,00389	3306,7	1,28203	8,091551	0,007778	21,428	0,983	0,983079	0,934703	29	3
3306,77	3306,36	0,0427	0,0031	1,0368	0,00346	3304,11	1,28203	8,091564	0,006924	21,0927	0,98286	0,982929	0,94248	30	4
3301,44	3301,04	0,0435	0,0048	1,0575	0,00308	3296,27	1,28206	8,09063	0,006154	20,6439	0,98273	0,982795	0,949405	31	5
3291,1	3290,7	0,0446	0,0069	1,0828	0,00273	3283,65	1,28213	8,088815	0,005459	20,0964	0,98262	0,982676	0,955558	32	6
3276,2	3275,8	0,0458	0,0094	1,1126	0,00242	3266,71	1,28224	8,086184	0,004835	19,4667	0,98252	0,982571	0,961018	33	7
3257,23	3256,83	0,0472	0,0123	1,147	0,00214	3245,94	1,28237	8,0828	0,004275	18,7718	0,98243	0,982477	0,965853	34	8
3234,66	3234,27	0,0488	0,0155	1,186	0,00189	3221,82	1,28254	8,078725	0,003774	18,0283	0,98236	0,982394	0,970128	35	9
3208,97	3208,58	0,0506	0,0191	1,2294	0,00166	3194,8	1,28272	8,074019	0,003326	17,2518	0,98229	0,982321	0,973902	36	10
3180,63	3180,24	0,0526	0,0231	1,2774	0,00146	3165,35	1,28294	8,068742	0,002927	16,4565	0,98223	0,982256	0,977228	37	11
3150,07	3149,68	0,0548	0,0275	1,3298	0,00129	3133,88	1,28317	8,062948	0,002572	15,655	0,98217	0,982199	0,980156	38	12
3117,69	3117,3	0,0571	0,0322	1,3867	0,00113	3100,77	1,28342	8,056691	0,002257	14,8579	0,98213	0,982149	0,982728	39	13
3083,86	3083,48	0,0596	0,0373	1,4479	0,00099	3066,39	1,28369	8,05002	0,001978	14,074	0,98209	0,982106	0,984986	40	14
3048,92	3048,54	0,0623	0,0428	1,5136	0,00087	3031,04	1,28397	8,042983	0,001731	13,3102	0,98205	0,982067	0,986963	41	15
3013,17	3012,79	0,0652	0,0486	1,5837	0,00076	2995,01	1,28427	8,035624	0,001512	12,5719	0,98202	0,982033	0,988694	42	16
2976,86	2976,49	0,0683	0,0548	1,658	0,00066	2958,55	1,28458	8,027981	0,00132	11,863	0,98199	0,982004	0,990206	43	17
2940,24	2939,88	0,0715	0,0614	1,7367	0,00058	2921,88	1,2849	8,020093	0,00115	11,1861	0,98197	0,981978	0,991526	44	18
2903,51	2903,14	0,0749	0,0683	1,8196	0,0005	2885,17	1,28523	8,011993	0,001001	10,5427	0,98195	0,981956	0,992676	45	19
2866,82	2866,46	0,0785	0,0756	1,9067	0,00044	2848,58	1,28556	8,003712	0,00087	9,93365	0,98193	0,981936	0,993677	46	20
2830,34	2829,98	0,0823	0,0832	1,998	0,00038	2812,25	1,28591	7,995279	0,000755	9,35891	0,98191	0,981919	0,994547	47	21
2794,17	2793,82	0,0862	0,0911	2,0935	0,00033	2776,29	1,28626	7,986719	0,000655	8,818	0,9819	0,981904	0,995302	48	22
2758,42	2758,07	0,0903	0,0994	2,193	0,00028	2740,79	1,28661	7,978056	0,000567	8,31003	0,98189	0,981891	0,995957	49	23
2723,17	2722,82	0,0946	0,108	2,2965	0,00025	2705,83	1,28697	7,969309	0,000491	7,83383	0,98188	0,98188	0,996525	50	24
2688,48	2688,15	0,099	0,117	2,4041	0,00021	2671,45	1,28734	7,960497	0,000424	7,38801	0,98187	0,981871	0,997016	51	25
2654,42	2654,09	0,1036	0,1263	2,5156	0,00018	2637,72	1,2877	7,951638	0,000366	6,97108	0,98186	0,981862	0,99744	52	26
2621,01	2620,68	0,1083	0,1359	2,6309	0,00016	2604,65	1,28807	7,942747	0,000316	6,58147	0,98185	0,981855	0,997806	53	27
2588,3	2587,97	0,1133	0,1458	2,7501	0,00014	2572,29	1,28844	7,933837	0,000272	6,21758	0,98185	0,981849	0,998121	54	28
2556,29	2555,97	0,1183	0,1561	2,8731	0,00012	2540,65	1,28881	7,92492	0,000234	5,87784	0,98184	0,981844	0,998393	55	29
2525,01	2524,69	0,1235	0,1666	2,9998	0,0001	2509,73	1,28918	7,916007	0,000201	5,56069	0,98184	0,981839	0,998627	56	30

Продолжение таблицы А10

2494,46	2494,15	0,1289	0,1775	3,1301	8,6Е-05	2479,55	1,28956	7,907108	0,000172	5,26463	0,98183	0,981835	0,998828	57	31
2464,64	2464,34	0,1344	0,1887	3,2641	7,4Е-05	2450,1	1,28993	7,898231	0,000148	4,98824	0,98183	0,981832	0,999	58	32

Таблица А11 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ-341 при $n = 4200 \text{ мин}^{-1}$

Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К	Темпе- ратура дейст- витель- ная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля вы- дели- вшегося на участ- ке тепла	Сред-няя на участ- ке тем- пре- ратура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Кoeffи- циент моле- кулярного изменения смеси	m ₁₋₂	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
711,97	711,97	0,1177	0,14584	2,7501	0,012969	763,95			0,025938	1,677049	1	1	0	0	-28
815,94	815,94	0,1126	0,13591	2,6309	0,019429	873,71	1,358	6,58	0,038858	2,008453	0,999424	0,999712	0,025938	1	-27
931,48	931,48	0,1077	0,1263	2,5156	0,022279	992,04	1,346	6,79	0,044557	2,396283	0,99856	0,998992	0,064796	2	-26
1052,60	1052,61	0,1029	0,11701	2,4041	0,023814	1114,38	1,335	6,97	0,047629	2,830833	0,99757	0,998065	0,109353	3	-25
1176,16	1176,19	0,0983	0,10804	2,2965	0,024559	1238,20	1,327	7,12	0,049118	3,307896	0,996511	0,99704	0,156982	4	-24
1300,24	1300,29	0,0939	0,09941	2,193	0,024761	1361,91	1,320	7,26	0,049522	3,825491	0,995419	0,995965	0,206101	5	-23
1423,57	1423,65	0,0896	0,09112	2,0935	0,02457	1484,40	1,314	7,37	0,049139	4,382682	0,994319	0,994869	0,255623	6	-22
1545,23	1545,34	0,0855	0,08317	1,998	0,024086	1604,89	1,309	7,46	0,048171	4,979041	0,993227	0,993773	0,304762	7	-21
1664,55	1664,70	0,0816	0,07556	1,9067	0,023384	1722,79	1,306	7,54	0,046769	5,614321	0,992156	0,992691	0,352934	8	-20
1781,03	1781,22	0,0779	0,0683	1,8196	0,022523	1837,65	1,302	7,61	0,045046	6,288239	0,991117	0,991636	0,399702	9	-19
1894,27	1894,51	0,0744	0,06139	1,7367	0,021546	1949,13	1,300	7,67	0,043093	7,000277	0,990116	0,990616	0,444748	10	-18
2003,98	2004,26	0,071	0,05484	1,658	0,020491	2056,95	1,297	7,73	0,040982	7,749495	0,989158	0,989637	0,487841	11	-17
2109,92	2110,23	0,0678	0,04864	1,5837	0,019386	2160,89	1,295	7,77	0,038772	8,534344	0,988247	0,988702	0,528822	12	-16
2211,87	2212,23	0,0648	0,0428	1,5136	0,018256	2260,77	1,294	7,81	0,036511	9,352458	0,987385	0,987816	0,567595	13	-15
2309,67	2310,07	0,062	0,03733	1,4479	0,017119	2356,41	1,292	7,85	0,034238	10,20045	0,986574	0,98698	0,604106	14	-14
2403,15	2403,59	0,0594	0,03222	1,3867	0,015991	2447,66	1,291	7,88	0,031982	11,07368	0,985813	0,986193	0,638343	15	-13
2492,16	2492,64	0,0569	0,02748	1,3298	0,014884	2534,34	1,290	7,91	0,029769	11,96609	0,985102	0,985458	0,670325	16	-12
2576,53	2577,05	0,0547	0,02311	1,2774	0,013809	2616,31	1,289	7,93	0,027617	12,87	0,984441	0,984771	0,700094	17	-11
2656,09	2656,65	0,0526	0,01912	1,2294	0,012771	2693,38	1,288	7,95	0,025543	13,77601	0,983827	0,984134	0,727711	18	-10
2730,67	2731,26	0,0508	0,0155	1,186	0,011778	2765,38	1,287	7,97	0,023556	14,67297	0,983259	0,983543	0,753254	19	-9
2800,08	2800,70	0,0491	0,01225	1,147	0,010832	2832,10	1,286	7,99	0,021665	15,54805	0,982736	0,982997	0,77681	20	-8
2864,12	2864,77	0,0476	0,00939	1,1126	0,009937	2893,36	1,286	8,00	0,019874	16,38697	0,982254	0,982495	0,798475	21	-7
2922,60	2923,27	0,0464	0,0069	1,0828	0,009093	2948,97	1,285	8,02	0,018186	17,17441	0,981812	0,982033	0,818349	22	-6
2975,33	2976,03	0,0453	0,00479	1,0575	0,008302	2998,74	1,285	8,03	0,016603	17,89452	0,981408	0,98161	0,836535	23	-5

Продолжение таблицы А11

3022,15	3022,86	0,0444	0,00307	1,0368	0,007562	3042,53	1,284	8,04	0,015124	18,53167	0,981039	0,981224	0,853139	24	-4
3062,91	3063,65	0,0437	0,00173	1,0207	0,006874	3080,22	1,284	8,05	0,013748	19,07122	0,980703	0,980871	0,868263	25	-3
3097,53	3098,28	0,0432	0,00077	1,0092	0,006235	3111,75	1,284	8,05	0,012471	19,50042	0,980398	0,98055	0,882011	26	-2
3125,97	3126,73	0,0429	0,00019	1,0023	0,005645	3137,10	1,283	8,06	0,01129	19,80922	0,98012	0,980259	0,894482	27	-1
3148,23	3149,00	0,0428	0	1	0,005101	3156,33	1,283	8,06	0,010202	19,99091	0,979869	0,979995	0,905772	28	0
3164,42	3165,20	0,0429	0,00019	1,0023	0,004601	3169,56	1,283	8,07	0,009202	20,04267	0,979643	0,979756	0,915974	29	1
3174,70	3175,47	0,0432	0,00077	1,0092	0,004142	3176,99	1,283	8,07	0,008285	19,96567	0,979438	0,97954	0,925176	30	2
3179,28	3180,05	0,0437	0,00173	1,0207	0,003723	3178,87	1,283	8,07	0,007446	19,76506	0,979254	0,979346	0,93346	31	3
3178,46	3179,23	0,0444	0,00307	1,0368	0,003341	3175,52	1,283	8,07	0,006681	19,44949	0,979089	0,979171	0,940906	32	4
3172,58	3173,35	0,0453	0,00479	1,0575	0,002993	3167,31	1,283	8,07	0,005985	19,03053	0,97894	0,979014	0,947588	33	5
3162,04	3162,80	0,0464	0,0069	1,0828	0,002677	3154,65	1,283	8,07	0,005353	18,52185	0,978807	0,978874	0,953573	34	6
3147,26	3148,00	0,0476	0,00939	1,1126	0,00239	3137,96	1,283	8,06	0,004781	17,93845	0,978688	0,978748	0,958926	35	7
3128,67	3129,40	0,0491	0,01225	1,147	0,002132	3117,70	1,283	8,06	0,004263	17,29573	0,978582	0,978635	0,963707	36	8
3106,72	3107,44	0,0508	0,0155	1,186	0,001898	3094,29	1,284	8,05	0,003796	16,60887	0,978487	0,978534	0,96797	37	9
3081,85	3082,56	0,0526	0,01912	1,2294	0,001688	3068,17	1,284	8,05	0,003375	15,89215	0,978403	0,978445	0,971766	38	10
3054,49	3055,18	0,0547	0,02311	1,2774	0,001498	3039,77	1,284	8,04	0,002997	15,15858	0,978328	0,978365	0,975141	39	11
3025,05	3025,72	0,0569	0,02748	1,3298	0,001329	3009,47	1,284	8,04	0,002657	14,41958	0,978261	0,978294	0,978138	40	12
2993,89	2994,54	0,0594	0,03222	1,3867	0,001176	2977,63	1,284	8,03	0,002353	13,68487	0,978202	0,978232	0,980795	41	13
2961,38	2962,01	0,062	0,03733	1,4479	0,00104	2944,59	1,285	8,02	0,002081	12,96249	0,97815	0,978176	0,983148	42	14
2927,81	2928,42	0,0648	0,0428	1,5136	0,000919	2910,64	1,285	8,02	0,001838	12,2588	0,978104	0,978127	0,985229	43	15
2893,48	2894,07	0,0678	0,04864	1,5837	0,000811	2876,05	1,285	8,01	0,001621	11,57867	0,978063	0,978083	0,987067	44	16
2858,63	2859,20	0,071	0,05484	1,658	0,000714	2841,06	1,286	8,00	0,001428	10,92566	0,978027	0,978045	0,988688	45	17
2823,48	2824,03	0,0744	0,06139	1,7367	0,000628	2805,85	1,286	7,99	0,001257	10,30215	0,977995	0,978011	0,990116	46	18
2788,22	2788,75	0,0779	0,0683	1,8196	0,000552	2770,62	1,286	7,99	0,001105	9,709575	0,977967	0,977981	0,991373	47	19
2753,01	2753,52	0,0816	0,07556	1,9067	0,000485	2735,50	1,287	7,98	0,00097	9,148595	0,977942	0,977955	0,992478	48	20
2717,99	2718,48	0,0855	0,08317	1,998	0,000425	2700,63	1,287	7,97	0,00085	8,61923	0,977921	0,977932	0,993448	49	21
2683,27	2683,74	0,0896	0,09112	2,0935	0,000372	2666,10	1,287	7,96	0,000745	8,121022	0,977902	0,977911	0,994298	50	22
2648,94	2649,40	0,0939	0,09941	2,193	0,000326	2632,02	1,288	7,95	0,000652	7,653148	0,977885	0,977894	0,995043	51	23
2615,09	2615,53	0,0983	0,10804	2,2965	0,000285	2598,43	1,288	7,94	0,00057	7,214521	0,977871	0,977878	0,995695	52	24
2581,78	2582,20	0,1029	0,11701	2,4041	0,000249	2565,42	1,289	7,93	0,000497	6,803875	0,977858	0,977865	0,996264	53	25
2549,05	2549,46	0,1077	0,1263	2,5156	0,000217	2533,01	1,289	7,92	0,000434	6,419828	0,977847	0,977853	0,996762	54	26
2516,96	2517,34	0,1126	0,13591	2,6309	0,000189	2501,24	1,289	7,91	0,000378	6,060935	0,977838	0,977842	0,997195	55	27
2485,52	2485,89	0,1177	0,14584	2,7501	0,000164	2470,13	1,290	7,90	0,000329	5,72573	0,977829	0,977833	0,997573	56	28
2454,75	2455,10	0,123	0,15609	2,8731	0,000143	2439,71	1,290	7,90	0,000286	5,412757	0,977822	0,977826	0,997902	57	29

Продолжение таблицы А11

2424,68	2425,01	0,1284	0,16665	2,9998	0,000124	2409,99	1,290	7,89	0,000248	5,120588	0,977816	0,977819	0,998188	58	30
2395,30	2395,62	0,134	0,17751	3,1301	0,000108	2380,96	1,291	7,88	0,000215	4,847847	0,97781	0,977813	0,998436	59	31
2366,62	2366,93	0,1397	0,18867	3,2641	9,34E-05	2352,64	1,291	7,87	0,000187	4,593214	0,977805	0,977808	0,998652	60	32
2338,65	2338,94	0,1456	0,20013	3,4015	8,09E-05	2325,011	1,292	7,86	0,000162	4,355435	0,977801	0,977803	0,998838	61	33
2311,37	2311,65	0,1517	0,21187	3,5425	7E-05	2298,08	1,292	7,85	0,00014	4,133326	0,977797	0,977799	0,999	62	34

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Таблица Б1 – Параметры динамического расчета

Суммарные силы в КШМ, Н	Угол бета в, рад	Опрокидывающая сила, Н	Сила действующая вдоль оси шатуна, Н	Сила изгибающая шейку кривошипа, Н	Тангенциальная сила на оси кривошипа, Н	Крутящий момент 1-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 2-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 4-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 3-го цилиндра, Н*м	Индикаторное давление, МПа	Сила давления газов, Н	Pj2, Н	Сила инерции, Н	Суммарная сила, Н
-4911,29	0	0	-4911,3	-4911,29	0	0	1E-14	4,1E-14	-4E-13	0,10679	31,2022	-1514,68	-4942,49	-4911,29
-4832,32	0,05	-241,9	-4838,4	-4716,906	-1077,32	-40,94	-12,73	-13,536	191,28	0,09679	-14,7578	-1423,33	-4817,56	-4832,32
-4513,3	0,0986	-446,6	-4535,3	-4088,382	-1963,26	-74,6	-25,75	-26,415	188,52	0,08679	-60,7178	-1160,31	-4452,58	-4513,3
-3945,85	0,1444	-573,9	-3987,4	-3130,237	-2469,97	-93,86	-38,97	-39,831	451,92	0,08479	-69,9098	-757,341	-3875,94	-3945,85
-3215,39	0,1861	-605,4	-3271,9	-2073,958	-2530,61	-96,16	-51,67	-52,651	328,86	0,08179	-83,6978	-263,022	-3131,69	-3215,39
-2372,47	0,2224	-536,4	-2432,3	-1114,085	-2162,21	-82,16	-62,52	-63,446	246,03	0,07879	-97,4858	263,022	-2274,98	-2372,47
-1477,73	0,252	-380,4	-1525,9	-409,4059	-1469,96	-55,86	-70,28	-70,113	199,05	0,07579	-111,274	757,341	-1366,45	-1477,73
-591,312	0,2739	-166,2	-614,21	-46,10565	-612,48	-23,27	-72,43	-70,206	176,23	0,07279	-125,062	1160,31	-466,251	-591,312
237,502	0,2874	70,214	247,663	-27,90538	246,086	9,3513	-67,19	-61,571	166,25	0,07079	-134,254	1423,33	371,756	237,502
970,539	0,292	291,75	1013,44	-291,7481	970,539	36,88	-54,03	-43,168	160,31	0,07079	-134,254	1514,68	1104,79	970,539
1615,3	0,2874	477,54	1684,41	-750,7762	1507,83	57,298	-34,55	-15,866	152,73	0,08057	-89,2791	1423,33	1704,57	1615,3
2069,61	0,2739	581,55	2149,77	-1254,326	1745,9	66,344	-12,93	17,1237	140,87	0,08057	-89,2791	1160,31	2158,89	2069,61
2381,97	0,252	613,21	2459,63	-1722,041	1756,24	66,737	4,0309	50,4729	124,47	0,08057	-89,2791	757,341	2471,25	2381,97
2569,39	0,2224	580,92	2634,25	-2096,587	1594,86	60,605	7,6704	77,7071	104,67	0,08057	-89,2791	263,022	2658,67	2569,39
2663,32	0,1861	501,49	2710,12	-2362,576	1327,78	50,456	-11,25	92,727	83,126	0,08157	-84,6831	-263,022	2748	2663,32
2691,06	0,1444	391,43	2719,38	-2526,241	1006,55	38,249	-1107	91,4538	56,162	0,08257	-80,0871	-757,341	2771,15	2691,06
2684,45	0,0986	265,6	2697,55	-2613,396	668,551	25,405	-1368	73,0844	32,939	0,08357	-75,4911	-1160,31	2759,94	2684,45
2674,93	0,05	133,89	2678,28	-2657,543	332,645	12,641	-653,7	40,5487	16,142	0,08557	-66,2991	-1423,33	2741,23	2674,93
2675,8	4E-17	9E-14	2675,8	-2675,8	3,3E-13	1E-14	-4E-13	9,1E-14	4E-14	0,08757	-57,1071	-1514,68	2732,91	2675,8
2693,32	-0,05	-134,8	2696,69	-2675,808	-334,931	-12,73	191,28	-40,938	-13,536	0,08957	-47,9151	-1423,33	2741,23	2693,32
2721,22	-0,099	-269,2	2734,5	-2649,191	-677,707	-25,75	188,52	-74,604	-26,415	0,09157	-38,7231	-1160,31	2759,94	2721,22
2741,62	-0,144	-398,8	2770,47	-2573,701	-1025,46	-38,97	451,92	-93,859	-39,831	0,09357	-29,5311	-757,341	2771,15	2741,62
2727,66	-0,186	-513,6	2775,6	-2419,655	-1359,86	-51,67	328,86	-96,163	-52,651	0,09557	-20,3391	-263,022	2748	2727,66
2650,73	-0,222	-599,3	2717,63	-2162,957	-1645,34	-62,52	246,03	-82,164	-63,446	0,09827	-7,94254	263,022	2658,67	2650,73
2508,6	-0,252	-645,8	2590,39	-1813,589	-1849,6	-70,28	199,05	-55,859	-70,113	0,10813	37,3523	314,92	2471,25	2508,6
2259,41	-0,274	-634,9	2346,91	-1369,357	-1906,01	-72,43	176,23	-23,274	-70,206	0,12187	100,518	366,435	2158,89	2259,41
1894,04	-0,287	-559,9	1975,07	-880,3322	-1768,03	-67,19	166,25	9,35128	-61,571	0,14122	189,461	417,503	1704,57	1894,04
1421,94	-0,292	-427,4	1484,8	-427,4412	-1421,94	-54,03	160,31	36,8805	-43,168	0,16901	317,147	468,062	1104,79	1421,94
877,466	-0,287	-259,4	915,008	-103,0982	-909,181	-34,55	152,73	57,2976	-15,866	0,21003	505,71	518,051	371,756	877,466

Продолжение таблицы Б1

328,569	-0,274	-92,33	341,294	25,619107	-340,331	-12,93	140,87	66,3441	17,124	0,27294	794,82	567,41	-466,251	328,569
-106,637	-0,252	27,453	-110,11	-29,54391	106,077	4,0309	124,47	66,737	50,473	0,37411	1259,82	616,076	-1366,45	-106,637
-221,481	-0,222	50,076	-227,07	-104,0051	201,852	7,6704	104,67	60,6046	77,707	0,5468	2053,5	663,993	-2274,98	-221,481
376,046	-0,186	-70,81	382,654	242,55309	-295,96	-11,25	83,126	50,4557	92,727	0,86322	3507,74	711,1	-3131,69	376,046
46559,1	-0,144	-6772	47049	36935,251	-29144,5	-1107	56,162	38,2488	91,454	11,0737	50435	757,341	-3875,94	46559,1
82739,1	-0,099	-8186	83143,1	74949,485	-35991,1	-1368	32,939	25,4049	73,084	19,0712	87191,7	802,659	-4452,58	82739,1
77167,9	-0,05	-3862	77264,5	75324,886	-17203,8	-653,7	16,142	12,6405	40,549	17,9384	81985,5	846,999	-4817,56	77167,9
44812,2	-7E-17	-3E-12	44812,2	44812,222	-1,1E-11	-4E-13	4E-14	1,2E-14	9E-14	10,9257	49754,7	890,307	-4942,49	44812,2
22578,9	0,05	1130,1	22607,2	22039,627	5033,74	191,28	-13,54	-12,727	-40,938	6,06093	27396,5	932,531	-4817,56	22578,9
11404,9	0,0986	1128,4	11460,6	10331,157	4961,07	188,52	-26,41	-25,753	-74,604	3,55028	15857,5	973,618	-4452,58	11404,9
18998,9	0,1444	2763,5	19198,9	15071,821	11892,7	451,92	-39,83	-38,967	-93,859	5,07713	22874,9	1013,52	-3875,94	18998,9
10996,1	0,1861	2070,5	11189,3	7092,5692	8654,25	328,86	-52,65	-51,675	-96,163	3,17393	14127,8	1052,19	-3131,69	10996,1
7104,11	0,2224	1606,2	7283,42	3336,014	6474,51	246,03	-63,45	-62,523	-82,164	2,14071	9379,09	1089,57	-2274,98	7104,11
5265,81	0,252	1355,6	5437,51	1458,898	5238,14	199,05	-70,11	-70,285	-55,859	1,54305	6632,26	1125,63	-1366,45	5265,81
4477,22	0,2739	1258,1	4650,62	349,09701	4637,5	176,23	-70,21	-72,428	-23,274	1,1756	4943,48	1160,31	-466,251	4477,22
4222,39	0,2874	1248,3	4403,04	-496,1113	4375	166,25	-61,57	-67,185	9,3513	0,93782	3850,63	1193,59	371,756	4222,39
4218,62	0,292	1268,1	4405,1	-1268,135	4218,62	160,31	-43,17	-54,034	36,88	0,77751	3113,83	1225,4	1104,79	4218,62
4305,59	0,2874	1272,9	4489,81	-2001,204	4019,15	152,73	-15,87	-34,549	57,298	0,66593	2601,02	1255,73	1704,57	4305,59
4394,54	0,2739	1234,8	4564,74	-2663,394	3707,18	140,87	17,124	-12,933	66,344	0,58643	2235,65	1284,52	2158,89	4394,54
4442,59	0,252	1143,7	4587,45	-3211,769	3275,55	124,47	50,473	4,03092	66,737	0,52893	1971,35	1311,75	2471,25	4442,59
4437,66	0,2224	1003,3	4549,67	-3621,067	2754,52	104,67	77,707	7,67039	60,605	0,48707	1778,99	1337,38	2658,67	4437,66
4387,81	0,1861	826,21	4464,91	-3892,331	2187,51	83,126	92,727	-11,246	50,456	0,45679	1639,8	1361,39	2748	4387,81
3951,35	0,1444	574,74	3992,93	-3709,341	1477,94	56,162	91,454	-1107,5	38,249	0,35679	1180,2	1383,73	2771,15	3951,35
3480,54	0,0986	344,37	3497,53	-3388,419	866,814	32,939	73,084	-1367,7	25,405	0,25679	720,602	1404,39	2759,94	3480,54
3415,87	0,05	170,97	3420,15	-3393,668	424,786	16,142	40,549	-653,75	12,641	0,24679	674,642	1423,33	2741,23	3415,87
2947,95	1E-16	3E-13	2947,95	-2947,95	1,1E-12	4E-14	9E-14	-4E-13	1E-14	0,14679	215,042	1440,55	2732,91	2947,95
2864,35	-0,05	-143,4	2867,94	-2845,733	-356,201	-13,54	-40,94	191,282	-12,727	0,12679	123,122	1456	2741,23	2864,35
2791,14	-0,099	-276,2	2804,77	-2717,266	-695,122	-26,41	-74,6	188,52	-25,753	0,10679	31,2022	1469,69	2759,94	2791,14
2802,35	-0,144	-407,6	2831,84	-2630,714	-1048,17	-39,83	-93,86	451,923	-38,967	0,10679	31,2022	1481,58	2771,15	2802,35
2779,21	-0,186	-523,3	2828,05	-2465,376	-1385,56	-52,65	-96,16	328,861	-51,675	0,10679	31,2022	1491,67	2748	2779,21
2689,87	-0,222	-608,2	2757,77	-2194,898	-1669,64	-63,45	-82,16	246,031	-62,523	0,10679	31,2022	1499,94	2658,67	2689,87
2502,45	-0,252	-644,2	2584,04	-1809,142	-1845,07	-70,11	-55,86	199,049	-70,285	0,10679	31,2022	1506,38	2471,25	2502,45
2190,09	-0,274	-615,4	2274,91	-1327,346	-1847,53	-70,21	-23,27	176,225	-72,428	0,10679	31,2022	1510,99	2158,89	2190,09
1735,78	-0,287	-513,2	1810,04	-806,7749	-1620,3	-61,57	9,3513	166,25	-67,185	0,10679	31,2022	1513,76	1704,57	1735,78
1135,99	-0,292	-341,5	1186,21	-341,4849	-1135,99	-43,17	36,88	160,308	-54,034	0,10679	31,2022	1514,68	1104,79	1135,99
402,958	-0,287	-119,1	420,198	-47,34571	-417,522	-15,87	57,298	152,728	-34,549	0,10679	31,2022	1513,76	371,756	402,958

Продолжение таблицы Б1

-435,048	-0,274	122,25	-451,9	-33,92148	450,622	17,124	66,344	140,873	-12,933	0,10679	31,2022	1510,99	-466,251	-435,048
-1335,25	-0,252	343,75	-1378,8	-369,9327	1328,23	50,473	66,737	124,471	4,0309	0,10679	31,2022	1506,38	-1366,45	-1335,25
-2243,78	-0,222	507,31	-2300,4	-1053,655	2044,92	77,707	60,605	104,672	7,6704	0,10679	31,2022	1499,94	-2274,98	-2243,78
-3100,49	-0,186	583,81	-3155	-1999,847	2440,18	92,727	50,456	83,1255	-11,246	0,10679	31,2022	1491,67	-3131,69	-3100,49
-3844,74	-0,144	559,23	-3885,2	-3050,025	2406,68	91,454	38,249	56,1616	-1107,5	0,10679	31,2022	1481,58	-3875,94	-3844,74
-4421,38	-0,099	437,46	-4443	-4005,116	1923,27	73,084	25,405	32,9389	-1367,7	0,10679	31,2022	1469,69	-4452,58	-4421,38
-4786,36	-0,05	239,57	-4792,4	-4672,043	1067,07	40,549	12,641	16,1419	-653,75	0,10679	31,2022	1456	-4817,56	-4786,36
-4911,29	-1E-16	7E-13	-4911,3	-4911,29	2,4E-12	9E-14	1E-14	4,1E-14	-4E-13	0,10679	31,2022	1440,55	-4942,49	-4911,29
-4911,29	0	0	-4911,3	-4911,29	0	0	1E-14	4,1E-14	-4E-13	0,10679	31,2022	1423,33	-4942,49	-4911,29

Таблица Б2 - Нагрузки на коренные и шатунные шейки

1-я коренная шейка	Первый кривошип				Вторая коренная шейка			Второй кривошип			Третья коренная шейка			Третий кривошип					
Рк.ш1, Н	Ф _{кв} , град	Рк1, Н	Т1, Н	Крк1, Н	Тк2, Н	Кк2, Н	Рк.ш2, Н	Ф _{кв} , град	Т2, Н	Крк2, Н	Тк3, Н	Кк3, Н	Рк.ш3, Н	Ф _{кв} , град	Т3, Н	Крк3, Н	Т1, Н	Ркшпр3	Рк.ш2,4 Н
7279,79	0	14559,58	0	-14559,58	1,6E-13	1117,7	1117,74	180	3,3E-13	-12324,09	7,1E-13	-12460,17	12460,17	540	1,08E-12	-12596,24	0	1260,167182	2235,48953
7202,77	10	14405,54	-1077,32	-14365,2	371,193	1020,5	1085,96	190	-334,93	-12324,1	-345,566	-12409,06	12413,87	550	-356,201	-12494,03	-538,6586	1213,873159	2068,395609
6938,13	20	13876,26	-1963,26	-13736,67	642,775	719,6	964,872	200	-677,71	-12297,48	-686,415	-12331,52	12350,61	560	-695,122	-12365,56	-981,6291	1150,609992	1590,772327
6507,53	30	13015,05	-2469,97	-12778,53	722,258	278,27	774,009	210	-1025,5	-12221,99	-1036,81	-12250,5	12294,3	570	-1048,17	-12279,01	-1234,986	1094,296575	1166,744541
5996,15	40	11992,3	-2530,61	-11722,25	585,377	-172,85	610,362	220	-1359,9	-12067,95	-1372,71	-12090,81	12168,48	580	-1385,56	-12113,67	-1265,307	968,4818228	1403,113004
5488,71	50	10977,43	-2162,21	-10762,38	258,431	-524,44	584,654	230	-1645,3	-11811,25	-1657,49	-11827,22	11942,8	590	-1669,64	-11843,19	-1081,103	742,797547	1951,227513
5082,28	60	10164,55	-1469,96	-10057,7	-189,821	-702,09	727,299	240	-1849,6	-11461,88	-1847,34	-11459,66	11607,6	600	-1845,07	-11457,43	-734,9811	407,6013977	2322,232594
4856,86	70	9713,727	-612,48	-9694,398	-646,764	-661,63	925,23	250	-1906	-11017,65	-1876,77	-10996,64	11155,65	610	-1847,53	-10975,64	-306,2402	-44,35389	2320,314073
4839,66	80	9679,326	246,0862	-9676,198	-1007,06	-426,21	1093,54	260	-1768	-10528,62	-1694,16	-10491,85	10627,75	620	-1620,3	-10455,07	123,0431	-572,252581	1962,792325
4993,65	90	9987,309	970,5386	-9940,04	-1196,24	-67,847	1198,16	270	-1421,9	-10075,73	-1278,97	-10032,76	10113,95	630	-1135,99	-9989,777	485,26928	-1086,05246	1428,399441
5253,91	100	10507,82	1507,832	-10399,07	-1208,51	323,84	1251,14	280	-909,18	-9751,39	-663,352	-9723,514	9746,115	640	-417,522	-9695,638	753,91608	-1453,88471	1116,286941
5520,76	110	11041,52	1745,897	-10902,62	-1043,11	639,97	1223,79	290	-340,33	-9622,673	55,1455	-9652,443	9652,601	650	450,6224	-9682,214	872,94857	-1547,39906	1324,419171
5752,58	120	11505,17	1756,238	-11370,33	-825,081	846,25	1181,9	300	106,077	-9677,836	717,156	-9848,031	9874,108	660	1328,235	-10018,22	878,11895	-1325,89152	1695,817649
5926,33	130	11852,67	1594,857	-11744,88	-696,502	996,29	1215,61	310	201,852	-9752,297	1123,39	-10227,12	10288,64	670	2044,924	-10701,95	797,4286	-911,364243	2002,780235
6042,02	140	12084,04	1327,782	-12010,87	-811,871	1302,6	1534,86	320	-295,96	-9405,739	1072,11	-10526,94	10581,39	680	2440,184	-11648,14	663,89104	-618,607342	2621,886947
6108,04	150	12216,07	1006,546	-12174,53	-15075,5	19731	24830,9	330	-29144	27286,96	-13368,9	7294,3206	15229,39	690	2406,68	-12698,32	503,27313	4029,386871	49057,19563

Продолжение таблицы Б.

6139,95	160	12279,9	668,5506	-12261,69	-18329,8	38781	42895	340	-35991	65301,19	-17033,9	25823,892	30935,85	700	1923,274	-13653,41	334,27529	19735,85249	85506,47386
6155,17	170	12310,33	332,6449	-12305,84	-8768,23	38991	39964,9	350	-17204	65676,59	-8068,37	25678,129	26915,89	710	1067,071	-14320,34	166,32244	15715,88693	79857,56439
6162,05	180	12324,09	3,28E-13	-12324,09	-5,7E-12	23744	23744	360	-1E-11	35163,93	-4,3E-12	10302,174	10302,17	720	2,41E-12	-14559,58	1,639E-13	-897,82596	47488,02269
6164,33	190	12328,65	-334,931	-12324,1	2684,33	12358	12645,9	370	5033,74	12391,34	2516,87	-1084,123	2740,43	0	0	-14559,58	-167,4655	-8459,57041	25222,83181
6158,07	200	12316,14	-677,707	-12297,48	2819,39	6490,2	7076,11	380	4961,07	682,8646	1941,87	-6841,167	7111,43	10	-1077,32	-14365,2	-338,8537	-4088,57002	13896,1004
6132,47	210	12264,94	-1025,46	-12221,99	6459,08	8822,8	10934,4	390	11892,7	5423,529	4964,72	-4156,573	6474,995	20	-1963,26	-13736,67	-512,7279	-4725,00493	21279,11686
6072,16	220	12144,32	-1359,86	-12067,95	5007,06	4756,1	6905,88	400	8654,25	-2555,723	3092,14	-7667,126	8267,173	30	-2469,97	-12778,53	-679,9302	-2932,82711	12859,9548
5962,65	230	11925,3	-1645,34	-11811,25	4059,93	2749,5	4903,33	410	6474,51	-6312,278	1971,95	-9017,264	9230,365	40	-2530,61	-11722,25	-822,672	-1969,63536	8494,582159
5805,08	240	11610,16	-1849,6	-11461,88	3543,87	1636,2	3903,37	420	5238,14	-8189,394	1537,97	-9475,886	9599,883	50	-2162,21	-10762,38	-924,802	-1600,11715	6176,347401
5590,65	250	11181,3	-1906,01	-11017,65	3271,75	859,23	3382,7	430	4637,5	-9299,195	1583,77	-9678,447	9807,174	60	-1469,96	-10057,7	-953,0037	-1392,82624	4945,655571
5338,02	260	10676,04	-1768,03	-10528,62	3071,52	192,11	3077,52	440	4375	-10144,4	1881,26	-9919,401	10096,22	70	-612,48	-9694,398	-884,0139	-1103,78018	4391,8422
5087,79	270	10175,57	-1421,94	-10075,73	2820,28	-420,35	2851,43	450	4218,62	-10916,43	2232,35	-10296,31	10535,53	80	246,0862	-9676,198	-710,9698	-664,467211	4301,571479
4896,84	280	9793,683	-909,181	-9751,39	2464,16	-949,05	2640,61	460	4019,15	-11649,5	2494,84	-10794,77	11079,32	90	970,5386	-9940,04	-454,5904	-120,683298	4444,810791
4814,34	290	9628,69	-340,331	-9622,673	2023,75	-1344,5	2429,67	470	3707,18	-12311,69	2607,51	-11355,38	11650,91	100	1507,832	-10399,07	-170,1657	450,908648	4579,733318
4839,21	300	9678,417	106,0767	-9677,836	1584,74	-1591,1	2245,67	480	3275,55	-12860,06	2510,72	-11881,34	12143,72	110	1745,897	-10902,62	53,038356	943,7217049	4566,813868
4877,19	310	9754,386	201,8522	-9752,297	1276,33	-1758,5	2172,89	490	2754,52	-13269,36	2255,38	-12319,85	12524,59	120	1756,238	-11370,33	100,92612	1324,589059	4467,335213
4705,2	320	9410,394	-295,96	-9405,739	1241,74	-2067,4	2411,69	500	2187,51	-13540,62	1891,19	-12642,75	12783,42	130	1594,857	-11744,88	-147,9799	1583,417091	4677,871995
19962,3	330	39924,64	-29144,5	27286,96	15311,2	-20322	25444,6	510	1477,94	-13357,63	1402,86	-12684,25	12761,59	140	1327,782	-12010,87	-14572,23	1561,592069	40671,4539
37281,4	340	74562,74	-35991,1	65301,19	18428,9	-39169	43287,8	520	866,814	-13036,71	936,68	-12605,62	12640,38	150	1006,546	-12174,53	-17995,53	1440,375173	78342,69915
33946,2	350	67892,46	-17203,8	65676,59	8814,3	-39359	40334,2	530	424,786	-13041,96	546,668	-12651,82	12663,63	160	668,5506	-12261,69	-8601,91	1463,629091	78719,6994
17582	360	35163,93	-1,1E-11	35163,93	6E-12	-23880	23880,1	540	1,1E-12	-12596,24	166,322	-12451,04	12452,15	170	332,6449	-12305,84	-5,49E-12	1252,149371	47760,17197
6687,37	370	13374,74	5033,738	12391,34	-2694,97	-12443	12731,2	550	-356,2	-12494,03	-178,1	-12409,06	12410,34	180	3,28E-13	-12324,09	2516,8692	1210,336873	24887,90944
2503,92	380	5007,841	4961,066	682,8646	-2828,09	-6524,2	7110,8	560	-695,12	-12365,56	-515,027	-12344,83	12355,57	190	-334,931	-12324,1	2480,5328	1155,567632	13066,92487
6535,5	390	13071	11892,7	5423,529	-6470,44	-8851,3	10964,1	570	-1048,2	-12279,01	-862,94	-12288,24	12318,51	200	-677,707	-12297,48	5946,3513	1118,507604	17733,53947
4511,87	400	9023,733	8654,25	-2555,723	-5019,9	-4779	6930,95	580	-1385,6	-12113,67	-1205,51	-12167,83	12227,4	210	-1025,46	-12221,99	4327,1248	1027,401328	9657,850517
4521,18	410	9042,35	6474,507	-6312,278	-4072,07	-2765,5	4922,35	590	-1669,6	-11843,19	-1514,75	-11955,57	12051,14	220	-1359,86	-12067,95	3237,2537	851,1449254	5777,429897
4860,67	420	9721,331	5238,139	-8189,394	-3541,6	-1634	3900,38	600	-1845,1	-11457,43	-1745,21	-11634,34	11764,51	230	-1645,34	-11811,25	2619,0694	564,5084171	3752,91481

Продолжение таблицы Б.

5195,71	430	10391,41	4637,502	-9299,195	-3242,52	-838,22	3349,11	610	-1847,5	-10975,64	-1848,57	-11218,76	11370,04	240	-1849,6	-11461,88	2318,7511	170,0385824	2494,763073
5523,8	440	11047,6	4375,003	-10144,4	-2997,65	-155,33	3001,67	620	-1620,3	-10455,07	-1763,15	-10736,36	10880,17	250	-1906,01	-11017,65	2187,5016	-319,830456	1649,81132
5851,61	450	11703,21	4218,62	-10916,43	-2677,31	463,33	2717,1	630	-1136	-9989,777	-1452,01	-10259,2	10361,44	260	-1768,03	-10528,62	2109,3098	-838,555294	1466,002915
6161,66	460	12323,32	4019,146	-11649,5	-2218,33	976,93	2423,92	640	-417,52	-9695,638	-919,731	-9885,686	9928,378	270	-1421,94	-10075,73	2009,5732	-1271,62216	1997,97055
6428,86	470	12857,71	3707,178	-12311,69	-1628,28	1314,7	2092,8	650	450,622	-9682,214	-229,279	-9716,802	9719,507	280	-909,181	-9751,39	1853,5889	-1480,49326	2667,805169
6635,33	480	13270,66	3275,55	-12860,06	-973,658	1420,9	1722,5	660	1328,23	-10018,22	493,952	-9820,449	9832,864	290	-340,331	-9622,673	1637,7752	-1367,13634	3136,916119
6776,12	490	13552,24	2754,516	-13269,36	-354,796	1283,7	1331,83	670	2044,92	-10701,95	1075,5	-10189,89	10246,49	300	106,0767	-9677,836	1377,2582	-953,508495	3282,273394
6858,09	500	13716,18	2187,514	-13540,62	126,335	946,24	954,639	680	2440,18	-11648,14	1321,02	-10700,22	10781,45	310	201,8522	-9752,297	1093,7569	-418,545654	3088,040772
6719,57	510	13439,15	1477,936	-13357,63	464,372	329,66	569,487	690	2406,68	-12698,32	1055,36	-11052,03	11102,3	320	-295,96	-9405,739	738,96807	-97,697674	2495,35649
6532,75	520	13065,5	866,8144	-13036,71	528,23	-308,35	611,641	700	1923,27	-13653,41	-13610,6	6816,7756	15222,24	330	-29144,5	27286,959	433,40718	4022,239034	2019,726749
6524,44	530	13048,88	424,7856	-13041,96	321,143	-639,19	715,328	710	1067,07	-14320,34	-17462	25490,428	30897,95	340	-35991,1	65301,192	212,39282	19697,94873	1665,1981
6298,12	540	12596,24	1,08E-12	-12596,24	6,6E-13	-981,67	981,67	720	2,4E-12	-14559,58	-8601,91	25558,506	26967,2	350	-17203,8	65676,593	5,418E-13	15767,20349	1963,34024
6249,55	550	12499,1	-356,201	-12494,03	178,1	-1032,8	1048,02	0	0	-14559,58	-5,5E-12	10302,174	10302,17	360	-1,1E-11	35163,93	-178,1003	-897,82596	2065,556902
6192,54	560	12385,08	-695,122	-12365,56	-191,098	-999,82	1017,92	10	-1077,3	-14365,2	1978,21	-986,9314	2210,735	370	5033,738	12391,335	-347,5611	-8989,26464	2271,381131
6161,83	570	12323,66	-1048,17	-12279,01	-457,543	-728,83	860,549	20	-1963,3	-13736,67	1498,9	-6526,905	6696,805	380	4961,066	682,86461	-524,0861	-4503,19509	2445,23559
6096,33	580	12192,65	-1385,56	-12113,67	-542,208	-332,43	636,003	30	-2470	-12778,53	4711,37	-3677,5	5976,702	390	11892,7	5423,5288	-692,778	-5223,29772	2557,890766
5980,15	590	11960,3	-1669,64	-11843,19	-430,486	60,47	434,712	40	-2530,6	-11722,25	3061,82	-7138,987	7767,874	400	8654,25	-2555,723	-834,8208	-3432,1263	2533,50208
5802,52	600	11605,05	-1845,07	-11457,43	-158,569	347,53	381,995	50	-2162,2	-10762,38	2156,15	-8537,328	8805,393	410	6474,507	-6312,278	-922,5347	-2394,60682	2271,176432
5565,03	610	11130,05	-1847,53	-10975,64	188,786	458,97	496,28	60	-1470	-10057,7	1884,09	-9123,546	9316,055	420	5238,139	-8189,394	-923,7668	-1883,94483	1733,03302
5289,94	620	10579,88	-1620,3	-10455,07	503,909	380,33	631,331	70	-612,48	-9694,398	2012,51	-9496,797	9707,695	430	4637,502	-9299,195	-810,149	-1492,30486	976,6011902
5027,08	630	10054,16	-1135,99	-9989,777	691,04	156,79	708,604	80	246,086	-9676,198	2310,54	-9910,301	10176,08	440	4375,003	-10144,4	-567,9973	-1023,91657	398,6107212
4852,31	640	9704,624	-417,522	-9695,638	694,031	-122,2	704,707	90	970,539	-9940,04	2594,58	-10428,23	10746,16	450	4218,62	-10916,43	-208,7612	-453,842436	1000,838462
4846,35	650	9692,694	450,6224	-9682,214	528,605	-358,43	638,665	100	1507,83	-10399,07	2763,49	-11024,28	11365,37	460	4019,146	-11649,5	225,31119	165,3715766	1669,562353
5052,95	660	10105,89	1328,235	-10018,22	208,831	-442,2	489,028	110	1745,9	-10902,62	2726,54	-11607,15	11923,09	470	3707,178	-12311,69	664,11741	723,0864734	1957,117544
5447,78	670	10895,57	2044,924	-10701,95	-144,343	-334,19	364,033	120	1756,24	-11370,33	2515,89	-12115,2	12373,67	480	3275,55	-12860,06	1022,4618	1173,670706	1879,125221
5950,5	680	11900,99	2440,184	-11648,14	-422,663	-48,37	425,422	130	1594,86	-11744,88	2174,69	-12507,12	12694,77	490	2754,516	-13269,36	1220,092	1494,774431	1597,788559
6462,19	690	12924,37	2406,68	-12698,32	-539,449	343,72	639,65	140	1327,78	-12010,87	1757,65	-12775,75	12896,09	500	2187,514	-13540,62	1203,3399	1696,085235	1495,18951

Продолжение таблицы Б.

6894,1	700	13788,2	1923,274	-13653,41	-458,364	739,44	869,98	150	1006,55	-12174,53	1242,24	-12766,08	12826,38	510	1477,936	-13357,63	961,63681	1626,380842	1788,911648
7180,02	710	14360,04	1067,071	-14320,34	-199,26	1029,3	1048,43	160	668,551	-12261,69	767,682	-12649,2	12672,47	520	866,8144	-13036,71	533,53543	1472,473876	2164,483184
7279,79	720	14559,58	2,41E-12	-14559,58	166,322	1126,9	1139,08	170	332,645	-12305,84	378,715	-12673,9	12679,55	530	424,7856	-13041,96	1,203E-12	1479,55459	2278,163138