

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Двигатель для легкового автомобиля форсированный по частоте вращения

Студент

В.А. Каверин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.Н. Брега

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

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

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

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ЭМиСУ

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение бакалаврской работы

Студент Каверин Владислав Андреевич

1. Тема Двигатель для легкового автомобиля форсированный по частоте вращения

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

3. Исходные данные к бакалаврской работе Бензиновый двигатель, $i = 4$; $\varepsilon = 10,5$;
частота вращения $n = 8000 \text{ мин}^{-1}$; $V_h = 1.5 \text{ л.}$

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 _____ В.В. Смоленский
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению _____ В.А. Каверин
(подпись) (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 Каверина Владислава Андреевича
по теме Двигатель для легкового автомобиля форсированный по частоте вращения

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)

В.А. Каверин

_____ (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Форсирование двигателя без увеличения его рабочего объема возможно различными способами, это в основном наддув и повышение частоты вращения. Поэтому в бакалаврской работе представлен способ форсирования по частоте вращения коленчатого вала.

По этому в данном бакалаврской работе представлены результаты проектирования бензинового двигателя с модернизированными элементами кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов обеспечивающих возможности повышение частоты вращения двигателя. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обоснование эффективности повышения частоты вращения коленчатого вала на изменение мощностных характеристик двигателя.
- Тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, где проведен расчет основных параметров проектируемого двигателя.
- Кинематический расчет показыва-

Forcing the engine without increasing its working volume is possible in various ways, this is basically a boost and an increase in the speed of rotation. Therefore, the way of forcing on frequency of rotation of a cranked shaft is presented in the bachelor's work.

In this bachelor's work you can see the results of designing of the petrol engine with the modernized elements, the crank-shatun and gas distribution mechanisms, providing possibility of engine speed rotation increasing. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- Substantiation of efficiency the crankshaft speed rotation increasing on change of power characteristics of the engine.
- Thermal calculation and thermal balance of the engine, where the calculation of the main parameters of the engine being designed.
- Kinematic calculation shows the change in the kinematic parameters of the piston group and com-

<p>ет изменение кинематических параметров поршневой группы и сравнительный анализ в базовом двигателем.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Динамический расчет, где определяются силы и нагрузки действующие в кривошипно-шатунном механизме, а также условия для уравнивания двигателя. – В разделе специальной части, проведен анализ конструктивных решений позволивших повысить частоту вращения, а именно снижение инерционных сил в КШМ, снижение сил трения в поршневой группе, повышение наполнения цилиндров при увеличении оборотов двигателя. <p>Графическая часть работы содержит листов формата А1 иллюстрирующей материал представленный в пояснительной записке.</p>	<p>parative analysis with the usual engine.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dynamic calculation, where the forces and loads acting in the crank mechanism are determined, as well as the conditions for balancing the engine. – In the part of the special section, an analysis of design solutions has been made, which allowed to increase the speed of rotation, particularly, the reduction of inertial forces in the plant, the reduction of frictional forces in the piston group, the increase in the filling of the cylinders with increasing engine speed. <p>The graphic part of the work contains 8 sheets of A1, illustrating the material, presented in the explanatory note.</p>
---	---

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Обзор литературы по теме работы.....	8
1.1 Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием	8
1.2 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы	10
2 Тепловой расчет двигателя	32
2.1 Тепловой расчет двигателя по методике Вибе.....	32
2.2 Тепловой баланс двигателя.....	41
3 Кинематический расчет	43
4 Динамический расчет	44
5 Задание на специальную разработку	49
5.1 Описание спроектированного двигателя на базе ВАЗ – 2112 форси- рованного по частоте вращения	49
5.2 Сравнительный анализ двигателя ВАЗ 2112 с модернизированным двигателем	51
6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы	53
6.1 Оценка взрыво-пожаробезопасности бакалаврской работы.....	53
6.2 Оценка экологичности, по нормируемым продуктам отработавших газов, объекта разработки бакалаврской работы.....	54
6.3 Оценка экологичности, по шуму, объекта разработки бакалаврской работы.....	55
6.4 Выводы об безопасности и экологичности объекта бакалаврской ра- боты.....	55
Заключение	56
Список использованных источников.....	57
Приложение А	59
Приложение Б	78
Приложение В	80

ВВЕДЕНИЕ

Повышение мощностных показателей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) остается наиболее актуальной проблемой современного двигателестроения. Одним из наиболее простых способов повышения мощности, это увеличение рабочего объема двигателя. Но при этом, требования мирового автомобилестроения ограничивают габариты автомобильного двигателя, что заставляет искать другие пути повышения мощности без значительно увеличения рабочего объема, и, следовательно, габаритов двигателя.

Основными направлениями повышения мощности ДВС без увеличения рабочего объема цилиндров, являются, во-первых, повышение плотности заряда на впуске, обеспечиваемым применением различных типов наддува, а во-вторых, увеличением скоростного режима работы двигателя. При этом основным недостатком применения наддува является значительное удорожание стоимости двигателя, так как стоимость автомобильного компрессора сопоставима со стоимостью двигателя. Недостатком же увеличения частоты вращения коленчатого вала, является повышение механических потерь на трение и в следствии повышенный износ блока цилиндров и деталей кривошипно-шатунного механизма.

Поэтому в дипломной работе будет спроектирован двигатель рабочим объемом 1,5 литра с увеличенной частотой вращения коленчатого вала до 7200 мин^{-1} на номинальном режиме, при этом особое внимание будет уделено снижению механических потерь в кривошипно-шатунном механизме, до уровня близкого к двигателю ВАЗ-2112 с номинальной частотой 5600 мин^{-1} .

1 Обзор литературы по теме работы

1.1 Обзор способов повышения мощности двигателя с искровым зажиганием

Рассмотрим практические методы повышения мощности двигателя:

Во первых это увеличение рабочего объема двигателя, что позволяет повысить количество рабочего тела внутри цилиндра, а следовательно и мощность.

Во вторых это увеличение степени сжатия, что повышает термодинамический КПД цикла и следовательно мощность, но существующее ограничение по бездетонационной работе достаточно трудно обойти и поэтому у большинства существующих бензиновых ДВС степень сжатия не превышает 11,5.

В третьих это уменьшение механических потерь, что сказывается на эффективности передачи энергии от рабочего тела до трансмиссии, но это достаточно трудно осуществить т.к. конструкция элементов ДВС достаточно хорошо оптимизирована.

В четвертых это оптимизация процессов горения смеси, что повышает термодинамическую эффективность но требует серьезной переработки конструкции существующих камер сгорания и систем впуска и выпуска.

В пятых это увеличение наполнения цилиндров, как правило для этого используется наддув двигателя, а именно инерционный и агрегатный, что значительно удорожает конструкцию ДВС.

Ну и в шестых это повышения частоты вращения коленчатого вала, что повышает количество работы в единицу времени, у данного способа есть тоже несколько противоречий, а именно, это как правило снижение хода поршня, что негативно сказывается на крутящем моменте, а также необходимость адаптировать и облегчать все подвижные детали КШМ и ГРМ.

Рассмотрим каждый из перечисленных методов по отдельности и более подробно.

Увеличение рабочего объема двигателя.

Увеличить рабочий объем двигателя можно: заменив колен.вал на другой с большим ходом, увеличив диаметр цилиндра или то и другое одновременно. Не надо забывать, что при изменении объема двигателя, необходимо увеличить объем камеры сгорания — для компенсации увеличения объема цилиндра.

Для ВАЗовских двигателей, используемых на переднеприводных автомобилях существуют колен.валы с ходом 60.6, 71, 74.8, 75.6, 78, 80, 84 мм.

При установке колен.вала с большим ходом необходимо доработать (либо заменить) шатуны или поршни.

К расточке цилиндров блока на значительную величину (2мм.) нужно подходить осторожно. Например, при расточке серийного блока ВАЗ 21083 с 82мм. до 84 мм. у двигателя наблюдается повышенный расход масла. Это происходит за счет потери жесткости блока. В этом случае лучше использовать специальную толстостенную отливку блока. Такие блоки ВАЗ выпускает мелкими сериями.

Увеличение объема двигателя приводит к увеличению максимального крутящего момента, но при этом происходит снижение оборотов максимальной мощности. Это происходит из-за уменьшения механического КПД. Если повышение объема происходит за счет увеличения диаметра цилиндров, то возрастает площадь контакта между стенками цилиндра и поршнем с поршневыми кольцами. Как следствие повышается трение. Если повышение объема происходит за счет увеличения хода колен.вала, то возрастает средняя скорость поршня, что приводит к тем же результатам.

В любом случае повышение объема приводит к падению общего КПД двигателя.

Поэтому рассмотрим более внимательно возникающие проблемы на пути повышения частоты вращения коленчатого вала.

Во-первых, повышение частоты вращения коленчатого вала приводит к повышению средней скорости поршня (1.2), а, следовательно, к увеличению износа цилиндропоршневой группы. В связи с чем, при повышении частоты

вращения коленчатого вала необходимо уменьшения радиуса кривошипа и длины шатуна, тем самым, снижая её.

$$V_n = \frac{S \cdot n}{30}, \text{ м/с}, \quad (1.2)$$

где S - ход поршня равный 2 радиусам КВ, n - частота вращения коленчатого вала

Во-вторых, повышение частоты вращения коленчатого вала приводит к увеличению инерционных сил, поэтому необходимо облегчать шатун и поршень, без значительного ущерба их износостойкости. А именно уменьшать длину и соответственно размеры шатуна, а также длину юбки на поршне.

1.2 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы

Оригинал и перевод научного текста

A Thermal Conductivity Approach for Measuring Hydrogen in Engine Exhaust	Метод теплопроводности для измерения водорода в выхлопных газах двигателя
<p>ABSTRACT</p> <p>Thermal conductivity detection has long been used in gas chromatography to detect hydrogen and other diatomic gases in a gas sample. Thermal conductivity instruments that are not coupled to gas chromatographs are useful for detecting hydrogen in binary gas mixtures, but suffer from significant cross-interference from other gas species that are separated when the detector is used with a gas chromatograph. This study reports a method for using a commercially available thermal conductivity instrument to detect and quantify hydrogen in a diesel exhaust stream. The instrument time response of approximately 40 seconds is sufficient for steady-state applications. Cross-interference from relevant gas species are quantified and discussed. Measurement uncertainty associated with the corrections for the various species is estimated and practical implications for use of the instrument</p>	<p>Аннотация</p> <p>Обнаружение теплопроводности уже давно используется в газовой хроматографии для обнаружения водорода и других двухатомных газов в пробе газа. Инструменты теплопроводности, которые не соединены с газовыми хроматографами, которые могут быть использованы для обнаружения водорода в бинарных газовых смесях, но страдают от значительного перекрестного вмешательства со стороны других газов, которые разделены, когда детектор работает с помощью газового хроматографа. Это исследование сообщает о способе с использованием коммерчески доступного термического прибора проводимости для обнаружения и количественного определения водорода в потоке выхлопных газов дизельных двигателей. Время инструмент-чувствительности приблизительно 40 секунд достаточно для стационарных установок. Перекрестные помехи от сопутствовавших видов газа количественно оценены и обоснованы. Погрешность измерения, связанная с</p>

and method are discussed.

INTRODUCTION

Hydrogen is a reactive species that can be produced both during the combustion process and catalytic emissions control processes. The presence of hydrogen in the exhaust stream can impact the performance of emissions control devices, oxygen sensors, and the combustion process. Furthermore, hydrogen can participate in the production of other chemical species of interest. Hydrogen has also come into focus recently because of interest in modeling emissions control technologies such as the lean NOX trap. It is widely believed that hydrogen may play a key role in the catalytic processes involved with this technology. All of these cases point to the need to quantify hydrogen in the exhaust gases. It is possible in some cases to estimate the exhaust hydrogen numerically, rather than by measuring it. However, doing so requires estimating the equilibrium constant for the water-gas shift reaction, which may not always be practical (1, 2). Hence, there is a need for exhaust hydrogen measurements, both as an alternative to and as a benchmark for numerical estimations.

Detection of hydrogen is most commonly accomplished through the use of either a magnetic sector mass spectrometer or a thermal conductivity detector (TCD). Magnetic sector mass spectrometers have been used to quantify exhaust hydrogen (2, 3, 4). This method has been shown to be fast and accurate, but can be expensive, both in terms of the instrumentation and the effort involved in using the instrumentation. The thermal conductivity detector is widely used in conjunction with gas chromatographs (GCs). Use of a GC allows separation of the gas species so that cross-interference of the various gases in the TCD can be eliminated. Use of a TCD without a GC necessitates characterizing the cross-interferent species

поправками для различных видов оценивается и метод практического применения прибора обсуждается.

Введение

Водород является реакционноспособной частью, которые могут быть получены как в процессе сгорания и системы очистки выбросов. Присутствие водорода в потоке выхлопных газов может повлиять на производительность приборов контролирующих выбросы, датчики кислорода. Кроме того, водород может участвовать в производстве других химических видов. Водород также находится в центре внимания последнее время из-за интереса в области контроля над выбросами, моделирования технологии, такой как простая NOX ловушка. Полагают, что водород может играть ключевую роль в каталитических процессах, связанных с этой технологией. Все эти случаи указывают на необходимость количественной оценки водорода в выхлопных газах. Вполне возможно, в некоторых случаях нужна численная оценка количества водорода в выхлопных газах, а не путем измерения. Однако это требует определения константы равновесия для реакции конверсии водяного газа, которая не всегда может быть практична (1, 2). Следовательно, существует необходимость измерения водорода, как в качестве альтернативы и в качестве ориентира для численной оценки. Обнаружение водорода наиболее часто осуществляется посредством использования массы магнитного сектора, спектрометра или детектор теплопроводности (TCD). Масс-спектрометры с магнитным сектором, были использованы для определения количества водорода в выхлопных газах (2, 3, 4). Этот метод можно назвать, быстрым и точным, но может быть дорогим, как с точки зрения измерительной аппаратуры и затраченных сил, связано это с использованием контрольно-измерительной аппаратуры. Детектор теплопроводности широко используется в сочетании с газовыми хроматографами (GCs). Использование GC позволяет разделить виды газа

so that the TCD signal can be corrected for them. The advantage to the TCD is that instruments exist that can be readily incorporated into a standard gas analysis bench and treated just as other standard instrumentation. This can allow hydrogen measurement in a less obtrusive way for applications such as bag analysis, steady-state engine exhaust characterization, and synthetic exhaust blends on bench-flow reactors.

THERMAL CONDUCTIVITY DETECTION

A thermal conductivity detector operates by measuring the heat lost from a resistive element to the walls of the detector housing. The housing is thermostatically maintained at one temperature, while the resistive element is maintained at a higher temperature. The temperature of the element (and thus its resistance) depends upon heat lost to the lower temperature housing. For otherwise identical conditions, the heat loss is a function of the bulk thermal conductivity of the sample gas. The electrical resistance of the heated elements is measured by using a Wheatstone bridge (5, 6). Since there is sample gas flowing continuously through the detector convective heat loss is present.

The cell design can help to minimize convective effects, but doing so generally results in slower dynamic response. Regardless of cell design, maintaining a constant sample flow rate is effective at minimizing biasing due to convective changes between calibration standards and samples.

Since the heat lost from the resistive element is dependent upon the bulk thermal conductivity of the sample gas mixture, TCDs are sensitive to a number of gas species. In automotive exhaust gas characterizations, instruments are typically calibrated using nitrogen as a zero-concentration standard and the gas of interest blended in nitrogen as a full-scale concentration standard. If the TCD is calibrated using nitrogen

таким образом, что поперечные помехи от различных газов в TCD могут быть устранены. Использование в TCD без GC требует характеристику пересекающихся видов, так что сигнал TDC должен быть с поправкой на них. Преимущество в том, что в TCD существуют инструменты, которые могут быть легко включены в стандартный стенд анализа газов и обрабатываются так же, как и другие стандартные измерительные приборы. Это может позволить измерять водород менее навязчивым способом для приложений таких как анализ мешков, стационарной характеристики выхлопа двигателя, и синтетические смеси выхлопных газов на реакторах стендовых потоков.

Детектор теплопроводности

Детектор теплопроводности работает путем измерения потери тепла от резистивного элемента к стенкам детектора. Корпус термореле поддерживается при одной температуре, в то время как резистивный элемент поддерживается при более высокой температуре. Температура элемента (и, таким образом, его сопротивление) зависит от потери тепла до более низкой температуры корпуса. При прочих равных условиях, тепло-потеря является объемной функцией термической проводимости пробы газа. Электрическое сопротивление нагретого элемента измеряется с помощью моста Wheatstone (5,6). Поскольку забор пробы газа течет непрерывно через детектор, потери конвективного теплообмена присутствует. Конструкция клеток может помочь свести к минимуму конвективные эффекты, но это обычно приводит к динамически медленным ответам прибора. Вне зависимости от конструкции электролизера, поддерживается константа скорости потока, проба эффективна при минимизации смещения за счет конвективного изменения между калибровкой стандарта и образцов.

Так как потери тепла от резистивного элемента являются зависимыми от объемной термической проводимости пробы газовой смеси, TDC чувствительны к разным видам газа. В выхлопных газах автомобильного характера,

and a hydrogen (H₂) blend, then gases with a thermal conductivity higher than nitrogen will exhibit a positive response, while those with a lower thermal conductivity will exhibit a negative response. The magnitude of the response will be dependent upon the change in bulk sample thermal conductivity as compared with that of the full-scale reference standard. Thermal conductivities for several species of concern are listed in Table 1 (7). Table 1 also shows the thermal conductivities normalized to that of nitrogen. Data are for gases at 101 kPa and 25 °C.

The magnitude of the cross-interference introduced by a given species is a function both of its thermal conductivity and concentration. Fortunately, hydrogen has the highest thermal conductivity of the gases that are likely to be present in engine exhaust. This results in interferent gases having a fractional response as hydrogen. Since nitrogen is used as a zero concentration standard, its interference is excluded through calibration. Other gases that may be present at large concentrations in engine exhaust include H₂O, CO₂, O₂, CO, and hydrocarbons. Of these, H₂O, CO₂,

and O₂ are present at concentrations high enough that small changes to the instrument sensitivity may result from complex boundary layer issues. Although many other species could potentially cause interference, they are not generally present at sufficient quantity in diesel exhaust to warrant investigation.

DETERMINATION OF INTERFERENCES

EXPERIMENTAL SETUP – A commercially available thermal conductivity instrument was procured. The selected instrument was a Rosemount Analytical MLT1 instrument equipped with a thermal conductivity detector for hydrogen measurement, plus a non-dispersive infrared (NDIR) detector for measuring carbon diox-

инструменты, как правило, калибруется с использованием азота в качестве стандарта так интересующий нас газ, нулевой концентрации смешивают в атмосфере азота в качестве полномасштабного стандарта концентрации. Если TCD калибруется с помощью азота и водорода (H₂), то газы с теплопроводностью выше, чем у азота, будут демонстрировать положительный ответ, в то время как те, что с меньшей тепловой проводимостью будут проявлять отрицательную реакцию. Результат будет зависеть от изменения теплопроводности в объемном образце по сравнению с эталоном стандарта. Термическая проводимость для нескольких видов, вызывающих озабоченность, перечислены в Таблице 1 (7). Таблица 1 также показывает, тепловую проводимость азота. Данные приведены для газов при давлении 101 кПа и 25 °C.

Величина перекрестной помехи внесенной в данный вид, является функцией, как его тепловой проводимости так и концентрации. К счастью, водород имеет самую высокую теплопроводность среди газов, которые могут присутствовать в выхлопных газах двигателя. Это приводит к вмешательству газов, имеющих в составе водород. Так как азот используется в качестве стандарта нулевой концентрации, его вмешательство исключается путем калибровки. Другие газы, которые могут присутствовать, в большой концентрации, в выхлопных газах двигателя включают H₂O, CO₂, O₂, CO и углеводороды. Из них, H₂O, CO₂, и O₂ присутствуют в концентрациях, достаточно высоких для того, чтобы повлиять на показания чувствительного прибора, и привести к сложным вопросам. Хотя многие другие виды, потенциально, могут вызвать помехи, но они, как правило, не присутствуют в достаточном количестве в дизельном топливе, выхлопных газах, чтобы гарантировать обнаружение.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОМЕХ

Экспериментальная установка – были закуплены имеющиеся в продаже приборы теплопроводности. Выбранный прибор назывался

ide (CO₂). The CO₂ instrument was included to allow internal correction for CO₂ cross interference with the H₂ measurement. This instrument was selected because it was compatible with an existing Rosemount NGA2000 gas analysis system already in place and because of the availability of internal correction for CO₂ cross interference. The TCD itself is of a design which is field configurable for either a fast response time with high sensitivity to flow rate or a slow response time with low sensitivity to flow rate (5). For the purposes of this study, the TCD was left in the fast-response configuration that was set by the factory. The instrument was installed into the existing instrumentation system. The instrument was supplied with a non-condensing sample stream at constant flow rate. The sample conditioning system (pump, chiller, and flow controls) were already present in the analysis system to supply non-condensing sample to other instruments, so very little accommodation was required for the TCD. The TCD range was 0 – 2% H₂. The instrument was calibrated with a 1% H₂ in N₂ calibration standard. A 10-point gas divider was used to aid in calibration and cross-interference determinations. Once a target sample flow rate was identified, care was taken to maintain this flow rate at all conditions.

Table 1. Thermal conductivity data for several gases of interest.

Rosemount Analytical MLT1. Прибор оснащен детектором по теплопроводности для измерения водорода, плюс не дисперсионным инфракрасным (NDIR) детектором для измерения углекислого газа (CO₂). Детектор CO₂ был включен, чтобы позволить скорректировать внутреннюю интерференцию CO₂ с H₂. Этот инструмент был выбран потому, что он совместим с существующей Rosemount NGA2000, системой газового анализа, в которой уже есть наличие внутренней коррекции для перекрестного смешивания CO₂. Сам TCD имеет конструкцию, которая широко настраивается, либо для быстрого отклика с высокой чувствительностью к скорости потока или для длительного отклика с низкой чувствительностью к скорости потока (5). Для целей настоящего исследования, TCD оставили в малоинерционной конфигурации, которая была установлена на заводе-изготовителе. Инструмент был установлен в существующую систему приборов. Прибор поставляется без конденсации образца, при постоянной скорости потока. Система кондиционирования образцов включает (насос, средства управления охладителя и потока) которые уже присутствуют в системе анализа, для снабжения без конденсации образца, с другими инструментами, так что небольшое место необходимо для TCD. Диапазон для TCD от 0-2% H₂. Прибор был откалиброван с 1% H₂ в N₂ калибровочного стандарта. 10 пункт - газовый делитель был использован для оказания помощи в калибровке и определения помех. После того, как частота дискретизации потока была идентифицирована, были приняты меры для поддержания скорости потока при любых условиях.

Таблица 1.1 Данные по теплопроводности нескольких газов.

Вид	Теплопроводность W/(m*K)	Нормирование Азотом
N ₂	0.0259	1
H ₂	0.181699	7.015
O ₂	0.02662	1.028
CO ₂	0.0166	0.641
CO	0.0232	0.896
NO	0.02536	0.979
NO ₂	0.1151	4.444
N ₂ O	0.01674	0.646
CH ₄	0.034238	1.322
C ₂ H ₆	0.02012	0.777
C ₂ H ₂	0.02006	0.775
C ₂ H ₄	0.01778	0.686
C ₃ H ₈	0.01674	0.646
C ₃ H ₆	0.01778	0.686
C ₄ H ₁₀	0.014644	0.565
C ₄ H ₈	0.01444	0.557

FLOW RATE EFFECTS

A calibration gas was introduced to the TCD instrument using the gas divider.

The sample flow was initially set at 700 ml/minute and the response noted. The flow was varied and the resultant responses were again noted. The detector response was found to be linear with flow rate. An increase or decrease in the flow rate of 50% from the base condition was found to result in a 100% increase (for increased flow) or decrease (for decreased flow) compared with the base condition. All subsequent experiments were carried out with a flow rate of 700 ml/minute. At this flow rate, the time response of the TCD was noted to be approximately 40 seconds from initial response to final value.

CARBON DIOXIDE

As mentioned previously, this instrument was procured with an internal CO₂ measurement for correcting the TCD cross-interference caused by that gas. Nevertheless, the instrument was checked for interference from CO₂. The instrument was first calibrated then the gas divider was used to provide a varying concentration of CO₂ to the instrument, using N₂ as a diluent. The internal CO₂ measurement was found to be within tolerances. The TCD itself exhibited a positive nonlinear response, which is shown in Figure 1. The response even with the internal cross-interference compensation enabled is still significant, but remains at a level that is less than 5% of the full-scale value. The internal cross-interference compensation modifies the raw signal by first subtracting the reading attributable to the CO₂ that is present, then correcting the resulting value for a sensitivity decrease due to the CO₂. Both the CO₂ response and the sensitivity decrease are a function of the CO₂ concentration in the sample and were calibrated with an extensive set of experiments by the supplier. The reported change in sensitivity at a low (5%) CO₂ level were less than 2%, suggesting that similar effects by other gases likely to be pre-

ЭФФЕКТИВНАЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА Калибровочный газ был введен к инструменту TCD с использованием газового сепаратора. Поток пробы был первоначально установлен на уровне 700 мл/мин и отметил результат. Поток был неоднородным, и полученные данные были вновь отмечены. Детектор обнаружил, что скорость потока линейна. Было установлено увеличение или уменьшение в скорости потока на 50% от базового состояния, приводит к увеличению на 100% (для увеличения потока) или уменьшению (для уменьшения потока) по сравнению с базовым условием. Все последующие эксперименты проводились с расходом 700 мл/мин. При этом скорость потока, и время отклика из TCD около 40 секунд от первоначального результата на конечное значение.

УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ

Как упоминалось ранее, этот прибор закупался с внутренним измерением CO₂ для коррекции TCD, перекрестных помех вызванных этим газом. Тем не менее, инструмент прошел проверку на наличие помех от CO₂. Прибор был откалиброван, затем газовый делитель был использован для обеспечения изменения концентрации CO₂, используя N₂ в качестве разбавителя. Внутренним измерением CO₂ установлено, что он в пределах допусков. Сам TCD показал положительный нелинейный результат, который показан на рисунке 1. Реакция даже с компенсацией внутренних поперечных помех по-прежнему значительна, но остается на уровне, который составляет менее 5% от полного значения шкалы. Внутренняя компенсация поперечных помех изменяет исходный сигнал сначала путем вычитания показаний, относящихся к CO₂, который присутствует, а затем исправляет результирующее значение для снижения чувствительности к CO₂. Оба результата CO₂ и снижение чувствительности зависят от концентрации CO₂ в образце, и были откалиброваны с обширным набором экспериментов поставщиком. Сообщение изменения чувствительности при низком (5%) уровне CO₂ будет меньше, чем 2%, предполагая, что подобные эффекты от других газов, которые

sent at concentrations of 1% or less will be negligible.

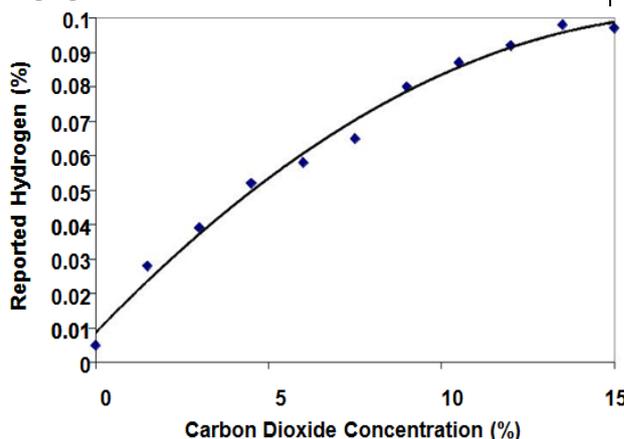


Figure 1. TCD response (as hydrogen) to varying CO2 concentration.

Figure 2 shows the TCD response to CO2 with the internal cross-interference compensation disabled. The response was found to be negative, as expected, and slightly nonlinear. A second-order curve was found to fit well ($R^2 = 1$) with a very small second-order term. This curve represents the response of the TCD to CO2, but does not take into account the degradation of the H2 sensitivity, as does the internal cross-compensation correction.

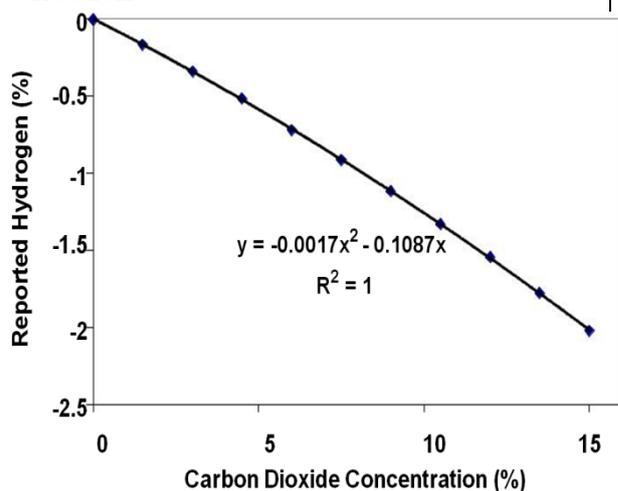


Figure 2. TCD response (as hydrogen) to varying CO2 concentration with internal cross-interference compensation disabled.

The gas divider was next used to verify the veracity of the internal cross-interference

могут присутствовать в концентрации 1% или менее будут незначительны.

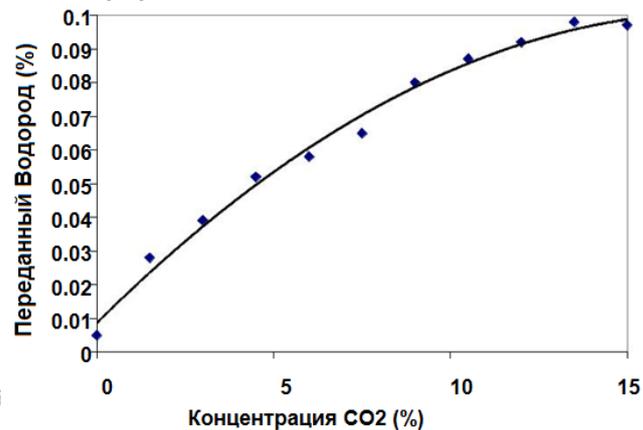


Рисунок 1. Результат TCD (на водород) в различной концентрации CO2.

На рисунке 2 показан отклик TDC на O2 с отключенной внутренней компенсацией перекрестных помех. Результат оказался отрицательным, как и ожидалось, и имел слегка нелинейный характер. Кривая второго порядка была найдена, чтобы соответствовать ($R^2 = 1$) небольшому выражению второго порядка. Эта кривая представляет отклик TCD на CO2, но не учитывает ухудшение чувствительности к H2, как это делает внутренняя коррекция.

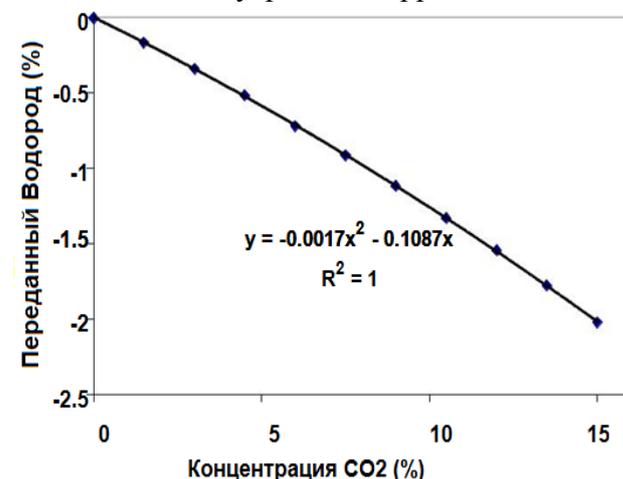


Рисунок 2. Результат TCD (на водород) в различной концентрации CO2 с отключенной внутренней компенсацией перекрестных помех.

Газовый сепаратор был использован для проверки достоверности внутренней коррекции перекрестных помех с обоими веществами H2

compensation with both H₂ and CO₂ present in the sample. This was accomplished by once again using the gas divider, but replacing the N₂ diluent with CO₂ calibration standards.

The gas divider was an imperfect tool for this purpose since it did not allow independent variation of the H₂ and CO₂ concentrations, but did nevertheless provide a means of accurately introducing mixtures of the two gases. Three CO₂ standards were used: 15% CO₂, 5% CO₂, and 1% CO₂ in balance of N₂. The errors are shown on Figure 3. Errors have been expressed as percent of full scale to allow inclusion of points where the H₂ concentration was zero. As with the CO₂ in N₂ data, the errors produced by CO₂ in the sample were always less than 5% of full-scale, including conditions where the CO₂ concentration was very high and the H₂ concentration was very low. Errors were lowest at points where the concentrations of both gases were moderate.

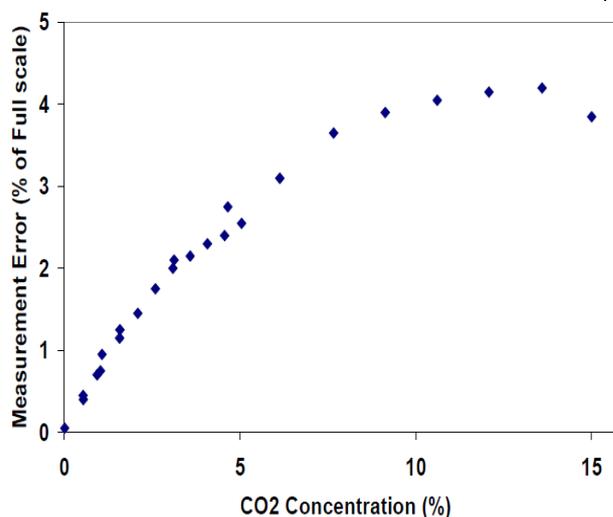


Figure 3. TCD errors for mixtures of CO₂ and H₂.

OXYGEN – Although O₂ has a TC very close to that of N₂, the concentration of O₂ in the exhaust is typically high and varies widely depending upon the mode of operation of the engine. O₂ cross-interference was accomplished by first calibrating the TCD with N₂ and H₂

и CO₂ присутствующими в образце. Это было осуществлено еще раз с помощью газового делителя, но заменив азотом разбавитель с калибровочными стандартами CO₂. Газовый сепаратор был несовершенным инструментом для этой цели, поскольку он не допускает независимого изменения H₂ и концентрации CO₂, но тем не менее, обеспечивает средство точного внедрения смеси двух газов. Были использованы три стандарта CO₂: 15%, 5%, и 1% в равновесии с N₂. Ошибки показаны на рис 3. Ошибки были высказаны в процентном соотношении от полной шкалы, чтобы обеспечить включение точек, где концентрация H₂ равна нулю. Как и с CO₂ в N₂ данные, ошибки, полученные CO₂ в образце были всегда менее 5% от полной шкалы, включая условия где концентрация CO₂ была очень высокой и концентрация H₂ была очень низкой. Ошибки были самыми низкими в случаях, где концентрация обоих газов была умеренной.

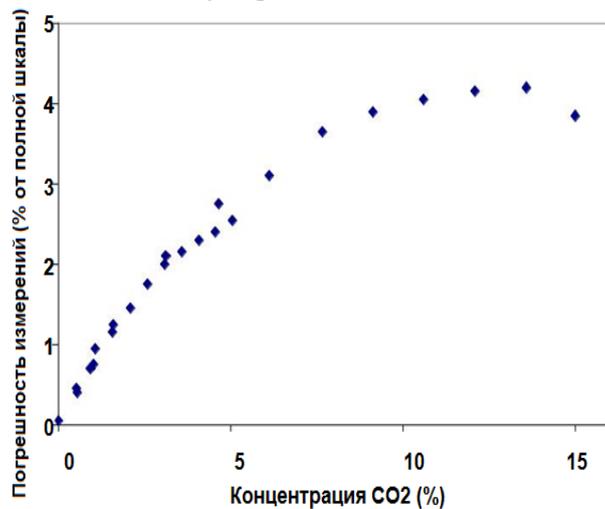
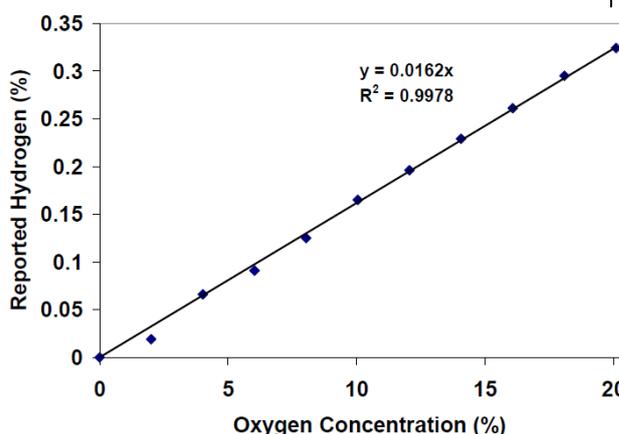


Рисунок 3. Ошибки TCD для смесей CO₂ и H₂.

КИСЛОРОД - Несмотря на то, что O₂ имеет теплопроводность очень близкую к N₂, концентрация O₂ в выхлопных газах, как правило, высока и варьируется в широких пределах в зависимости от режима работы двигателя. Сначала TDC подвергали калибровке на кислородные помехи с помощью калибровочных газов N₂ и H₂, затем путем введения смеси O₂ в N₂ газовым делителем. На рисунке 4 показан отклик от TCD в различной концентрации O₂.

calibration gases, then by introducing a blend of O₂ in N₂ with the gas divider. Figure 4 shows the response of the TCD to the varying O₂ concentration. Data are indicated by points, with a best-fit line ($R^2 = 0.9978$) also shown. The TCD was found to report O₂ as a false-positive indication of H₂. The slope of the line indicates the magnitude of the cross-interference. The TCD reports each 1% O₂ as 0.0162% H₂.



Данные указаны точками, с наилучшего соответствия линии ($R^2 = 0,9978$) что также показано на рисунке. TCD сообщил об O₂, как о ложноположительном признаке H₂. Наклон линии указывает на величину перекрестной помехи. Как сказано в сообщении TCD, каждый 1% O₂, как 0,0162% H₂.

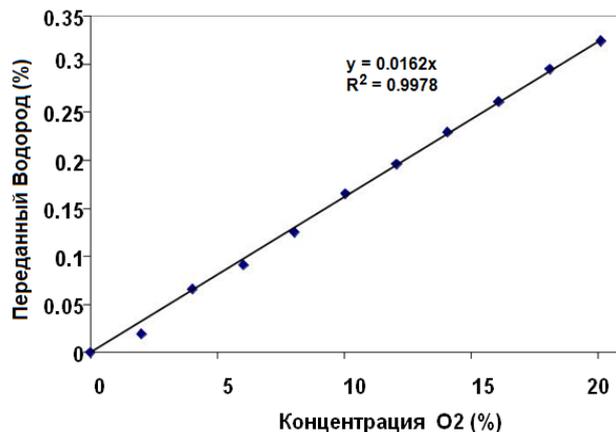


Рисунок 4. Результат TCD (на H₂) в различной концентрации O₂.

Figure 4. TCD response (as H₂) to varying O₂ concentration.

O₂ can be present in exhaust in relatively high concentrations, perhaps high enough in some cases to cause a small change in the sensitivity of the instrument to H₂. This was the case with CO₂. O₂ and H₂ mixtures were introduced using the gas divider to check for this possibility. O₂ concentrations as low as 2000 ppm up to 20.1% were checked in the presence of H₂. The maximum error in the H₂ measurement after correction for O₂ response was 0.7% of full scale. These results were deemed to be acceptable with no further correction for O₂ required.

HYDROCARBONS

The hydrocarbon (HC) content of diesel exhaust is normally quite low; however, activities with lean-NOX traps and new combustion regimes may result in conditions where the HCs are high enough to be of concern. Many of the HCs in diesel exhaust are species

O₂ может присутствовать в выхлопных газах в относительно высокой концентрации, в некоторых случаях достаточно высоких, чтобы вызвать небольшое изменение чувствительности прибора к водороду. Так было в случае с CO₂. O₂ и H₂ смеси были введены с использованием газового сепаратора, чтобы проверить эту возможность. Концентрации O₂ в количестве от 2000 частей на миллион до 20,1% были проверены в присутствии H₂. Максимальная погрешность при измерении H₂ после коррекции по O₂ составляет 0,7% от полной шкалы. Эти результаты были сочтены приемлемыми без дальнейшей коррекции O₂.

УГЛЕВОДОРОДЫ

Углеводород(НС) - содержится выхлопных газах дизельных двигателей, как правило, в довольно низких количествах; однако деятельность с обедненной-NOX ловушкой при новых режимах горения может дать результат в условиях, когда НС достаточно много, чтобы вызвать беспокойство. Многие из НС в выхлопных газах дизельных двигателей демонстрируют относительно высокую температуру ки-

that exhibit a relatively high boiling point, and thus have a relatively low vapor pressure at reduced temperatures. Hence, many of these HCs will be condensed and removed by the chiller used for sample dehumidification. This is a beneficial effect that reduces the impact of these hydrocarbons on the TCD measurement. The chiller is maintained at a temperature of 2 °C, and thus will partially condense any hydrocarbons that have a boiling point higher than 2 °C. In practical terms, the C1-C5 hydrocarbons will be unaffected by the chiller. Hence, it is appropriate to investigate the cross-interference caused by these compounds. The data from Table 1 show that with the exception of methane, HCs will result in a negative response in the TCD. It is a simple matter to measure both the total HCs and methane in the exhaust with a heated flame-ionization detector (FID). FIDs are typically calibrated with propane as a standard, and also with methane for methane-only modes. FID response to other compounds is not the same as the response for propane, but propane is generally accepted as a representative standard for calibration. The data from Table 1 also show that the TCs of the C2-C4 HCs are within 20% of that of propane, suggesting that it is also a possible surrogate for the total HC content that is experienced by the TCD. Methane will cause a positive response by the TCD, and so must be treated separately from the other HCs. Several data points were taken to characterize the HC concentration after the chiller. This was accomplished by measuring the engine-out HCs with a heated flame-ionization detector (HFID). A second HFID was configured to sample the gas stream exiting the chiller. The measurements were made at a relatively low engine power setting, but at a variety of exhaust gas recirculation (EGR) levels. The results showed that the post-chiller HC level was never more than 20% of the raw exhaust

пения, и таким образом, имеют относительно низкое давление паров при уменьшении температуры. Следовательно, многие из этих HC будут конденсироваться и удаляются с помощью холодильной машины, используемой для образца удаления влаги. Это положительный эффект, который уменьшает влияние этих углеводородов на TCD измерение. Охладитель поддерживается на уровне 2°C, и таким образом, будет частично конденсироваться любые углеводороды, имеющие температуру кипения выше, чем 2°C. С практической точки зрения, углеводороды C1-C5 не зависят от холодильной машины. Следовательно, целесообразно исследование перекрестных помех, вызванных этими соединениями.

Данные из таблицы 1 показывают, что за исключением метана, HC приведет к негативной реакции в TCD. Простой вопрос, чтобы измерять, как общий объем HC и метана в выхлопе с нагретым пламенно-ионизационным детектором (FID). FID обычно калибруют с пропаном в качестве стандарта, а также с метаном для соответствующего режима. FID срабатывает на другие соединения не так, как на пропан, но пропан, как правило, принимается в качестве стандарта для калибровки. Данные в таблице 1 также показывают, что теплопроводность C2-C4 углеводородов в пределах 20% от скорости пропана, предполагая, что он также является возможным суррогатом от общего содержания HC, который испытывает TCD. Метан будет вызывать положительный ответ на TCD, и поэтому должен рассматриваться отдельно от других углеводородов.

Данные ряда точек были приняты для характеристики HC концентрации после холодильной машины. Это было достигнуто путем измерения HC на неработающем двигателе с подогревом пламенно-ионизационного детектора (HFID). Второй HFID был выполнен с возможностью выборки газового потока, выходящего из холодильной машины. Измерения проводились при относительно низкой установленной мощности двигателя, но при различной ре-

HC concentration, and most measurements were 5 – 7% of the raw exhaust concentration. Methane production was also very low. Since diesel HCs are generally less than 1% even during extreme modes of operation, the post-chiller HCs should remain less than 1000 ppm under most conditions, although conditions that exhibit fuel reformation and cracking will likely produce more post-chiller HCs. These results underscore the relatively low impact that the HCs should have on the TCD measurement.

As with O₂, the cross-interferences were investigated by first calibrating the TCD with N₂ and H₂ calibration gases, then introducing methane and propane calibration standards with the gas divider. However, since the methane and propane standards were in a balance of air, rather than nitrogen, the results had to be corrected for the O₂ content. The O₂ content of the diluted methane and propane standards was kept constant by providing a 20.1% O₂ in N₂ standard as the diluent gas for the gas divider. This resulted in nearly constant oxygen content as the methane and propane content was varied. Correction for the O₂ interference was accomplished by measuring the oxygen content with a paramagnetic oxygen instrument in parallel with the TCD. The known oxygen response (Figure 1) was applied and the methane-only and propane-only responses identified. The methane-only response is shown in Figure 5.

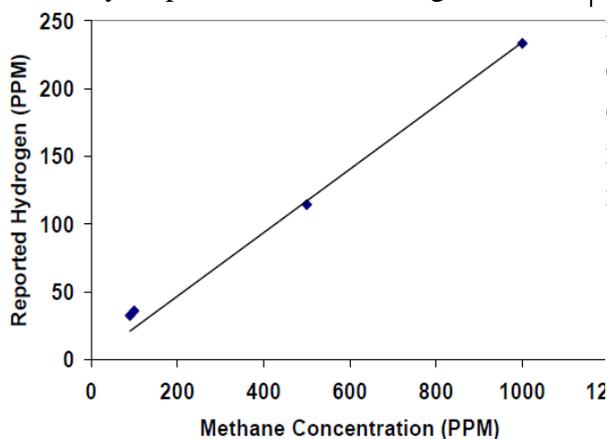


Figure 1.2 - TCD response (as H₂) to varying CH₄ concentration.

циркуляции (EGR) выхлопных газов. Результаты показали, что уровень HC отличался не более чем на 20% от сырой концентрации HC выхлопных газов, и большинство измерений отличались на 5 - 7% от концентрации первичного выхлопа. Доля метана была также очень низка. Поскольку дизельные HC являются, как правило, менее 1%, даже при экстремальных режимах работы, HC должно оставаться меньше 1000 частей на миллион в большинстве условий, хотя условия что экспонат топлива преобразуется и разрушение молекул, скорее всего, будет больше после холодильной установки HC. Эти результаты подчеркивают относительно низкое влияние, чтобы HC имел измерения на TCD.

Как и в случае с O₂, поперечные помехи были исследованы при первой калибровке TCD с N₂ и H₂ калибровочными газами, а затем введением метана и пропана в соответствии с калибровочным стандартом, газовым делителем. Однако, так как метан и пропан стандарты были в балансе с воздухом, а не азотом, результаты должны были быть с поправкой на содержание O₂. Содержание кислорода-разбавленных метана и пропана, стандарты поддерживали константу, обеспечивая 20,1% O₂ в стандарте N₂, в качестве газового разбавителя для газового сепаратора. Это привело к постоянному содержанию кислорода в качестве метана и пропана, содержание варьировалось. Исправление для вмешательства O₂ было достигнуто путем измерения содержания кислорода с парамагнитным инструментом кислорода параллельно с TCD. Известная реакция кислорода (рис 1) была приложена и с метаном и с пропаном, ответы идентифицированы. Смесь с метаном показана на рисунке 5.

The data points on Figure 2 show the individual methane concentrations with a best-fit line ($R^2 = 0.9888$) also shown. In this case, the TCD again exhibited a positive response as hydrogen. The best-fit line indicates that each part-per-million (ppm) of CH_4 is reported as 0.2343 ppm of H_2 . The propane response was obtained in the same way; that is, the propane in air standard was flowed, then the oxygen contribution to the response subtracted resulting in the propane-only response. The results are shown in Figure 6. The TCD exhibits a negative linear ($R^2 = 0.9979$) response to propane. Each ppm of propane is reported as -0.1004 ppm of hydrogen.

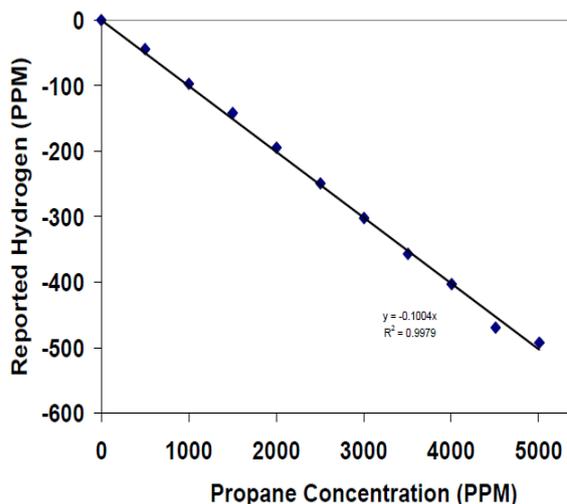


Figure 6. TCD response (as hydrogen) to varying C_3H_8 concentration.

Additionally, a 2500 ppm C_3H_8 standard in balance nitrogen was supplied to the TCD through the gas divider. The gas was flowed at several concentrations and agreed well with the data obtained in balance of air. The C_3H_8 in N_2 standard was also compared with a 1016 ppm C_2H_2 and 1026 ppm C_2H_4 standard, both in balance N_2 . The C_3H_8 standard was found to have a more negative response (-70 ppm) at 1000 ppm concentration than either the C_2H_2 or the C_2H_4 standard. The C_2H_4 showed essentially zero response, while the C_2H_2 standard showed a

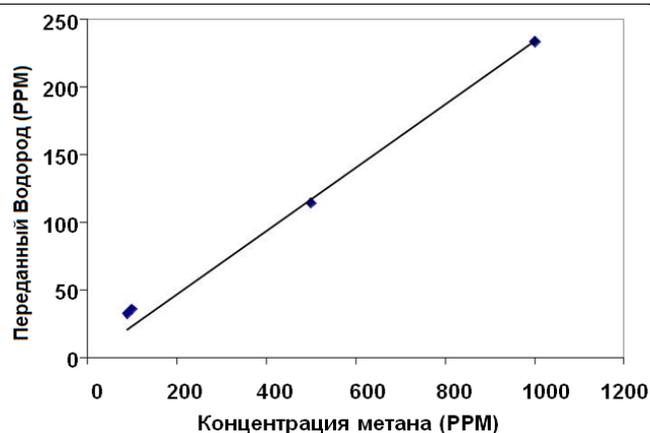


Рисунок 5. Результат TCD (на H_2) в различной концентрации CH_4 .

Точки данных на рисунке 2, показывают отдельные метан концентрации с наилучшим соответствием линии ($R^2 = 0,9888$), как показано на рисунке. В этом случае TCD снова выставлен положительный результат на водород. Наиболее подходящая линия означает, что каждая часть на миллион (частей на миллион) CH_4 сообщается как 0.2343 частей на миллион H_2 . Результат с пропаном был получен таким же образом; то есть пропан протекал в стандарте воздуха, и вклад кислорода в реакцию вычитают, в результате чего остается только пропан. Результаты показаны на рисунке 6. TCD проявляет отрицательную линейную ($R^2 = 0,9979$) реакцию на пропан. Каждая миллионная часть пропана сообщается как -0.1004 ppm от водорода.

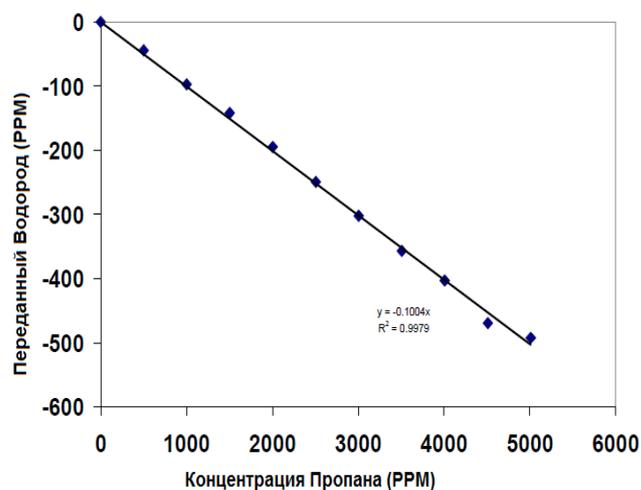


Рисунок 6. TCD ответ (как водород) в различ-

very small (70 ppm) positive response. All three values are within 1% of full scale of each other. These results suggest that for most cases C3H8 can be considered a suitable surrogate for the mix of HCs experienced by the TCD with regard to cross-interference correction.

CARBON MONOXIDE

As with HCs, the CO concentration in diesel exhaust is normally quite low; however, non-traditional operating modes for these engines may at times result in CO emissions that are significant to the TCD measurement. The cross-interference caused by carbon monoxide was investigated in the same way as for other gases. In this case, data were collected using both N2 and 20.1% O2 in N2 as diluent gases for the gas divider. The results of both conditions are shown in Figure 7. The TCD exhibits a slightly non-linear response to CO. The data collected with CO diluted with N2 exhibit a slightly stronger response than when O2 was present in the mix. Examination of the data showed that the difference between the curves was within the error that could result from a 1% of full-scale error in the oxygen measurement. The response (as H2) from CO can be calculated as Ax^2+Bx , where $A = -4.77 \times 10^{-8}$ and $B = -9.28 \times 10^{-3}$. As a quick estimate, the response as H2 is generally about 1% of the CO concentration.

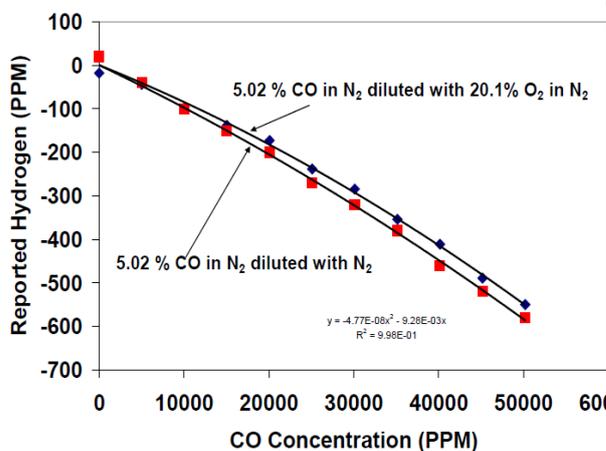


Figure 7. TCD response (as hydrogen) to varying CO concentration.

ной концентрации C3H8.

Кроме того, 2500 ppm норма для C3H8 в балансе азота подавали в TCD через газовый делитель. Газ подавали при нескольких концентрациях и хорошо согласованных с данными, полученными в балансе воздуха. C3H8 в N2 стандарте был также по сравнению с 1016 ppm для C2H2 и 1026 ppm для C2H4, в балансе N2. Было установлено, что стандарт C3H8, чтобы имел более отрицательный эффект (-70 частей на миллион) при 1000 ppm также как C2H2 или C2H4 стандарт. C2H4 показал, практически равный нулю ответ, в то время как C2H2 стандарт показал очень небольшой (70 частей на миллион) положительный ответ. Все три значения находятся в пределах 1% от полной шкалы друг друга. Эти результаты свидетельствуют о том, что в большинстве случаев C3H8 можно считать подходящим заменителем смеси HC, испытываемые TCD в отношении коррекции перекрестных помех.

МОНООКСИД УГЛЕРОДА

Как и в случае HC, CO концентрация в выхлопных газах дизельных двигателей, как правило, довольно низка; однако, нетрадиционные режимы работы двигателя могут иногда приводить к выбросам CO, которые являются существенными для измерения TCD. Помехи вызванные окисью углерода были исследовали таким же образом, как и для других газов. В этом случае, были собраны данные, использования N2 и 20,1% O2 в качестве газоразбавителей для газового сепаратора. Результат - оба условия приведены на рисунке 7. TCD обладает слегка нелинейным откликом на CO. Данные собранные с CO, разбавляют N2, демонстрируя немного более сильный отклик, чем когда кислород присутствует в смеси. Изучение полученных данных показывает, что разность между кривыми была в пределах ошибки, которые могли бы привести к 1% от полной шкалы при измерении кислорода. Результат (как H2) с CO может рассчитывается как Ax^2+Bx , где $A = -4.77 \times 10^{-8}$ и $B = -9,28 \times 10^{-3}$. В качестве быстрой оценки, результат H2,

OXIDES OF NITROGEN

NOX is a problematic pollutant in diesel exhaust that is often present in the hundreds of ppm. The TC of NO suggests it should have little response, but the TC of NO2 is higher. N2O is often present as well, but generally at very low concentrations. Cross-interference by these compounds was also investigated, using nitrogen as a diluent in the gas divider. NO caused no significant interference at concentrations as high as 991 ppm. NO2 interference was also insignificant at concentrations as high as 85 ppm. N2O was only checked to a concentration of 20 ppm, but also showed insignificant response. Interferences from these compounds could be significant at higher concentrations, particularly with NO2. The concentrations that were checked for this study were deemed acceptable for the application in which the TCD is being considered.

WATER

Water vapor is a large constituent of engine exhaust and is known to have a large effect on most TCDs. As the TCD being used for this study required a non-condensing sample, the water was mostly removed from the sample by the chiller. An experiment was conducted to investigate the interference caused by water and to verify that any water left after the chiller was not problematic. The gas divider was again used, this time with a humidified nitrogen gas diluted with a dry nitrogen gas. A few points that remained overall non-condensing were investigated. The data showed that the water in the sample caused a positive interference in the TCD. Next, the sample system was fed a humidified nitrogen stream, and the conditioned sample fed to the TCD. The TCD reading remained constant both when the sample stream was humidified and when it wasn't. This result confirmed that although water has a positive response to the TCD, the sample system removes enough water to prevent a problematic cross-

как правило, около 1% от концентрации CO.

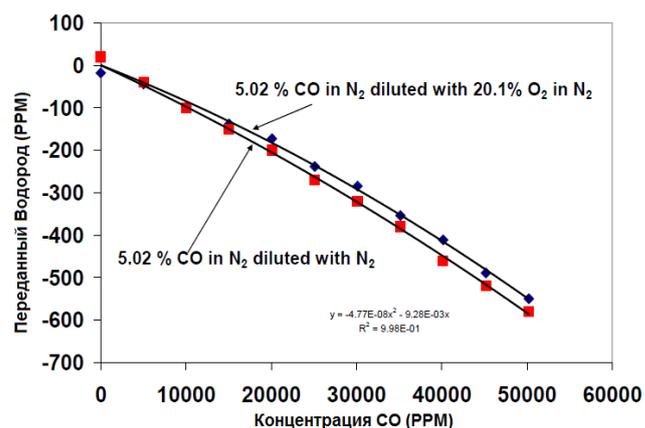


Рисунок 7. Результат TCD (как водород) в различной концентрации CO.

ОКИСЛЫ АЗОТА

NOX является проблематичным загрязняющим веществом в выхлопных газах дизельных двигателей, которые часто присутствует в сотнях частей на миллион. Теплопроводность NO предполагает, что он должен иметь небольшой результат, но теплопроводность NO2 выше. N2O также часто присутствует, но в целом при очень низких концентрациях. Перекрестные помехи этими соединениями исследовалась также, с использованием азота в качестве разбавителя в газовом сепараторе. NO не вызвало существенных помех когда концентрация достигла 991 частей на миллион. NO2 вмешательство также было незначительным при концентрациях, достигающих 85 частей на миллион. N2O была проверена до концентрации 20 частей на миллион, но также показала незначительную реакцию. Помехи от этих соединений могут быть значительными при более высоких концентрациях, в частности, с NO2. Концентрации, которые были проверены на предмет данного исследования, считаются приемлемыми для применения, в которых участвует TCD.

ВОДА

Водяной пар является большей составной ча-

interference.

UNCERTAINTY ESTIMATION

The need to correct instrument response for several possible interferences presents the opportunity for error stack-up to be significant. An understanding of the magnitude of the potential uncertainty is important to establishing a lower bound on the measurement that can be relied upon. Taking the square root of the sum of the squares of the errors introduced by each species measurement is widely accepted as an estimate of uncertainty. Performing this calculation and assuming errors of 1% of full scale for O₂, HC, CO, and H₂, plus 4% of full scale (as H₂) for the CO₂ interference yields an uncertainty estimate for this method of 0.083% (830 ppm) H₂, or 4.15% of full scale of the H₂ measurement. This estimate is highly dependent upon the full scale values of these measurements. For the purposes of this calculation (and the application being developed) the full scale values were 25% for O₂, 5% for CO, 1% for HC, and of course 2% for H₂. Including a term to account for CO₂ measurement error in addition to the error estimated from the data in Figure 2 does not impact the uncertainty significantly. In fact, the total uncertainty is dominated by the approximately 4% of full scale error introduced by CO₂. Reductions in the uncertainties of the other species will not significantly reduce the overall uncertainty. Reducing the CO₂ level in the sample stream would have a dramatic effect on the uncertainty, but engine conditions that produce significant amounts of H₂ are almost certain to contain high CO₂ concentrations as well. CO₂ traps for instrumentation are commercially available and may be useful for reducing CO₂ interference with the TCD if lower uncertainty is needed. It may also be possible to reduce the CO₂ cross-interference through inclusion of a fixed amount of CO₂ in both the zero and span calibration gases. This ap-

стью выхлопных газов двигателя и, как известно, имеют высокое влияние на большинство TCD. По мере того, как TCD используется, для этого исследования требуется проба без конденсации, вода была в основном удалена из образца холодильной машиной. Эксперимент проведен с целью изучения помехи, вызванной водой и проверить, что любая вода, оставшиеся после холодильной машины не проблематична. Газовый сепаратор был снова использован, на этот раз увлажненный газообразным азотом, разбавленный сухим азотом. Несколько моментов, которые остались в целом без конденсации были исследованы. Данные показали, что вода в образце вызвала положительное вмешательство в TCD. Затем образец подавался увлажненному потоку азота, и условный образец подается на TCD. Показания TCD оставались неизменными как при потоке увлажненного образца, так и когда его не было. Этот результат подтверждает, что хотя вода имеет положительный ответ на TCD, система удаляет из образца достаточное количество воды, чтобы предотвратить перекрестные помехи.

НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ РАСЧЕТОВ

Необходимость исправления ответа прибора в процессе нескольких возможных помех, дает возможность ошибки. Для понимания величины потенциальной неопределенности важно установление нижней границей на измерение, которое может получиться. Принимая квадратный корень из суммы квадратов ошибок, вносимых каждым видом измерения, получил широкое признание в качестве оценки неопределенности. Выполнение этого расчета и предполагая, ошибки в размере 1% от полной шкалы для O₂, HC, CO и H₂, плюс 4% от полной шкалы (как H₂) для интерференции CO₂ дает оценку неопределенности для данного метода 0,083% (830 ppm) H₂, или 4,15% от полной шкалы измерения H₂. Эта оценка в значительной степени зависит от полной шкалы значения этих измерений. Для целей настоящего расчета (и применения разработок) полной

proach could be useful if H₂ producing conditions are found to also produce a sufficiently narrow range of CO₂ concentrations.

DISCUSSION

APPLICATION OF CORRECTIONS The cross-interference of several gases of concern have been identified for this TCD instrument. The corrections can be applied in data-collection systems, producing a corrected H₂ measurement in-situ, or the corrections can be post-processed to correct the H₂ measurement during subsequent data analysis. In either case, applying corrections to the TCD reading is a straightforward process that is similar to linearization algorithms for non-dispersive infrared (NDIR) instruments. In practice, the O₂ and CO₂ corrections have the most significance, since those species are present in large and variable concentrations relative to other exhaust species. Although several species have been identified potentially induce a cross-interference for the TCD, most cases result in a conservative measure of the H₂ that is present. O₂, NO₂, and CH₄ are the only species that are likely to be present in exhaust that result in a significant positive cross-interference for H₂ in the TCD. NO₂ and CH₄ are generally not present at high enough concentrations to cause a significant error. CO₂ also results in a small positive cross-interference because its interference is slightly overcompensated, but produces a negative response in the TCD prior to correction. The other gases of concern (other HCs, CO, NOX) exhibit very small responses and are also generally present at much lower concentrations. Several of these species taken together are somewhat self-correcting, as some have small positive responses and others small negative responses. Many HCs will be removed by the chiller, further reducing their impact. In fact, it may be appropriate in many cases to simply neglect the small effects from HCs.

PRACTICAL CONSIDERATIONS

шкалы значения были 25% для O₂, 5% для CO, 1% для HC, и, конечно, 2% для H₂. В том числе термин для учета погрешности измерения CO₂ в дополнение к ошибке. По оценкам из данных на рисунке 2, не влияет на неопределенность значительно. На самом деле, общая неопределенность подавляет примерно 4% от полной шкалы ошибок введенных CO₂. Снижение неопределенности других видов не позволит значительно сократить общую неопределенность. Снижение уровня CO₂ в образце будет иметь существенное влияние на неопределенность, но условия работы двигателя, которые производят значительное количество H₂ почти наверняка содержат высокую концентрацию CO₂. Ловушки CO₂ для приборов являются коммерчески доступными и могут быть полезны для снижения помех CO₂ с TCD, если ниже неопределенность требуется. Он также может уменьшить перекрестные помехи от CO₂ путем включения фиксированного количества CO₂ в обеих калибровках нулевой и интервала газа. Такой подход может быть полезен, если H₂ производится в условиях, когда также производят в достаточно узком диапазоне концентрации CO₂.

ОБСУЖДЕНИЕ

ПРИМЕНЕНИЕ ИСПРАВЛЕНИЙ Перекрестные помехи из нескольких газов, вызывающих озабоченность, были определены для этого TCD инструмента. Поправки могут применяться в системах сбора данных, производя исправление измерений H₂ на месте, или поправки могут вступить в силу после обработки, для коррекции измерения H₂ в ходе последующего анализа данных. В любом случае, применение поправок к чтению TCD является простым процессом, который похож на линейризацию алгоритмов не дисперсионного инфракрасного (NDIR) инструмента. На практике, коррекция по O₂ и CO₂ имеют наибольшее значение, так как эти виды присутствуют в больших концентрациях и переменных по отношению к другим видам выхлопных газов.

Хотя несколько определенных видов потенци-

The commercial TCD instrument selected for this study is capable of measuring H₂ at levels as low as 200 ppm. However, species present in complex exhaust mixtures result in the uncertainty of the measurement rising to 830 ppm. If H₂ is present at percent levels, this uncertainty level is not problematic. Percent levels of H₂ are likely to be present only during fuel-rich operation of the engine, which is a condition of interest. The relatively high uncertainty is likely to be problematic for conditions where H₂ production might only be a few hundred ppm, such as conditions where high CO concentrations might lead to H₂ production through steam reformation or water-gas shift reaction. Since correction of the cross-interference from O₂ can be corrected with somewhat less uncertainty than that of CO₂, measurements using bag samples diluted with air are likely to be successful provided that the dilution ratio is not too large. Diluting sample bags with N₂ would increase the likelihood of success. A CO₂ trap would almost certainly represent a reliable solution with bag sampling as the CO₂ content of the sample is already reduced compared with undiluted sampling.

Given the measurement uncertainty introduced by the correction of cross-interferences, applications requiring H₂ measurements at low-ppm levels would not be well served by this technique. In these cases, mass spectrometry techniques would be a better selection because they do not suffer from the cross-interferences that give rise to the higher uncertainty for the TCD based method. However, for steady-state applications where the H₂ concentration is in the thousands of ppm, the TCD method is a reliable, cost-effective technique.

EXHAUST MEASUREMENTS

This approach for H₂ measurement is being used in a project investigating non-traditional combustion regimes for diesel engines. These regimes typically utilize high levels of EGR

ально вызывают перекрестную помеху для TCD, в большинстве случаев приводят к консервативным измерениям H₂. O₂, NO₂ и CH₄ являются единственными видами, которые присутствуют в выхлопных газах, и приводят к значительному положительному эффекту перекрестных помех для H₂ в TCD. NO₂ и CH₄, как правило, не присутствует в достаточно высокой концентрации, чтобы вызвать значительную ошибку. CO₂ также приводит к небольшой положительной перекрестной помехе, так как его вмешательство слегка перенасыщено, но производит отрицательный эффект в TCD до коррекции. Другие газы, вызывающие озабоченность (HC, CO, NOX) обнаруживается очень мало результатов, и также обычно присутствуют в гораздо более низких концентрациях. Некоторые из этих видов вместе взятые, представляют несколько самокорректирующимися, так как некоторые имеют небольшие положительные отзывы, а другие небольшие отрицательные результаты. Многие HC будут удалены холодильной машиной, приведет к дальнейшему снижению их воздействия. На самом деле, это может быть уместно во многих случаях, просто пренебрегая небольшой эффект от HC.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ Коммерческий инструмент TCD выбранный для этого исследования может измерить H₂ на уровнях столь низких, как 200 частей на миллион. Однако, виды, присутствующие в сложных выхлопных смесях приводят к неопределенности измерения, до 830 частей на миллион. Если H₂ присутствует на уровне процента, этот уровень неопределенности не является проблематичным. Уровни процентов H₂, вероятно, будут мешать только во время обогащенной топливом работы двигателя, которая является условием работы. Относительно высокая неопределенность может быть проблематична для условий, где произведенный H₂ может быть лишь в нескольких сотнях частей на миллион. Таких как условия, где высокие концентрации CO

which can produce high CO levels in the exhaust, especially when used in fuel-rich engine operation. To date, this TCD approach has been utilized for measurements of exhaust H₂ in fuel-lean environments and near-stoichiometric conditions with varying levels of exhaust gas recirculation (EGR), up to 55%. Some of these high-EGR conditions produce large amounts of CO and may produce H₂ in small amounts. Conditions near (or rich of) stoichiometry may produce more H₂. As discussed previously, the amount of measurement uncertainty generally precludes accurate quantification of the H₂ at levels lower than about 800 ppm. More accurate quantification is possible above that level.

In low-EGR conditions, the TCD method returns H₂ values that were slightly negative, but within 1% of full scale error of zero concentration. A negligible amount of H₂ would be expected at these fuel-lean, low-CO (<800 ppm) conditions. This response is encouraging,

especially given that the CO₂ levels at these conditions were generally about 6.5%.

As the EGR was increased, both CO and CO₂ increased. The TCD instrument also showed an increased H₂ measurement. The H₂ measurement was 600 ppm after correction for O₂, CO, CO₂, and HCs.

Comparing this measurement with another point of similar CO₂ concentration but lower H₂ (185 ppm) showed that the increase in H₂ between the two points was higher than the expected increase in error due to the CO₂ increase between the two points. This suggests that ppm-level concentrations of H₂ are likely present, but absolute quantification at these levels wasn't possible. A comparison between this approach and a mass-spectrometer approach cited earlier (4) would validate the TCD method for lower levels of H₂, and is being planned for future studies. H₂ was found to increase as the air/fuel ratio was decreased. Concentrations in excess of 4,000

могут приводить к производству H₂, через паро реформирования или водно-газовой реакции. Так как коррекция по O₂ может быть исправлена с несколько меньшей неопределенностью, чем CO₂, измерения с использованием образца, в мешке разбавляемым воздухом, при условии, что коэффициент разбавления не слишком велик. Разбавление образца в мешке с N₂ увеличит вероятность успеха. Ловушка CO₂ представляет собой надежное решение камеры для отбора проб, где содержание CO₂ образца уже снижено по сравнению с неразбавленной пробой.

Учитывая неопределенность измерений, внесимая коррекция перекрестных помех, требующая приложения измерений H₂ на низких уровнях ppm, не будет хорошо работать с этой техникой. В этих случаях, метод спектрометрии был бы лучшим выбором, потому что они не страдают от перекрестных помех, что вызывает появление более высокой неопределенности на основе TCD метода. Тем не менее, для стационарных приложений где концентрация H₂ в тысячи частей на миллион, метод TCD является надежным, экономически эффективным методом.

ВЫХЛОПНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Такой подход для H₂ измерения используется в проекте исследования нетрадиционных режимов сгорания для дизельных двигателей. Эти режимы обычно используют высокие уровни EGR, что может приводить к высоким уровням CO в выхлопных газах, особенно при работе на обогащенной топливом смеси. На сегодняшний день этот TCD подход был использован для измерений в выхлопных газах H₂ в топливо-обедненной среде и близко к стехиометрическим условиям с различными уровнями выхлопа и рециркуляции отработавших газов (EGR), до 55%. Что-то из этих условий высокой EGR производят большое количество CO и может производить H₂ в небольших количествах. Условия близкие к (или богатой) стехиометрии могут производить больше H₂. Как обсуждалось ранее, количество измерений

ppm were produced as the engine approached stoichiometric conditions. This concentration is about 5 times higher than the maximum measurement uncertainty, showing that the instrument can detect and quantify H₂ in engine exhaust that results from combustion. However, there was no means of independently assessing the accuracy of the measurement. Several air/fuel ratio conditions were examined with the gas sample taken behind an oxidation catalyst to assure that variations in air/fuel ratio (lean of stoichiometry) were themselves not causing false H₂ measurements. Insignificant H₂ was expected at these conditions, and the instrument reported slightly negative values within 1% of full scale error of zero concentration.

A short experiment was conducted in an attempt to validate H₂ measurements in engine exhaust in a controlled manner. The instrument was used to measure exhaust gas at a fixed engine condition that was unlikely to produce significant amounts of H₂. H₂ calibration gas was introduced at varying levels into the

sample stream with the engine exhaust. The methodology reported here was used to correct the instrument reading for cross-interferences caused by the

presence of O₂ (~14%) and CO₂ (~6%). The O₂ and CO₂ concentrations varied slightly as the amount of H₂ calibration gas was varied. The resulting concentrations were within 200 ppm of the correct values for all conditions examined (up to 2500 ppm). Further efforts to reduce the error and uncertainty in the H₂ measurement are ongoing, including the use of a molecular sieve CO₂ trap.

CONCLUSIONS

- Several gases present in engine exhaust produce cross-interferences for TCD-based H₂ measurements, but these interferences were corrected with measurements from instrumentation typically in place in engine research facilities.

неопределенности обычно не позволяет точно количественно оценить H₂ на уровне ниже, чем примерно 800 ppm. Более точный количественный анализ можно получить выше этого уровня.

В условиях низкой EGR, метод TCD возвращает значения H₂, которые были слегка отрицательными, но в пределах 1% от полной шкалы погрешности нулевой концентрации. Незначительное количество H₂ можно было бы ожидать на обедненной смеси топлива, с низким содержанием CO (<800 частей на миллион). Этот результат является обнадеживающим, особенно с учетом того, что уровень CO₂ при этих условиях как правило, около 6,5%.

По мере того как система рециркуляции отработавших газов была увеличена, оба вещества CO и CO₂ прибавились. Прибор TCD также показал увеличение H₂. Измерение H₂ было 600 ppm после коррекции для O₂, CO, CO₂ и HC. Если сравнивать этот показатель с другой стороны, одинаковая концентрация CO₂, но ниже H₂ (185 ppm) показали, что увеличение H₂ между двумя точками была выше, чем ожидаемое увеличение погрешности из-за увеличения CO₂ между двумя точками. Это предполагает, что концентрации ppm уровня H₂, вероятно, присутствуют, но абсолютное количественное определение на этих уровнях не возможно. Сравнение между этим способом и масс-спектрометром приведены ранее (4), проверить метод TCD для более низких уровней H₂, и планируется для будущих исследований. Обнаружено увеличение H₂, когда было уменьшено соотношение воздух/топливо. Концентрации, превышающие 4000 ppm были произведены, когда двигатель подошел к стехиометрическим условиям. Эта концентрация примерно в 5 раз выше, чем максимальная погрешность измерения, показывает, что прибор может обнаруживать и количественно H₂ в выхлопных газах двигателя, что происходит в результате сжигания. Тем не менее, не было средства оценки независимо от точности измерение. Несколько условий соотношения воз-

- The TCD response time is sufficient for using the instrument for steady-state sampling applications.
- Uncertainty estimation shows that the TCD can produce reliable H₂ measurements at H₂ concentrations in the thousands of ppm, but measurement uncertainty may be too high at concentrations in the hundreds of ppm.
- It may be possible to further reduce uncertainty and error introduced by the presence of high-level of CO₂.

дух/ топливо были исследованы с пробой газов, отбираемых после окисления катализатором, чтобы гарантировать, что изменения соотношения воздух/топливо (наклон стехиометрии) не приводит к возникновению ложных H₂ измерений. Незначительное присутствие H₂, как ожидается, в этих условиях, прибор сообщает слегка отрицательные значения в пределах 1% от полной шкалы погрешности нулевой концентрации.

Короткий эксперимент был проведен в попытке проверить измерения H₂ в выхлопных газах двигателя в контролируемой манере. Инструмент был использован для измерения выхлопных газов, при фиксированном состоянии двигателя, вряд ли будет производить значительные количества H₂. H₂ калибровочный газ был включен на различных уровнях в поток пробы с выхлопной трубы двигателя. Методология сообщила, здесь использовался инструмент исправления чтения перекрестных помех, вызванных наличием O₂ (~14%) и CO₂ (~6%). O₂ и концентрация CO₂ незначительно изменяться, но количество H₂ калибровочного газа изменялась. Полученные концентрации находились в пределах 200 ppm правильных значений для всех

условий исследования (до 2500 ppm). Дальнейшие усилия для уменьшения ошибок и неопределенности в H₂ измерении продолжают, в том числе использованием молекулярной сито-ловушки CO₂.

ВЫВОДЫ

- Несколько газов, присутствующих в выхлопных газах двигателя приводят к перекрестным помехам для TCD на основе H₂ измерения, но эти помехи были исправлены системой измерительных приборов, как правило, на месте в двигателе научно-исследовательских учреждений.
- Время отклика TCD достаточно для использования прибора для стационарного отбора проб.
- Оценка неопределенности показывает,

	<p>что TCD может производить надежные измерения N₂ при N₂ концентрации в 1000 ppm, но погрешность измерения может быть слишком высокой в концентрации 100 ppm.</p> <ul style="list-style-type: none">• Может быть в дальнейшем получится еще больше снизить неопределенность и ошибки, вносимые при наличии высокого уровня CO₂.
--	---

2 Тепловой расчет двигателя

2.1 Тепловой расчет двигателя по методике Вибе

Исходные данные: $V_L = 1.5$ л; $n_N = 7200$ мин⁻¹; $i = 4$ – число цилиндров; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 10,5$ – степень сжатия.

Расчет производится на следующих скоростных режимах: $n_{\min} = 900$ мин⁻¹; $n = 2000$ мин⁻¹; $n_M = 4000$ мин⁻¹; $n_N = 7200$ мин⁻¹; $n_{\max} = 8000$ мин⁻¹.

Средний элементарный состав и молекулярная масса топлива: $C = 0,855$; $H = 0,145$ и $m_T = 115$ кг/кмоль.

Низшая теплота сгорания топлива:

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

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

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

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

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

Применение впрыска топлива и электронного управления позволяет принять коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$.

Далее проводятся расчетные формулы, а результаты расчета для всех режимов приводятся в виде таблиц.

Количество горючей смеси:

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

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

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0; \text{ кмоль } CO_2/\text{кг топл;} \quad (2.5)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0; \text{ кмоль } H_2O/\text{кг топл;} \quad (2.6)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0; \text{ кмоль } N_2/\text{кг топл.} \quad (2.7)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2}; \text{ кмоль пр.сг./кг топл.} \quad (2.8)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (2.9)$$

Результаты расчета параметров рабочего тела приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры рабочего тела

$n, \text{ мин}^{-1}$	α	$M_1,$ кмоль гор.см./кг топл.	$M_{CO_2},$ кмоль CO_2 /кг топл.	$M_{CO},$ кмоль CO /кг топл.	$M_{H_2O},$ кмоль H_2O /кг топл.	$M_{H_2},$ кмоль H_2 /кг топл.	$M_{N_2},$ кмоль N_2 /кг топл.	$M_2,$ кмоль пр.сг./кг топл.	μ_0
900	0,96	0,504849	0,0655	0,0057	0,0696	0,0029	0,3923	0,536704	1,063097
2000	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
4000	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
7200	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
8000	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
Двигатель ВА3-2112									
900	0,96	0,504849	0,0655	0,0057	0,0696	0,0029	0,3923	0,536704	1,063097
2600	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
3700	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
5000	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243
5600	1	0,5247	0,0713	0	0,0725	0	0,4087	0,5524	1.05243

Атмосферные условия:

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

Давление остаточных газов:

$$p_r = p_k(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (2.10)$$

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

$$A_p = (p_{rN} - p_0 \cdot 1,035) 10^8 / (n_N^2 p_0). \quad (2.11)$$

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

Таблица 2.2 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

$n, \text{ мин}^{-1}$	$\rho_k, \text{ кг/м}^3$	$T_k, \text{ К}$	$p_k, \text{ Мпа}$	$T_r, \text{ К}$	$p_r, \text{ Мпа}$
900	1,189	293	0,1	1105	0,110
2000	1,189	293	0,1	1210	0,113
4000	1,189	293	0,1	1300	0,115
7200	1,189	293	0,1	1330	0,118
8000	1,189	293	0,1	1370	0,120

Двигатель ВА3-2112					
900	1,189	293	0,1	1080	0,109
2600	1,189	293	0,1	1161	0,112
3700	1,189	293	0,1	1245	0,114
5000	1,189	293	0,1	1265	0,116
5600	1,189	293	0,1	1305	0,118

Температура подогрева свежего заряда на номинальном скоростном режиме принимается $\Delta T_N = 8^\circ\text{C}$. Тогда, $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N) = 8 / (110 - 0,0125 \cdot 5600) = 0,2$;

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n) = 0,2 (110 - 0,0125n) = 22 - 0,0025n. \quad (2.12)$$

Плотность заряда на впуске:

$$\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ кг/м}^3. \quad (2.13)$$

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:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{оч} p_r}{\varepsilon \varphi_{доз} p_a - \varphi_{оч} p_r} = \frac{293 + 8}{1060} \cdot \frac{0,118}{9,9 \cdot 1,1 \cdot 0,085 - 0,118} = 0,0415, \quad (2.16)$$

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

$$V_a = 8,314 \cdot 10^{-3} \left[\left(\alpha \cdot \frac{l_0}{\mu_B} + \frac{1}{\mu_m} \right) T_a \right] / [(1 + \alpha \cdot l_0) p_a] \text{ (м}^3\text{)}, \quad (2.19)$$

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

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

н, мин ⁻¹	ΔТ, °С	Δр _а , МПа	р _а , МПа	φ _{оч}	φ _{доз}	γ _г	Т _а , К	η _v	V _а , К
900	19,75	0,010275	0,089725	0,99	0,9	0,041708	344,4699	0,728776	1,05061
2000	17	0,016054	0,083946	0,94	0,96	0,036777	341,9252	0,736186	1,11679
4000	12	0,021231	0,078769	0,88	1,05	0,030947	334,8677	0,775829	1,16563
7200	4	0,0271313	0,072869	0,84	0,97	0,034421	331,3737	0,667776	1,24686
8000	2	0,031466	0,068534	0,8	0,92	0,03652	332,8754	0,591791	1,33173
Двигатель ВАЗ-2112									
900	19,75	0,005779	0,094221	1	0,85	0,043126	344,4703	0,721787	1,00049
2600	15,5	0,010275	0,089725	0,94	0,93	0,036289	338,3532	0,770691	1,03394
3700	12,75	0,013588	0,086412	0,98	1	0,033797	336,4559	0,804532	1,06756
5000	9,5	0,016054	0,083946	0,81	0,95	0,029931	330,4714	0,758778	1,07938
5600	8	0,019425	0,080575	0,77	0,94	0,029751	330,0071	0,721778	1,12296

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений

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

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

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

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

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

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

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

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

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

n , мин ⁻¹	μ	n_I	P_c , МПа	T_c , К	θ° ПКВ	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
900	1,06057	1,3704	2,250885	822,9999	15	0,120855	1,737669	767,4028
2000	1,050572	1,37167	2,112198	819,3635	22	0,153412	1,278015	715,0775
4000	1,050858	1,3728	1,987199	804,5864	26	0,179064	1,030859	673,2341
7200	1,050688	1,37517	1,848629	800,6406	29	0,2086996	0,851296	647,9795
8000	1,050585	1,37525	1,738991	804,6256	32	0,242999	0,711395	630,4833
Двигатель ВАЗ-2112								
900	1,060488	1,37058	2,364652	823,3493	15	0,115161	1,823871	767,5247
2600	1,050596	1,372	2,259369	811,433	20	0,134725	1,469604	722,1175
3700	1,050718	1,3728	2,180028	808,4022	23	0,150917	1,267603	697,7188
5000	1,050909	1,37378	2,122703	795,8551	26	0,166039	1,098591	665,2796
5600	1,050917	1,3753	2,044748	797,5824	28	0,182916	0,977444	652,0824

Коэффициент выделения теплоты δ , учитывающий неполное сгорание топлива;

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

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

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

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. Здесь температура T_2 определяется методом пробных подстановок.

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

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

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

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,

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

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

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

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

n, мин ⁻¹	δ	Ψ	ζ	q _z , Дж/кг	E ₂ , МПа	$\varphi_z, ^\circ\text{ПКВ}$	m
900	0,9435	0,81	0,764277	2098,549	41,946456	42	3.1
2000	1	0,86	0,86	2310,212	43,440894	48	3.2
4000	1	0,96	0,96	2590,321	46,66714	54	3.3
7200	1	0,97	0,97	2555,006	43,03215	60	3.4
8000	1	0,99	0,99	2630,187	41,46473	70	3.5
Двигатель ВАЗ-2112							
900	0.9435	0,81	0,764277	2095,696	43,98798	40	3.1
2600	1	0,86	0,86	2284,733	46,40438	48	3.2
3700	1	0,96	0,96	2556,549	50,28953	55	3.3
5000	1	0,97	0,97	2592,875	50,44589	58	3.4
5600	1	0,99	0,99	2646,799	49,49647	62	3.5

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° поворота коленчатого вала находятся из соотношений

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

где φ_{PT} – текущее значение поворота коленчатого вала

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

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

Для оценки правильности выбора значения температуры отработавших газов, произведём проверку

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

погрешность расчёта Δ :

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

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

$n, \text{мин}^{-1}$	$V_z, \text{м}^3$	$T_z, \text{К}$	$P_z, \text{МПа}$	δ	n_2	$P_b, \text{МПа}$	$T_b, \text{К}$	$T_r, \text{К}$	$\Delta, \%$
900	0,16606	2605,3	4,553	6,3267	1,1888	0,507	1838	1104,2	-0,065
2000	0,171561	2819,93	4,734	6,5096	1,1824	0,517	2004	1207	-0,194
4000	0,189587	3012,81	4,578	6,148	1,1752	0,541	2191	1307,5	0,579
7200	0,22103	2920,74	3,806	5,641	1,1774	0,496	2148	1331	0,081
8000	0,28784	2860,89	2,863	4,6278	1,1779	0,471	2178	1380,9	0,066
Двигатель ВА3-2112									
900	0,1494	2639,83	5,121	6,688	1,188	0,5354	1846,58	1086,178	0,572
2600	0,1684	2756,27	4,714	6,139	1,1835	0,5504	1975,7	1162,08	0,093
3700	0,1951	2913,76	4,303	5,474	1,1775	0,5815	2155,05	1244,545	-0,036
5000	0,1972	2929,05	4,279	5,474	1,1767	0,5789	2168,77	1265,439	0,0347
5600	0,2052	2976,31	4,179	5,474	1,175	0,5669	2209,79	1309,556	0,349

Ошибка выбора температуры остаточных газов не превышает 5 %.

Теоретическая индикаторная работа цикла определяется по методу трапеций

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

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

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

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

n, мин ⁻¹	L _i , кДж	P _i , Мпа	N _i , кВт	η _i	g _i , г/кВт*ч
900	0,9854048	1,0366619	11,662446	0,3982229	205,78797
2000	1,1065808	1,095157	27,378926	0,4335122	189,03617
4000	1,2406601	1,1764051	58,820254	0,4418794	185,45667
7200	1,187885	1,0529843	94,768588	0,4595196	178,3373
8000	1,1750886	0,9750105	97,501045	0,480124	170,68399
Двигатель ВАЗ-2112					
900	1,0012	1,1060343	12,442886	0,4289854	191,03093
2600	1,09	1,1651984	37,868947	0,4405874	186,00051
3700	1,1957	1,2379594	57,255621	0,4484105	182,75552
5000	1,224	1,2533459	78,334121	0,4813589	170,24613
5600	1,2406	1,2210353	85,47247	0,4929888	166,22992

Средняя скорость поршня:

$$v_n = \frac{Sn}{30}, \text{ м/с} \quad (2.56)$$

Среднее давление механических потерь

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

Среднее эффективное давление

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

Механический К.П.Д.

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

Эффективный К.П.Д.

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

Удельный эффективный расход топлива

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

Эффективная мощность

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

Часовой расход топлива

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

Крутящий момент

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

Результаты расчета эффективных показателей двигателя приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Эффективные показатели двигателя

n, мин ⁻¹	V _{п.ср.} , 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
900	1,68	0,061176	0,975486	0,94	0,3747	218,6936	10,97422	115,5912	2,399
2000	3,73	0,08828	1,006877	0,92	0,3985	205,6103	25,17193	119,3109	5,175
4000	7,467	0,13756	1,038845	0,88	0,3902	210,0141	51,94225	123,099	10,908
7200	13,44	0,216408	0,836576	0,79	0,365	224,4701	75,29187	99,13095	16,901
8000	14,93	0,23612	0,73889	0,75	0,3638	225,2278	73,88905	87,55556	16,6411
Двигатель ВА3-2112									
900	2,13	0,0671	1,0389	0,93	0,4029	273,3719	11,68	123,99	3,377
2600	6,153	0,1202	1,0449	0,89	0,3951	267,3998	33,96	124,72	9,043
3700	8,756	0,1546	1,0834	0,87	0,3924	258,8332	50,11	129,3	12,464
5000	11,833	0,1952	1,0581	0,84	0,4064	261,652	66,13	126,29	15,336
5600	13,253	0,2139	1,0071	0,82	0,4066	271,5434	70,49	120,19	17,208

2.2 Тепловой баланс двигателя

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом [1]:

$$Q_o = \frac{H_u G_T}{3.6} = \frac{43930 G_T}{3.6} = 12203 G_T \quad (2.67)$$

Теплота, эквивалентная эффективной работе за 1 с:

$$Q_e = 1000 N_e \text{ и } q_e = Q_e * 100 / Q_o \quad (2.68)$$

Теплота, передаваемая охлаждающей среде:

$$Q_B = \frac{ciD^{1+2m}n^m(H_u - \Delta H_u)}{\alpha H_u}, \quad (2.69)$$

$$q_B = Q_B * 100 / Q_0; \quad (2.70)$$

Теплота, унесенная с отработанными газами:

$$Q_r = \left(\frac{G_T}{3.6} \right) \left\{ M_2 \left[(mc_V'')_{t_o}^{t_r} + 8.315 \right]_{t_r} - M_1 \left[(mc_V'')_{t_o}^{t_0} + 8.315 \right]_{t_0} \right\}, \quad (2.71)$$

$$q_r = Q_r * 100 / Q_0 \quad (2.72)$$

где $(mc_V'')_{t_o}^{t_0} = 20.775 \text{ кДж}/(\text{кмоль} * \text{град})$ – теплоемкость свежего заряда; $(mc_V'')_{t_o}^{t_r}$ - теплоемкость остаточных газов.

Теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива.

$$Q_{н.с} = \Delta H_U * G_T / 3,6 \quad (2.73)$$

$$q_{н.с.} = Q_{н.с.} * 100 / Q_0 \quad (2.74)$$

Неучтенные потери теплоты:

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_s + Q_r + Q_{н.с.}), \quad (2.75)$$

$$q_{ост} = Q_{ост} * 100 / Q_0 \quad (2.76)$$

Результаты расчетов тепловой баланс двигателя сводим в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 - Тепловой баланс разрабатываемого двигателя

n, мин ⁻¹	G _T , кг/ч	Q ₀ , Дж/с	Q _e , Дж/с	q _e , %	Q _B , Дж/с	q _B , %	Q _r , Дж/с	q _r , %	Q _{н.с.} , Дж/с	q _{н.с.} , %	Q _{ост} , Дж/с	q _{ост} , %
900	2,4	23363	8432	36,1	6352	27,2	6080	26,0	0	0	1181	5,1
2000	5,2	42977	16556	38,5	12405	28,9	12509	29,1	0	0	1508	3,5
4000	10,9	60525	22048	36,4	18022	29,8	18004	29,7	0	0	2450	4,0
7200	16,9	107949	33381	30,9	34522	32,0	35201	32,6	0	0	4845	4,5
8000	16,6	115752	33212	28,7	35804	30,9	36961	31,9	0	0	6514	5,6

3 Кинематический расчет

Премещение поршня. [2].

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

Угловая скорость вращения коленчатого вала

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

Скорость поршня

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

Ускорении поршня

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

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

$$j_{\max} = \omega^2 R (1 + \lambda) = 586^2 \cdot 35,5 (1 + 0,289) = 15767 \text{ м/с}^2. \quad (3.4)$$

4 Динамический расчет

С учетом диаметра цилиндра, отношения S/D , рядного расположения цилиндров и достаточно высокого значения p_z устанавливаются: [1]

- масса поршневой группы:

$$m_n = m'_n \cdot F_n = 75 \cdot 0,00535 = 0,316 \text{ кг}; \quad (4.1)$$

- масса шатуна :

$$m_{ш} = m'_{ш} \cdot F_n = 109,6 \cdot 0,00535 = 0,624 \text{ кг}; \quad (4.2)$$

- масса неуравновешанных частей одного колена вала без противовесов :

$$m_k = m'_k \cdot F_n = 150 \cdot 0,00535 = 0,805 \text{ кг}. \quad (4.3)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{ш.п} = 0,275 \cdot m_{ш} = 0,275 \cdot 0,624 = 0,165 \text{ кг}. \quad (4.4)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,725 \cdot m_{ш} = 0,725 \cdot 0,624 = 0,473 \text{ кг}. \quad (4.5)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.п} = 0,316 + 0,165 = 0,481 \text{ кг}. \quad (4.6)$$

Массы, совершающие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{ш.к} = 0,805 + 0,473 = 1,278 \text{ кг}. \quad (4.7)$$

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс

$$p_j = -jm_j/F_n = -j0,481 \cdot 10^{-6}/0,00535 = -j141 \cdot 10^{-6} \text{ МПа.} \quad (4.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -1,278 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -28,02 \text{ кН.} \quad (4.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна

$$K_{Ru} = -m_{u.k} R \omega^2 = -0,473 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -8,7 \text{ кН.} \quad (4.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rk} = -m_k R \omega^2 = -0,805 \cdot 0,00374 \cdot 586^2 = -19,32 \text{ кН.} \quad (4.11)$$

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_z + p_j \text{ (МПа).} \quad (4.12)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \cdot \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа).} \quad (4.13)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа).} \quad (4.14)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа).} \quad (4.15)$$

Удельная и полная тангенциальные силы

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)} \text{ и } T = p_T \cdot 0,004776 \cdot 10^3 \quad (4.16)$$

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_i F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 4} \cdot 1,2486 \cdot 0,00535 = 1063 \text{ Н}; \quad (4.17)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} Mp = \frac{1991 \cdot 1170}{240} \cdot 0,05 = 0,196 \text{ МПа}; \quad (4.18)$$

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

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{II} = 0,196 \cdot 0,00535 \cdot 10^6 = 1049 \text{ Н}; \quad (4.19)$$

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0374 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (4.20)$$

Период изменения крутящего момента четырехтактного двигателя с равными интервалами между вспышками

$$\Theta = 720 / i = 720 / 4 = 180^0 \quad (4.21)$$

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ср} = M_i = M_e / \eta_m = 143,8 / 0,9052 = 158,8 \text{ Нм} \quad (4.22)$$

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

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_m = \frac{1470 - 615}{60} 10 = 160,5 \text{ Нм} \quad (4.23)$$

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

Максимальный и минимальный крутящие моменты

$$M_{кр \max} = 570 \text{ Нм}; \quad M_{кр \min} = 277 \text{ Нм}$$

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{RШ} = K + p_k F_{II} \text{ Н.} \quad (4.24)$$

По развернутой диаграмме $R_{шш}$ определяют

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

$$R_{шш.ср} = FM_p / OB = 28425 \cdot 0,1 / 240 = 10,66 \text{ кН}; \quad (3.3)$$

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

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{рк} = P_k + K_{RK} = P_k - 8,960 \text{ кН.} \quad (4.25)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(PT_k \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_k})^2} \quad (4.26)$$

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1}$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (4.27)$$

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

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (4.28)$$

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

5 Задание на специальную разработку

5.1 Описание спроектированного двигателя на базе ВАЗ – 2112 форсированного по частоте вращения

Четырехцилиндровый, рядный, четырехтактный, бензиновый двигатель с распределенным впрыском топлива, жидкостного охлаждения, с четырьмя клапанами на цилиндр. Расчетная эффективная мощность $N_e=84,2$ кВт при частоте вращения коленчатого вала $n=7200$ об/мин (см. п.1.1.10). Двигатель четырехцилиндровый ($i=4$) с рядным расположением цилиндров, рабочим объемом $V_l=1,5$ л, диаметр цилиндра $D=92$ мм, ход поршня $S=56$ мм. Степень сжатия $\varepsilon=10,5$. Коленчатый вал – пятиопорный, чугунный, литой. Головка блока – из алюминиевого сплава. Привод распределительного вала – поликлиновой ремень. Расположение клапанов – верхнее, рядное, наклонное. Привод клапанов – через гидрокомпенсаторы от двух распределительных валов (для впускных и выпускных клапанов).

В ходе модернизации были внесены в конструкцию следующие изменения. Во-первых, был уменьшен радиус кривошипа, таким образом, чтобы средняя скорость поршня на номинальных оборотах спроектированного двигателя с радиусом КШМ 28 мм равна средней скорости поршня базового двигателя с радиусом КШМ 35,5 мм и составляет 13,44 м/с. Таким образом, механические потери в цилиндропоршневой группе при увеличении частоты вращения КВ не увеличатся.

Во-вторых, уменьшена длина до 97 мм и габариты шатуна, а также уменьшена длина юбки поршня. Эти мероприятия приводят к уменьшению инерционных сил, а также нагрузки на подшипники коленчатого вала.

5.2 Сравнительный анализ двигателя ВАЗ 2112 с модернизированным двигателем

Двигатель с модернизированным КШМ имеет скорость поршня при частоте вращения 7200 мин^{-1} такую же, как и базовый двигатель при частоте вращения 5600 мин^{-1} , что показано на рисунке 7.1. Таким образом, механические потери на трение в цилиндропоршневой группе останутся на прежнем уровне.

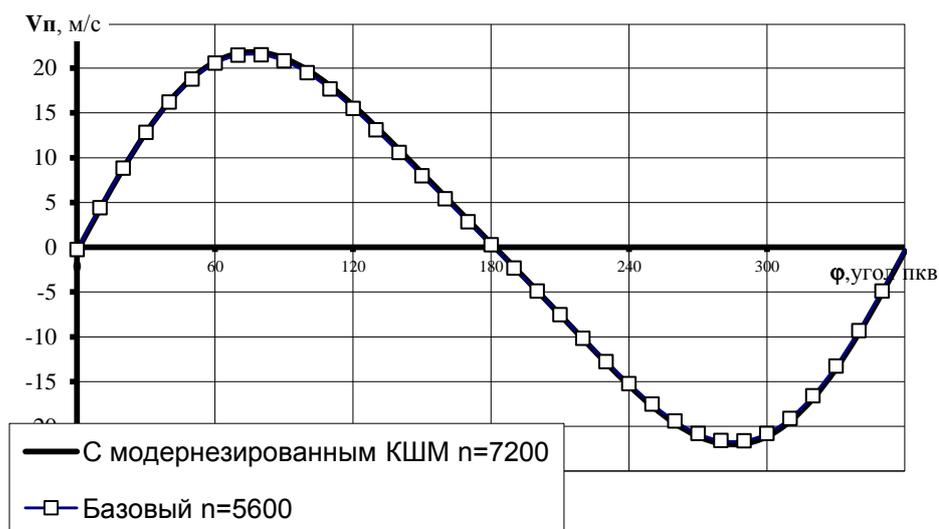


Рисунок 7.1 - Диаграмма скорости поршня в $V_p-\phi$ координатах.

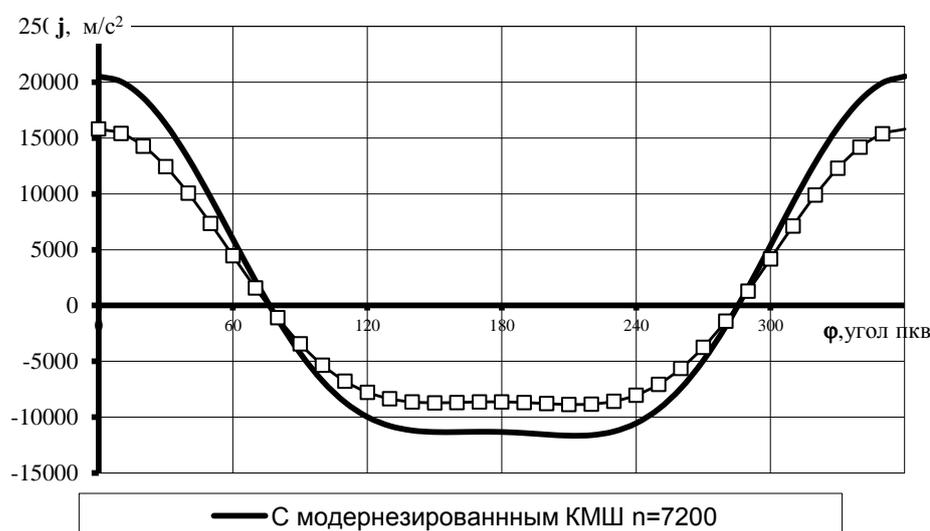


Рисунок 7.2 - Диаграмма ускорения поршня в $j_p-\phi$ координатах.

При этом увеличение частоты вращения до 7200 мин^{-1} увеличивает ускорение поршня (рисунок 7.2) на 5000 м/с^2 , тем самым увеличивая действие инерционных сил на коренные и шатунные подшипники коленчатого вала. Но,

увеличивая длину двигателя, у нас увеличивается длина коленчатого вала, причем в основном за счет увеличения длины коренных и шатунных шеек, тем самым, уменьшая нагрузки на подшипники коленчатого вала. Рассматривая диаграмму изменения суммарных сил (рисунок 7,3), видно, что у базового двигателя пиковые нагрузки выше, а в среднем ниже, это связано с более высоким максимальным давлением в процессе сгорания по сравнению с модернизированным ДВС, у которого более высокие инерциальные нагрузки.

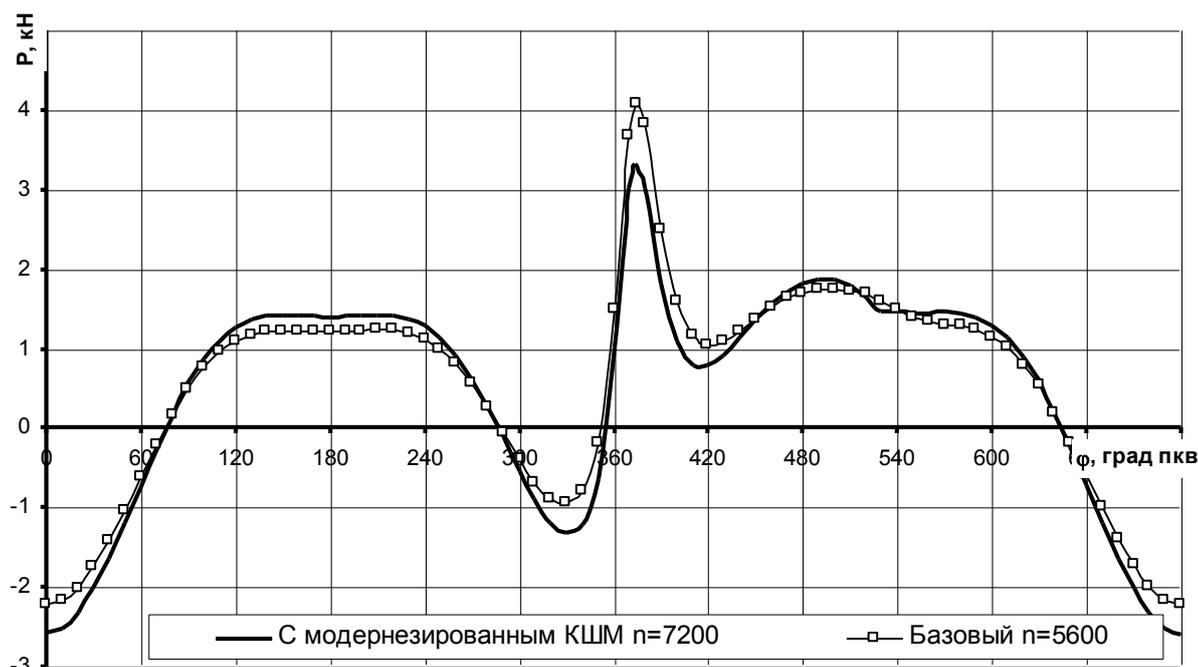


Рисунок 7.3 - Диаграмма изменения суммарных сил в P- φ координатах.

Рассматривая причины уменьшения максимального давления в процессе сгорания по сравнению с базовым двигателем, следует отметить, большую протяженность камеры сгорания в проектируемом двигателе, а также снижение коэффициента наполнения из-за повышения потерь при впуске связанных с увеличением скорости во впускном трубопроводе.

Для сравнительного анализа основные показатели базового и проектируемого двигателя сведены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 - Сравнение расчетных эффективных и экономических показателей базового и модернизированного двигателей

n	g _e баз	g _e нов	Me баз	Me нов	Gt баз	Gt нов	Ne баз	Ne нов
Об/мин	г/кВт*ч	г/кВт*ч	Н*м	Н*м	кг/ч	кг/ч	КВт	КВт
900	271,2995	266,33	109,6317	106,328	3,673048	3,436	11,5025	10,63
2000	240,2463	235,348	131,5549	127,25	12,36788	12,148	51,48	48,76
3400	254,6321	230,16	124,9823	120,32	17,0123	16,983	62,33	59,42
5000	262,2322	240,12	115,1884	113,08	18,2401	18,106	68,55	66,23
5600	271,3461	258,54	101,2225	100,41	18,95112	18,845	74,6	69,54
7200		274,54		97,41		20,245		84,54
8000		283,54		94,41		22,357		81,54

6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

Основным техническим результатом бакалаврского проектирования, явилось обеспечение условия для повышения частоты вращения двигателя на базе ВАЗ-2112, в котором был уменьшен радиус кривошипа, таким образом, чтобы средняя скорость поршня на номинальных оборотах 7200 мин^{-1} спроектированного двигателя с радиусом КШМ 28 мм равна средней скорости поршня базового двигателя при 5600 мин^{-1} с радиусом КШМ 35,5 мм и составляет 13,44 м/с. Таким образом, механические потери в цилиндропоршневой группе при увеличении частоты вращения КВ не увеличатся.

Во-вторых, уменьшена длина до 97 мм и габариты шатуна, а также уменьшена длина юбки поршня. Эти мероприятия приводят к уменьшению инерционных сил, а также нагрузки на подшипники коленчатого вала.

В третьих применено уменьшение массы клапанов, при увеличении жесткости пружин, для недопущения зависания клапанов на высоких оборотах.

В четвертых применен ресивер с изменяемой длиной впускных каналов, что положительно сказывается на инерционном наддуве.

В пятых увеличены диаметры впускных каналов и клапанов при увеличении хода клапана, за счет увеличения диаметра толкателей и радиуса кулачка, что дает увеличение наполнения на высоких оборотах и обеспечит двигатель необходимыми динамическими качествами.

В шестых это применении компактной камеры сгорания позволяющей несколько снизить продолжительности сгорания, что повысит термическую эффективность рабочего процесса.

6.1 Оценка взрыво-пожаробезопасности бакалаврской работы

Повышение частоты вращений повышает тепловую нагрузку на двигатель и, следовательно, повышает температуру выпускного коллектора, который как известно при наличии течи из топливопроводов является источником воспла-

менения, следовательно требуется применять меры для недопущению попадания топлива на перегретые элементы ДВС. В целом пожаробезопасность несколько ухудшилась, но при надлежащем уходе и ТО двигателя соответствует принятым нормам.

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

Повышение частоты вращения и габаритов камеры сгорания сказывается на выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами. Разберем это влияние отдельно для каждого токсичного компонента в отдельности:

- C_nH_m (углеводороды) - повышение площади поршня, а следовательно и камеры сгорания, увеличивается доля пристеночных углеводородов, что может сказаться на увеличении их выбросов с ОГ.
- CO (угарный газ или монооксид углерода) - процесс сгорания до и после модернизации происходит при коэффициенте избытка воздуха равным единице, следовательно условия для изменения концентрации CO в отработавших газах принципиально не поменялись, следовательно, удельный выброс CO не изменится, но в тоже время у нас возросла частота вращения, что повышает массовые выбросы в единицу времени.
- Сажа или твердые частицы - это недавно принятые нормы по которым отслеживается и ограничивается выбросы твердых частиц с отработавшими газами бензиновых ДВС. При работе на коэффициенте избытка воздуха равным стехиометрическому условий для образования сажи в процессе сгорания и догорания, как в базовом двигателе так и в модернизированном, не наблюдается, т.е. сажа из топлива выделяться не будет, разве, что при повышении оборотов может в камеру сгорания попадать большее количество масла, что может повлиять на содержание твердых частиц в ОГ.
- Оксиды азота (NO и NO₂) - при повышении частоты вращения продолжительность процесса сгорания по углу поворота коленчатого вала возрастает,

что приводит к уменьшению термодинамической температуры цикла, тем самым имеются условия для снижения концентрации оксида азота в ОГ.

- Углекислый газ (CO_2) - работа на повышенной частоте вращения несколько снижает КПД цикла, что приводит к повышенному потреблению топлива, следовательно к росту выбросов парникового газа.

6.3 Оценка экологичности, по шуму, объекта разработки бакалаврской работы

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

6.4 Выводы об безопасности и экологичности объекта бакалаврской работы

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

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

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

В целом двигатель удовлетворяет современным требованиям по экологичности, а для выполнения требований по пожаробезопасности требуется выполнение предписаний касательно работы на газовом топливе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте спроектирован бензиновый двигатель с модернизированным КШМ, работающим на номинальном скоростном режиме 7200 мин^{-1} . В процессе модернизации внесены следующие изменения в конструкцию: уменьшен ход поршня с 71 до 56 мм, увеличен диаметр цилиндров с 82 до 92 мм, увеличилась общая длина двигателя с 510 до 545 мм, снизилась высота с 653 до 620 мм. Для снижения динамических и инерционных нагрузок проведено снижение массы поршня за счет уменьшения длины юбки и массы бобышек, также снижена масса шатуна на 10% за счет уменьшения его длины с 121 до 97 мм. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, основных деталей и систем двигателя.

Получено в двигателе с модернизированным КШМ:

- минимальный удельный эффективный расход топлива 254 г/кВт*ч ;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=7200 \text{ мин}^{-1}$ 84 кВт , по сравнению с базовым увеличение составило 13%;
- снижение концентрации токсичных компонентов отработавших газов по оксидам азота (NO) и оксиду углерода (CO), при увеличении концентрации по несгоревшим углеводородам (CH), поэтому для выполнения двигателем норм по токсичности необходимо установка каталитического нейтрализатора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

9. Луканин В.Н. «Промышленная транспортная экология». М.: Высшая школа, 2001.
10. Долин П.А. «Справочник по технике безопасности». М.: Энергоатомиздат, 1985.
11. Чумаков Л.Л. Курс лекций по дисциплине «Экономика предприятия», 2004
12. Duranti, A. Ethnography of Speaking: Toward a Linguistics of praxis [Text] / A. Duranti // Linguistics: The Cambridge Survey. – Cambridge, 1988. – PP. 210-228.
13. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982.
14. Кузнецов В.Р., Собольников В.А. “Турбулентность и горение”. М. Наука, 1986.
15. Войнов В.В. “Процессы сгорания в двигателях внутреннего сгорания”. М. Наука, 1984.
16. Звонов В.А. “Токсичность двигателей внутреннего сгорания”. М. Машиностроение, 1981.
17. Nlootat G., et al, “A Model for Converting SI Engine Flame Arrival Signals into Flame Contours”, SAE, SP 1099, №950109, стр. 99-110, 1999.
18. Khalighi B., et al, “ Computation and Measurement of Flow and Combustion in a Four-Valve Engine with Intake Variations”, SAE, SP 1101, №950287, стр. 147-179, 2001.
19. Jones P., et al, “Full Cycle Computational Fluid Dynamics Calculations in a Motored Four Valve Pent Roof Combustion Chamber and Comparison with Experiment”, SAE, SP 1101, №950286, 131-146, 2001.
20. Наканиши К., и др, “Разработка новой системы впуска для четырёхклапанного двигателя, работающего на бедных смесях”, SAE, SP 1097, №95050, стр. 25-43, 1997.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Обязательное)

Таблица А1 - Результаты теплового расчета двигателя с повышенной частотой вращения при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	ΔX_{1-2}	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
714,4707	714,4707	0,07799	0,0181	1,0996	2,9E-06	716,875			5,8E-06	2,49318	1	1	0	0	-10
719,2794	719,2794	0,07665	0,0147	1,0807	5E-05	721,9932	1,366	6,4646	0,0001	2,55376	1	1	5,77E-06	1	-9
724,7071	724,7072	0,07545	0,0116	1,0638	0,00024	728,3963	1,3652	6,4761	0,00048	2,61391	1	1	0,000106	2	-8
732,0856	732,0861	0,07439	0,0089	1,0489	0,00068	737,7321	1,3643	6,4903	0,00137	2,67818	1,0001	1	0,000582	3	-7
743,3787	743,3803	0,07348	0,0065	1,0359	0,00151	752,2643	1,3629	6,5109	0,00302	2,75373	1,0002	1,0001	0,001948	4	-6
761,1499	761,1543	0,0727	0,0045	1,025	0,00284	774,7982	1,3609	6,5423	0,00568	2,85031	1,0005	1,0003	0,004965	5	-5
788,4466	788,4591	0,07206	0,0029	1,016	0,0048	808,5129	1,3578	6,5893	0,0096	2,97984	1,001	1,0007	0,010646	6	-4
828,5792	828,6136	0,07156	0,0016	1,009	0,00748	856,6844	1,3536	6,656	0,01495	3,15548	1,0018	1,0014	0,020243	7	-3
884,7896	884,8789	0,07121	0,0007	1,004	0,01094	922,3144	1,3482	6,7446	0,02187	3,39029	1,0032	1,0025	0,035197	8	-2
959,8392	960,0514	0,071	0,0002	1,001	0,01517	1007,705	1,3416	6,8543	0,03034	3,69549	1,0052	1,0042	0,05707	9	-1
1055,571	1056,026	0,07093	0	1	0,02009	1114,036	1,3344	6,9807	0,04018	4,07862	1,008	1,0066	0,087413	10	0
1172,501	1173,373	0,071	0,0002	1,001	0,02549	1240,988	1,3269	7,1172	0,05098	4,54177	1,0116	1,0098	0,127595	11	1
1309,476	1310,98	0,07121	0,0007	1,004	0,03105	1386,462	1,3197	7,2559	0,0621	5,08006	1,0163	1,0139	0,17858	12	2
1463,449	1465,805	0,07156	0,0016	1,009	0,03631	1546,437	1,313	7,3894	0,07262	5,6806	1,0219	1,0191	0,240677	13	3
1629,425	1632,812	0,07206	0,0029	1,016	0,04075	1715,053	1,3071	7,512	0,0815	6,32214	1,0285	1,0252	0,313302	14	4
1800,681	1805,204	0,0727	0,0045	1,025	0,0438	1885	1,3021	7,6196	0,0876	6,97583	1,036	1,0323	0,394799	15	5
1969,319	1974,991	0,07348	0,0065	1,0359	0,04499	2048,229	1,298	7,7103	0,08998	7,60748	1,0439	1,04	0,482402	16	6
2127,14	2133,884	0,07439	0,0089	1,0489	0,04402	2196,93	1,2948	7,7834	0,08803	8,18118	1,0521	1,048	0,57238	17	7
2266,721	2274,393	0,07545	0,0116	1,0638	0,04087	2324,602	1,2924	7,8396	0,08173	8,66404	1,0602	1,0562	0,660412	18	8
2382,482	2390,894	0,07665	0,0147	1,0807	0,03585	2426,969	1,2907	7,8805	0,0717	9,03108	1,0676	1,0639	0,742145	19	9
2471,457	2480,411	0,07799	0,0181	1,0996	0,02957	2502,521	1,2895	7,9081	0,05915	9,26899	1,0741	1,0709	0,813846	20	10
2533,584	2542,889	0,07946	0,0219	1,1204	0,02282	2552,49	1,2888	7,925	0,04564	9,37784	1,0795	1,0768	0,872994	21	11
2571,397	2580,89	0,08108	0,026	1,1431	0,01637	2580,313	1,2884	7,9337	0,03275	9,36983	1,0837	1,0816	0,918633	22	12

Продолжение таблицы А1

2589,23	2598,783	0,08283	0,0305	1,1678	0,01086	2590,697	1,2883	7,9366	0,02172	9,26578	1,0867	1,0852	0,951381	23	13
2592,163	2601,683	0,08472	0,0354	1,1945	0,00661	2588,597	1,2884	7,9357	0,01322	9,09013	1,0887	1,0877	0,973098	24	14
2585,03	2594,452	0,08674	0,0405	1,223	0,00367	2578,384	1,2885	7,9325	0,00734	8,86635	1,0899	1,0893	0,986319	25	15
2571,737	2581,024	0,0889	0,0461	1,2534	0,00184	2563,377	1,2887	7,9281	0,00368	8,61372	1,0905	1,0902	0,993656	26	16
2555,016	2564,144	0,09119	0,052	1,2857	0,00083	2545,771	1,2889	7,923	0,00166	8,34615	1,0909	1,0907	0,99734	27	17
2536,525	2545,481	0,09362	0,0582	1,3199	0,00033	2526,835	1,2891	7,9176	0,00067	8,0726	1,091	1,0909	0,999	28	18

Таблица А2 - Результаты теплового расчета двигателя с повышенной частотой вращения при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$

Температура предполагаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
702,0765	702,0765	0,09652	0,04608	1,25341	0,00000	705,3636			0,00000	1,99052	1	1	0	0	-16
708,6507	708,6507	0,09418	0,04054	1,22298	0,00003	712,1609	1,36774	6,43867	0,00006	2,05915	1	1	4E-06	1	-15
715,6712	715,6714	0,09198	0,03536	1,19445	0,00013	719,7819	1,36670	6,45412	0,00027	2,12923	1	1	7E-05	2	-14
723,8927	723,8933	0,08993	0,03052	1,16783	0,00036	729,1304	1,36555	6,47127	0,00072	2,20280	1	1	0,0003	3	-13
734,3682	734,3697	0,08803	0,02603	1,14314	0,00076	741,3981	1,36416	6,49203	0,00151	2,28302	1,0001	1	0,0011	4	-12
748,428	748,4312	0,08628	0,02189	1,12038	0,00137	758,0344	1,36240	6,51878	0,00275	2,37417	1,0002	1,0001	0,0026	5	-11
767,6408	767,6479	0,08467	0,01810	1,09957	0,00226	780,6958	1,36009	6,55411	0,00451	2,48155	1,0003	1,0002	0,0053	6	-10
793,7509	793,7661	0,08322	0,01467	1,08071	0,00344	811,1696	1,35711	6,60052	0,00688	2,61134	1,0006	1,0005	0,0098	7	-9
828,5883	828,6211	0,08192	0,01160	1,06381	0,00496	851,2721	1,35336	6,65997	0,00992	2,77028	1,001	1,0008	0,0167	8	-8
873,956	874,025	0,08077	0,00889	1,04888	0,00684	902,7285	1,34883	6,73345	0,01367	2,96518	1,0016	1,0013	0,0266	9	-7
931,5011	931,6406	0,07977	0,00653	1,03593	0,00907	967,0419	1,34360	6,82064	0,01814	3,20247	1,0025	1,0021	0,0403	10	-6
1002,583	1002,85	0,07893	0,00454	1,02496	0,01165	1045,364	1,33785	6,91977	0,02331	3,48754	1,0036	1,003	0,0584	11	-5
1088,146	1088,625	0,07824	0,00291	1,01598	0,01454	1138,377	1,33179	7,02787	0,02908	3,82414	1,005	1,0043	0,0817	12	-4
1188,609	1189,411	0,07770	0,00163	1,00899	0,01766	1246,184	1,32567	7,14116	0,03532	4,21386	1,0068	1,0059	0,1108	13	-3
1303,759	1305,018	0,07731	0,00073	1,00400	0,02091	1368,219	1,31971	7,25565	0,04182	4,65556	1,009	1,0079	0,1461	14	-2
1432,678	1434,533	0,07708	0,00018	1,00100	0,02415	1503,176	1,31409	7,36761	0,04830	5,14497	1,0115	1,0103	0,188	15	-1
1573,674	1576,258	0,07701	0,00000	1,00000	0,02723	1648,977	1,30893	7,47393	0,05445	5,67441	1,0145	1,013	0,2363	16	0
1724,279	1727,698	0,07708	0,00018	1,00100	0,02995	1802,781	1,30431	7,57229	0,05991	6,23271	1,0178	1,0162	0,2907	17	1
1881,283	1885,608	0,07731	0,00073	1,00400	0,03214	1961,07	1,30025	7,66113	0,06428	6,80548	1,0215	1,0197	0,3506	18	2

Продолжение таблицы А2

2040,856	2046,116	0,07770	0,00163	1,00899	0,03362	2119,804	1,29675	7,73959	0,06723	7,37569	1,0255	1,0235	0,4149	19	3
2198,752	2204,931	0,07824	0,00291	1,01598	0,03424	2274,664	1,29380	7,80738	0,06847	7,92462	1,0296	1,0275	0,4821	20	4
2350,576	2357,62	0,07893	0,00454	1,02496	0,03391	2421,345	1,29135	7,86465	0,06782	8,43318	1,0338	1,0317	0,5506	21	5
2492,113	2499,937	0,07977	0,00653	1,03593	0,03262	2555,888	1,28936	7,91190	0,06523	8,88343	1,038	1,0359	0,6184	22	6
2619,662	2628,16	0,08077	0,00889	1,04888	0,03042	2675,001	1,28778	7,94983	0,06084	9,26010	1,042	1,04	0,6837	23	7
2730,341	2739,393	0,08192	0,01160	1,06381	0,02746	2776,326	1,28656	7,97935	0,05492	9,55198	1,0457	1,0438	0,7445	24	8
2822,311	2831,798	0,08322	0,01467	1,08071	0,02395	2858,603	1,28566	8,00145	0,04790	9,75287	1,0491	1,0474	0,7994	25	9
2894,894	2904,698	0,08467	0,01810	1,09957	0,02014	2921,721	1,28501	8,01719	0,04028	9,86197	1,052	1,0505	0,8473	26	10
2948,547	2958,561	0,08628	0,02189	1,12038	0,01629	2966,63	1,28459	8,02763	0,03258	9,88362	1,0545	1,0532	0,8876	27	11
2984,713	2994,844	0,08803	0,02603	1,14314	0,01264	2995,14	1,28434	8,03380	0,02529	9,82644	1,0565	1,0555	0,9202	28	12
3005,567	3015,737	0,08993	0,03052	1,16783	0,00940	3009,636	1,28423	8,03663	0,01879	9,70205	1,058	1,0572	0,9455	29	13
3013,704	3023,849	0,09198	0,03536	1,19445	0,00667	3012,763	1,28421	8,03695	0,01333	9,52352	1,0592	1,0586	0,9643	30	14
3011,822	3021,893	0,09418	0,04054	1,22298	0,00451	3007,137	1,28428	8,03543	0,00901	9,30399	1,06	1,0596	0,9776	31	15
3002,452	3012,414	0,09652	0,04608	1,25341	0,00289	2995,112	1,28439	8,03263	0,00578	9,05549	1,0605	1,0603	0,9866	32	16
2987,773	2997,601	0,09901	0,05195	1,28573	0,00176	2978,646	1,28454	8,02896	0,00351	8,78824	1,0609	1,0607	0,9924	33	17
2969,519	2979,194	0,10164	0,05817	1,31992	0,00101	2959,245	1,28471	8,02471	0,00202	8,51034	1,0611	1,061	0,9959	34	18
2948,971	2958,481	0,10442	0,06472	1,35596	0,00054	2937,991	1,28490	8,02009	0,00109	8,22784	1,0612	1,0612	0,9979	35	19
2927,012	2936,351	0,10734	0,07161	1,39384	0,00028	2915,614	1,28510	8,01520	0,00055	7,94505	1,0613	1,0613	0,999	36	20

Таблица А3 - Результаты теплового расчета двигателя с повышенной частотой вращения при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
713,0301	713,0301	0,1132	0,0647	1,356	2,5E-07	716,5818			4,98E-07	1,72395	1	1	0	0	-19
720,1336	720,1337	0,1102	0,0582	1,3199	5E-06	723,6923	1,36604	6,46395	1E-05	1,78867	1	1	4,98E-07	1	-18
727,251	727,2518	0,1073	0,052	1,2857	2,6E-05	730,9189	1,36498	6,4797	5,21E-05	1,85438	1	1	1,05E-05	2	-17
734,5868	734,5889	0,1046	0,0461	1,2534	8E-05	738,5328	1,36393	6,49551	0,000159	1,92139	1	1	6,26E-05	3	-16
742,4788	742,483	0,1021	0,0405	1,223	0,00019	746,9456	1,36285	6,51196	0,00037	1,99037	1,00001	1,00001	0,000222	4	-15
751,4124	751,42	0,0997	0,0354	1,1945	0,00036	756,7211	1,36167	6,5299	0,000728	2,06247	1,00004	1,00002	0,000592	5	-14
762,0298	762,0424	0,0975	0,0305	1,1678	0,00064	768,581	1,36033	6,55042	0,00128	2,13938	1,00008	1,00006	0,00132	6	-13

Продолжение таблицы А3

775,1322	775,1527	0,0954	0,026	1,1431	0,00104	783,4035	1,35875	6,57486	0,002074	2,22333	1,00016	1,00012	0,0026	7	-12
791,6748	791,7078	0,0935	0,0219	1,1204	0,00158	802,2127	1,35684	6,60469	0,003161	2,31718	1,00029	1,00022	0,004673	8	-11
812,7506	812,8037	0,0918	0,0181	1,0996	0,0023	826,1565	1,35452	6,64143	0,004592	2,42435	1,00048	1,00038	0,007835	9	-10
839,5624	839,6475	0,0902	0,0147	1,0807	0,00321	856,4718	1,35171	6,68646	0,006413	2,54873	1,00076	1,00062	0,012426	10	-9
873,3812	873,5174	0,0888	0,0116	1,0638	0,00433	894,4372	1,34838	6,74083	0,008666	2,69457	1,00116	1,00096	0,018839	11	-8
915,4932	915,7097	0,0876	0,0089	1,0489	0,00569	941,3144	1,34453	6,80507	0,011384	2,86625	1,00169	1,00142	0,027505	12	-7
967,1356	967,4757	0,0865	0,0065	1,0359	0,00729	998,2815	1,34019	6,87903	0,014585	3,06802	1,00239	1,00204	0,038889	13	-6
1029,427	1029,952	0,0856	0,0045	1,025	0,00914	1066,361	1,33547	6,96181	0,018271	3,30372	1,00328	1,00284	0,053474	14	-5
1103,296	1104,087	0,0848	0,0029	1,016	0,01121	1146,349	1,33048	7,0518	0,022419	3,57642	1,00441	1,00384	0,071745	15	-4
1189,402	1190,562	0,0842	0,0016	1,009	0,01349	1238,737	1,32537	7,14686	0,026977	3,88808	1,00578	1,00509	0,094164	16	-3
1288,072	1289,72	0,0838	0,0007	1,004	0,01593	1343,645	1,32028	7,24453	0,03186	4,23924	1,00744	1,00661	0,121141	17	-2
1399,219	1401,485	0,0836	0,0002	1,001	0,01847	1460,753	1,31534	7,3423	0,036945	4,62869	1,00939	1,00842	0,153001	18	-1
1522,287	1525,302	0,0835	0	1	0,02104	1589,24	1,31066	7,43786	0,042072	5,05322	1,01166	1,01053	0,189946	19	0
1656,192	1660,074	0,0836	0,0002	1,001	0,02352	1727,74	1,30632	7,52921	0,047046	5,50741	1,01425	1,01295	0,232019	20	1
1799,287	1804,134	0,0838	0,0007	1,004	0,02582	1874,327	1,30235	7,61478	0,051639	5,98359	1,01713	1,01569	0,279064	21	2
1949,367	1955,245	0,0842	0,0016	1,009	0,0278	2026,534	1,2988	7,69345	0,055608	6,47191	1,02031	1,01872	0,330703	22	3
2103,7	2110,641	0,0848	0,0029	1,016	0,02935	2181,411	1,29566	7,76448	0,058709	6,96064	1,02372	1,02201	0,386311	23	4
2259,122	2267,119	0,0856	0,0045	1,025	0,03036	2335,649	1,29293	7,82749	0,060713	7,43662	1,02732	1,02552	0,44502	24	5
2412,176	2421,186	0,0865	0,0065	1,0359	0,03072	2485,736	1,2906	7,88241	0,061437	7,886	1,03105	1,02919	0,505733	25	6
2559,296	2569,248	0,0876	0,0089	1,0489	0,03038	2628,166	1,28863	7,92939	0,060763	8,29504	1,03482	1,03294	0,56717	26	7
2697,036	2707,832	0,0888	0,0116	1,0638	0,02933	2759,667	1,287	7,96876	0,058659	8,6511	1,03856	1,03669	0,627933	27	8
2822,298	2833,823	0,0902	0,0147	1,0807	0,0276	2877,426	1,28567	8,00098	0,055193	8,94358	1,04216	1,04036	0,686592	28	9
2932,555	2944,686	0,0918	0,0181	1,0996	0,02527	2979,296	1,28463	8,02665	0,050538	9,16474	1,04555	1,04385	0,741785	29	10
3026,036	3038,645	0,0935	0,0219	1,1204	0,02248	3063,936	1,28383	8,04642	0,044955	9,31033	1,04865	1,0471	0,792323	30	11
3101,835	3114,8	0,0954	0,026	1,1431	0,01939	3130,891	1,28325	8,061	0,038778	9,37984	1,05141	1,05003	0,837278	31	12
3159,947	3173,152	0,0975	0,0305	1,1678	0,01619	3180,576	1,28284	8,07112	0,032374	9,37641	1,05379	1,0526	0,876056	32	13
3201,204	3214,547	0,0997	0,0354	1,1945	0,01305	3214,173	1,28259	8,07751	0,026104	9,30632	1,05578	1,05478	0,90843	33	14
3227,142	3240,534	0,1021	0,0405	1,223	0,01014	3233,465	1,28245	8,08087	0,020285	9,17829	1,05738	1,05658	0,934534	34	15
3239,788	3253,155	0,1046	0,0461	1,2534	0,00758	3240,611	1,28241	8,08183	0,015157	9,00246	1,05863	1,058	0,95482	35	16
3241,434	3254,716	0,1073	0,052	1,2857	0,00543	3237,919	1,28245	8,08095	0,010864	8,78943	1,05956	1,05909	0,969977	36	17
3234,404	3247,555	0,1102	0,0582	1,3199	0,00372	3227,632	1,28254	8,07872	0,00745	8,54938	1,06022	1,05989	0,980841	37	18
3220,86	3233,846	0,1132	0,0647	1,356	0,00244	3211,764	1,28266	8,07552	0,004875	8,29139	1,06068	1,06045	0,988291	38	19

Продолжение таблицы А3

3202,669	3215,467	0,1163	0,0716	1,3938	0,00152	3192,003	1,28282	8,07165	0,003036	8,02305	1,06098	1,06083	0,993166	39	20
3181,336	3193,927	0,1197	0,0788	1,4336	0,0009	3169,664	1,28299	8,06733	0,001794	7,75034	1,06117	1,06107	0,996202	40	21
3157,993	3170,368	0,1231	0,0864	1,4751	0,0005	3145,718	1,28318	8,0627	0,001003	7,4777	1,06128	1,06122	0,997997	41	22
3133,443	3145,594	0,1267	0,0942	1,5184	0,00026	3120,832	1,28337	8,05787	0,000529	7,20826	1,06134	1,06131	0,999	42	23

Таблица А4 - Результаты теплового расчета двигателя с повышенной частотой вращения при $n = 7200 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая, К	Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
711,731	711,731	0,1303	0,0864	1,4751	1,2E-07	715,48			2,31E-07	1,49502	1	1	0	0	-23
719,229	719,23	0,1266	0,0788	1,4336	2,3E-06	722,98	1,3662	6,461487	4,65E-06	1,55452	1	1	2,31E-07	1	-22
726,731	726,733	0,1231	0,0716	1,3938	1,2E-05	730,527	1,36509	6,478128	2,42E-05	1,61549	1	1	4,88E-06	2	-21
734,322	734,327	0,1198	0,0647	1,356	3,7E-05	738,237	1,36399	6,494637	7,4E-05	1,67798	1	1,000001	2,91E-05	3	-20
742,151	742,16	0,1166	0,0582	1,3199	8,6E-05	746,293	1,36289	6,511269	0,000172	1,74219	1,00001	1,000004	0,000103	4	-19
750,436	750,451	0,1136	0,052	1,2857	0,00017	754,951	1,36177	6,528406	0,000338	1,80851	1,00002	1,000012	0,000275	5	-18
759,466	759,49	0,1107	0,0461	1,2534	0,0003	764,539	1,36058	6,546553	0,000595	1,87751	1,00004	1,000027	0,000613	6	-17
769,611	769,647	0,108	0,0405	1,223	0,00048	775,466	1,3593	6,566334	0,000965	1,95002	1,00007	1,000056	0,001208	7	-16
781,32	781,372	0,1055	0,0354	1,1945	0,00074	788,219	1,35788	6,588477	0,001473	2,02711	1,00013	1,000104	0,002173	8	-15
795,117	795,192	0,1031	0,0305	1,1678	0,00107	803,359	1,35627	6,613787	0,002144	2,11014	1,00022	1,000179	0,003646	9	-14
811,601	811,708	0,101	0,026	1,1431	0,0015	821,517	1,35441	6,643105	0,003003	2,20074	1,00036	1,00029	0,005789	10	-13
831,432	831,584	0,099	0,0219	1,1204	0,00204	843,378	1,35228	6,677248	0,004075	2,3008	1,00054	1,000449	0,008792	11	-12
855,324	855,538	0,0971	0,0181	1,0996	0,00269	869,671	1,34984	6,716943	0,005382	2,4124	1,00079	1,000666	0,012867	12	-11
884,019	884,32	0,0954	0,0147	1,0807	0,00347	901,145	1,34706	6,762747	0,006946	2,53782	1,00112	1,000957	0,018249	13	-10
918,272	918,692	0,094	0,0116	1,0638	0,00439	938,547	1,34394	6,814972	0,008783	2,67935	1,00155	1,001336	0,025195	14	-9
958,822	959,404	0,0926	0,0089	1,0489	0,00545	982,592	1,34051	6,873619	0,010904	2,83928	1,00209	1,00182	0,033978	15	-8
1006,36	1007,16	0,0915	0,0065	1,0359	0,00666	1033,94	1,33679	6,938346	0,013315	3,01969	1,00276	1,002426	0,044883	16	-7
1061,51	1062,59	0,0905	0,0045	1,025	0,008	1093,15	1,33286	7,008466	0,01601	3,22237	1,00358	1,003171	0,058198	17	-6
1124,79	1126,22	0,0897	0,0029	1,016	0,00949	1160,67	1,32879	7,082987	0,018975	3,44862	1,00457	1,004073	0,074207	18	-5

Продолжение таблицы А4

1196,56	1198,43	0,0891	0,0016	1,009	0,01109	1236,8	1,32464	7,160684	0,022182	3,69913	1,00573	1,005149	0,093182	19	-4
1277,04	1279,45	0,0887	0,0007	1,004	0,01279	1321,64	1,3205	7,240193	0,025589	3,97384	1,0071	1,006415	0,115364	20	-3
1366,24	1369,28	0,0884	0,0002	1,001	0,01457	1415,08	1,31645	7,320113	0,02914	4,2718	1,00867	1,007884	0,140953	21	-2
1463,93	1467,69	0,0883	0	1	0,01638	1516,79	1,31254	7,399094	0,032761	4,59107	1,01046	1,009568	0,170093	22	-1
1569,65	1574,22	0,0884	0,0002	1,001	0,01818	1626,15	1,30884	7,475918	0,036364	4,92864	1,01248	1,011472	0,202855	23	0
1682,64	1688,09	0,0887	0,0007	1,004	0,01992	1742,26	1,30536	7,54954	0,039845	5,28045	1,01472	1,013598	0,239219	24	1
1801,88	1808,26	0,0891	0,0016	1,009	0,02155	1863,97	1,30216	7,619118	0,043091	5,64137	1,01717	1,015942	0,279064	25	2
1926,06	1933,39	0,0897	0,0029	1,016	0,02299	1989,82	1,29922	7,684015	0,045978	6,00532	1,01982	1,018493	0,322155	26	3
2053,59	2061,89	0,0905	0,0045	1,025	0,02419	2118,13	1,29657	7,743787	0,048384	6,36541	1,02265	1,021233	0,368133	27	4
2182,66	2191,93	0,0915	0,0065	1,0359	0,0251	2246,98	1,2942	7,798167	0,050192	6,71423	1,02562	1,024135	0,416517	28	5
2311,29	2321,47	0,0926	0,0089	1,0489	0,02565	2374,33	1,2921	7,847034	0,051297	7,04404	1,02871	1,027167	0,466709	29	6
2437,37	2448,42	0,094	0,0116	1,0638	0,02581	2498,08	1,29026	7,890394	0,051617	7,34725	1,03187	1,030289	0,518006	30	7
2558,78	2570,62	0,0954	0,0147	1,0807	0,02555	2616,12	1,28867	7,928356	0,051101	7,61666	1,03504	1,033455	0,569623	31	8
2673,45	2686	0,0971	0,0181	1,0996	0,02487	2726,48	1,28731	7,961109	0,049736	7,84595	1,03819	1,036614	0,620724	32	9
2779,51	2792,68	0,099	0,0219	1,1204	0,02377	2827,42	1,28617	7,98891	0,047548	8,02995	1,04125	1,039716	0,67046	33	10
2875,32	2889,01	0,101	0,026	1,1431	0,0223	2917,47	1,28522	8,012067	0,044609	8,16499	1,04417	1,042708	0,718008	34	11
2959,62	2973,74	0,1031	0,0305	1,1678	0,02052	2995,58	1,28446	8,030926	0,041032	8,24908	1,04691	1,045543	0,762617	35	12
3031,54	3045,98	0,1055	0,0354	1,1945	0,01848	3061,1	1,28385	8,045866	0,036964	8,28201	1,04944	1,048177	0,803649	36	13
3090,66	3105,34	0,108	0,0405	1,223	0,01629	3113,84	1,2834	8,057281	0,032576	8,2653	1,05171	1,050576	0,840613	37	14
3137,02	3151,85	0,1107	0,0461	1,2534	0,01403	3154,05	1,28306	8,065577	0,028054	8,2021	1,05372	1,052715	0,873189	38	15
3171,08	3186	0,1136	0,052	1,2857	0,01179	3182,39	1,28284	8,071154	0,02358	8,09689	1,05544	1,05458	0,901243	39	16
3193,69	3208,62	0,1166	0,0582	1,3199	0,00966	3199,84	1,28271	8,074407	0,019318	7,95513	1,05689	1,056168	0,924823	40	17
3205,98	3220,85	0,1198	0,0647	1,356	0,0077	3207,62	1,28266	8,075709	0,015406	7,7829	1,05808	1,057488	0,944141	41	18
3209,26	3224,04	0,1231	0,0716	1,3938	0,00597	3207,11	1,28267	8,075405	0,011943	7,58651	1,05903	1,058556	0,959547	42	19
3204,97	3219,6	0,1266	0,0788	1,4336	0,00449	3199,74	1,28273	8,073809	0,008987	7,37209	1,05976	1,059397	0,97149	43	20
3194,52	3208,99	0,1303	0,0864	1,4751	0,00328	3186,89	1,28284	8,071196	0,006555	7,14532	1,06032	1,060041	0,980478	44	21
3179,26	3193,53	0,1341	0,0942	1,5184	0,00231	3169,82	1,28297	8,067801	0,004626	6,91123	1,06072	1,060519	0,987032	45	22
3160,39	3174,45	0,1381	0,1024	1,5634	0,00158	3149,65	1,28313	8,06382	0,003154	6,67405	1,06101	1,060863	0,991658	46	23
3138,92	3152,76	0,1422	0,111	1,6103	0,00104	3127,3	1,28331	8,05941	0,002074	6,43717	1,0612	1,061102	0,994813	47	24

Продолжение таблицы А4

3115,69	3129,3	0,1465	0,1198	1,6588	0,00066	3103,51	1,2835	8,054692	0,001314	6,2032	1,06133	1,061263	0,996887	48	25
3091,33	3104,7	0,1509	0,1289	1,7091	0,0004	3078,83	1,2837	8,049757	0,000799	5,97406	1,06141	1,061367	0,998201	49	26
3066,33	3079,46	0,1555	0,1384	1,761	0,00023	3053,67	1,2839	8,04467	0,000467	5,75107	1,06146	1,061432	0,999	50	27

Таблица А5 - Результаты теплового расчета двигателя с повышенной частотой вращения при $n = 8000 \text{ мин}^{-1}$

Температура предпологаемая/, К	Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выделенного на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	$\Delta X1-2$	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ
685,41	685,41	0,193	0,11041	1,5245	2,49E-08	688,96			4,98E-08	0,973785	1	1	0	0	-24
692,52	692,52	0,1877	0,1016	1,4826	6,22E-07	696,06	1,370	6,40	1,24E-06	1,01167	1	1	4,98E-08	1	-23
699,61	699,61	0,1826	0,09313	1,4424	3,7E-06	703,15	1,369	6,42	7,41E-06	1,050544	1	1	1,29E-06	2	-22
706,70	706,70	0,1777	0,08501	1,4038	1,25E-05	710,26	1,368	6,43	2,49E-05	1,090363	1	1	8,7E-06	3	-21
713,82	713,82	0,173	0,07723	1,3669	3,12E-05	717,43	1,367	6,45	6,24E-05	1,131107	1,000002	1,000001	3,36E-05	4	-20
721,04	721,05	0,1686	0,06981	1,3316	6,51E-05	724,75	1,366	6,47	0,00013	1,172789	1,000005	1,000003	9,6E-05	5	-19
728,45	728,46	0,1643	0,06275	1,2981	0,00012	732,32	1,365	6,48	0,00024	1,215467	1,000011	1,000008	0,000226	6	-18
736,19	736,20	0,1603	0,05605	1,2663	0,000204	740,31	1,364	6,50	0,000407	1,259263	1,000024	1,000018	0,000467	7	-17
744,43	744,45	0,1565	0,04972	1,2362	0,000323	748,90	1,363	6,52	0,000646	1,30437	1,000044	1,000034	0,000874	8	-16
753,38	753,40	0,1529	0,04376	1,2078	0,000486	758,34	1,361	6,53	0,000973	1,351067	1,000077	1,000061	0,00152	9	-15
763,30	763,33	0,1495	0,03816	1,1813	0,000703	768,91	1,360	6,55	0,001406	1,399728	1,000126	1,000102	0,002492	10	-14
774,51	774,55	0,1464	0,03294	1,1565	0,000982	780,93	1,359	6,58	0,001963	1,450834	1,000197	1,000162	0,003898	11	-13
787,35	787,40	0,1435	0,0281	1,1335	0,001333	794,78	1,357	6,60	0,002666	1,504972	1,000297	1,000247	0,005861	12	-12
802,21	802,28	0,1408	0,02363	1,1123	0,001766	810,88	1,355	6,63	0,003531	1,562839	1,000432	1,000364	0,008527	13	-11
819,54	819,62	0,1383	0,01955	1,0928	0,00229	829,66	1,353	6,66	0,00458	1,625227	1,000611	1,000521	0,012058	14	-10
839,79	839,90	0,1361	0,01585	1,0753	0,002915	851,62	1,351	6,69	0,005829	1,693012	1,000842	1,000726	0,016638	15	-9
863,45	863,59	0,1341	0,01253	1,0595	0,003648	877,23	1,349	6,73	0,007296	1,767125	1,001138	1,00099	0,022467	16	-8
891,02	891,20	0,1324	0,0096	1,0456	0,004496	907,00	1,346	6,78	0,008993	1,848515	1,001507	1,001322	0,029762	17	-7
922,98	923,22	0,1308	0,00706	1,0335	0,005465	941,39	1,343	6,83	0,01093	1,938106	1,001962	1,001735	0,038755	18	-6
959,80	960,12	0,1295	0,0049	1,0233	0,006556	980,86	1,340	6,88	0,013112	2,036745	1,002516	1,002239	0,049685	19	-5
1001,91	1002,34	0,1285	0,00314	1,0149	0,007768	1025,79	1,337	6,94	0,015536	2,145139	1,00318	1,002848	0,062797	20	-4
1049,67	1050,22	0,1277	0,00177	1,0084	0,009096	1076,51	1,333	7,00	0,018191	2,263797	1,003966	1,003573	0,078332	21	-3

Продолжение таблицы А5

1103,36	1104,08	0,1271	0,00078	1,0037	0,010529	1133,26	1,330	7,06	0,021059	2,392963	1,004887	1,004427	0,096524	22	-2
1163,16	1164,08	0,1267	0,0002	1,0009	0,012054	1196,13	1,326	7,13	0,024107	2,532561	1,005953	1,00542	0,117582	23	-1
1229,11	1230,29	0,1266	0	1	0,013647	1265,12	1,323	7,20	0,027294	2,682137	1,007174	1,006564	0,14169	24	0
1301,13	1302,60	0,1267	0,0002	1,0009	0,015281	1340,05	1,319	7,27	0,030562	2,840818	1,008556	1,007865	0,168984	25	1
1378,96	1380,78	0,1271	0,00078	1,0037	0,016921	1420,57	1,316	7,34	0,033842	3,007283	1,010103	1,00933	0,199545	26	2
1462,17	1464,38	0,1277	0,00177	1,0084	0,018527	1506,16	1,312	7,41	0,037054	3,17975	1,011817	1,01096	0,233387	27	3
1550,14	1552,77	0,1285	0,00314	1,0149	0,020052	1596,10	1,309	7,47	0,040104	3,355984	1,013693	1,012755	0,270441	28	4
1642,06	1645,15	0,1295	0,0049	1,0233	0,021446	1689,49	1,306	7,53	0,042893	3,533332	1,015724	1,014708	0,310545	29	5
1736,92	1740,50	0,1308	0,00706	1,0335	0,022657	1785,24	1,303	7,59	0,045314	3,708779	1,017895	1,016809	0,353437	30	6
1833,56	1837,64	0,1324	0,0096	1,0456	0,023632	1882,10	1,301	7,64	0,047264	3,879039	1,02019	1,019043	0,398751	31	7
1930,65	1935,24	0,1341	0,01253	1,0595	0,024322	1978,72	1,299	7,69	0,048644	4,040665	1,022583	1,021386	0,446015	32	8
2026,79	2031,86	0,1361	0,01585	1,0753	0,024686	2073,62	1,297	7,74	0,049372	4,190184	1,025046	1,023814	0,494659	33	9
2120,46	2126,01	0,1383	0,01955	1,0928	0,024691	2165,32	1,295	7,78	0,049382	4,324248	1,027546	1,026296	0,544031	34	10
2210,18	2216,17	0,1408	0,02363	1,1123	0,024319	2252,35	1,293	7,82	0,048637	4,439796	1,030046	1,028796	0,593413	35	11
2294,52	2300,90	0,1435	0,0281	1,1335	0,023567	2333,35	1,292	7,85	0,047135	4,534205	1,032508	1,031277	0,64205	36	12
2372,17	2378,90	0,1464	0,03294	1,1565	0,022453	2407,09	1,291	7,87	0,044906	4,605437	1,034895	1,033702	0,689185	37	13
2442,00	2449,04	0,1495	0,03816	1,1813	0,02101	2472,58	1,290	7,90	0,042019	4,652151	1,037169	1,036032	0,734091	38	14
2503,16	2510,44	0,1529	0,04376	1,2078	0,019289	2529,10	1,289	7,92	0,038578	4,673777	1,039296	1,038232	0,77611	39	15
2555,04	2562,52	0,1565	0,04972	1,2362	0,017358	2576,22	1,289	7,93	0,034716	4,670546	1,04125	1,040273	0,814688	40	16
2597,40	2605,01	0,1603	0,05605	1,2663	0,015293	2613,83	1,288	7,94	0,030587	4,643464	1,043007	1,042128	0,849404	41	17
2630,27	2637,98	0,1643	0,06275	1,2981	0,013176	2642,14	1,288	7,95	0,026353	4,594243	1,044556	1,043782	0,87999	42	18
2654,01	2661,77	0,1686	0,06981	1,3316	0,011088	2661,62	1,288	7,95	0,022176	4,525171	1,04589	1,045223	0,906343	43	19
2669,24	2677,01	0,173	0,07723	1,3669	0,009102	2673,02	1,287	7,96	0,018203	4,438966	1,047013	1,046452	0,92852	44	20
2676,79	2684,54	0,1777	0,08501	1,4038	0,007278	2677,22	1,287	7,96	0,014555	4,338597	1,047935	1,047474	0,946723	45	21
2677,64	2685,33	0,1826	0,09313	1,4424	0,00566	2675,23	1,287	7,96	0,011321	4,227108	1,048672	1,048303	0,961278	46	22
2672,82	2680,44	0,1877	0,1016	1,4826	0,004276	2668,11	1,287	7,96	0,008553	4,107454	1,049245	1,048958	0,972599	47	23
2663,39	2670,91	0,193	0,11041	1,5245	0,003133	2656,87	1,288	7,95	0,006266	3,982365	1,049678	1,049461	0,981152	48	24
2650,35	2657,75	0,1985	0,11957	1,5679	0,002222	2642,47	1,288	7,95	0,004445	3,854251	1,049995	1,049837	0,987418	49	25
2634,58	2641,87	0,2042	0,12905	1,613	0,001524	2625,72	1,288	7,95	0,003048	3,725142	1,05022	1,050108	0,991863	50	26
2616,86	2624,01	0,2101	0,13887	1,6596	0,001008	2607,34	1,288	7,94	0,002017	3,596671	1,050375	1,050297	0,994911	51	27
2597,81	2604,83	0,2162	0,14901	1,7078	0,000643	2587,87	1,288	7,94	0,001285	3,470095	1,050477	1,050426	0,996927	52	28
2577,92	2584,80	0,2225	0,15947	1,7575	0,000394	2567,74	1,289	7,93	0,000788	3,346327	1,050542	1,050509	0,998213	53	29

Продолжение таблицы А5

2557,56	2564,30	0,229	0,17025	1,8087	0,000232	2547,27	1,289	7,92	0,000463	3,225996	1,050582	1,050562	0,999	54	30
---------	---------	-------	---------	--------	----------	---------	-------	------	----------	----------	----------	----------	-------	----	----

Таблица А6 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВА3-2112 при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma(f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая/, К
759,4314	0,11394	0,0439	1,2085	9,3E-07	762,5295			1,9E-06	1,824	1	1	0	0	-15	759,4314
765,6275	0,11143	0,0383	1,1819	1,5E-05	768,7397	1,3596	6,562	3E-05	1,88036	1	1	1,87E-06	1	-14	765,6275
771,8518	0,10908	0,0331	1,157	6,8E-05	775,1405	1,3588	6,5746	0,00014	1,93641	1	1	3,2E-05	2	-13	771,8518
778,429	0,1069	0,0282	1,1339	0,00019	782,1335	1,3579	6,5875	0,00038	1,99269	1	1	0,000169	3	-12	778,4292
785,8373	0,1049	0,0237	1,1126	0,00041	790,273	1,357	6,6015	0,00082	2,05016	1	1	0,000549	4	-11	785,8377
794,7076	0,10306	0,0196	1,0932	0,00076	800,2637	1,356	6,6176	0,00152	2,1103	1,0001	1,0001	0,001369	5	-10	794,7083
805,8179	0,1014	0,0159	1,0755	0,00127	812,9502	1,3548	6,6371	0,00254	2,17506	1,0002	1,0001	0,002889	6	-9	805,8191
820,0795	0,09991	0,0126	1,0597	0,00197	829,2989	1,3533	6,6614	0,00394	2,24685	1,0003	1,0003	0,005428	7	-8	820,0814
838,5132	0,09859	0,0096	1,0457	0,00288	850,368	1,3514	6,6919	0,00577	2,32849	1,0006	1,0004	0,009366	8	-7	838,5165
862,2141	0,09745	0,0071	1,0336	0,00404	877,2659	1,349	6,7301	0,00808	2,42309	1,0009	1,0007	0,015135	9	-6	862,2195
892,3034	0,09648	0,0049	1,0234	0,00545	911,0985	1,3462	6,7768	0,01091	2,53387	1,0014	1,0012	0,023217	10	-5	892,3123
929,87	0,09569	0,0031	1,015	0,00714	952,9056	1,3429	6,8326	0,01427	2,66395	1,0021	1,0017	0,034127	11	-4	929,8847
975,9031	0,09507	0,0018	1,0084	0,00908	1003,591	1,3391	6,8974	0,01816	2,81611	1,0029	1,0025	0,048397	12	-3	975,9264
1031,22	0,09463	0,0008	1,0037	0,01128	1063,852	1,335	6,9706	0,02255	2,99254	1,004	1,0035	0,066558	13	-2	1031,256
1096,394	0,09437	0,0002	1,0009	0,01369	1134,107	1,3306	7,0505	0,02737	3,19452	1,0054	1,0047	0,089109	14	-1	1096,448
1171,686	0,09428	0	1	0,01627	1214,43	1,326	7,1353	0,03253	3,42225	1,0071	1,0062	0,116484	15	0	1171,765
1256,984	0,09437	0,0002	1,0009	0,01894	1304,499	1,3214	7,2228	0,03788	3,67459	1,0091	1,0081	0,149015	16	1	1257,095
1351,753	0,09463	0,0008	1,0037	0,02162	1403,55	1,3169	7,3105	0,04323	3,94896	1,0114	1,0102	0,186894	17	2	1351,903
1455,002	0,09507	0,0018	1,0084	0,02419	1510,359	1,3127	7,3964	0,04838	4,2412	1,014	1,0127	0,230128	18	3	1455,197
1565,273	0,09569	0,0031	1,015	0,02654	1623,243	1,3087	7,4784	0,05307	4,54569	1,0169	1,0155	0,278508	19	4	1565,52
1680,662	0,09648	0,0049	1,0234	0,02852	1740,099	1,3051	7,5552	0,05705	4,85541	1,0202	1,0185	0,331579	20	5	1680,965

Продолжение таблицы А6

1798,871	0,09745	0,0071	1,0336	0,03003	1858,477	1,3019	7,6254	0,06006	5,16221	1,0236	1,0219	0,388626	21	6	1799,232
1917,302	0,09859	0,0096	1,0457	0,03094	1975,691	1,299	7,6885	0,06187	5,45725	1,0273	1,0254	0,448681	22	7	1917,721
2033,184	0,09991	0,0126	1,0597	0,03116	2088,964	1,2966	7,7439	0,06233	5,73146	1,031	1,0292	0,510554	23	8	2033,66
2143,738	0,1014	0,0159	1,0755	0,03066	2195,596	1,2945	7,7917	0,06132	5,97612	1,0348	1,0329	0,572881	24	9	2144,267
2246,348	0,10306	0,0196	1,0932	0,02943	2293,143	1,2927	7,8319	0,05886	6,18353	1,0386	1,0367	0,634205	25	10	2246,925
2338,741	0,1049	0,0237	1,1126	0,02752	2379,581	1,2913	7,865	0,05505	6,34751	1,0421	1,0403	0,693068	26	11	2339,361
2419,147	0,1069	0,0282	1,1339	0,02504	2453,447	1,2902	7,8914	0,05009	6,46395	1,0455	1,0438	0,748117	27	12	2419,801
2486,409	0,10908	0,0331	1,157	0,02213	2513,925	1,2894	7,9117	0,04427	6,53105	1,0485	1,047	0,798203	28	13	2487,092
2540,053	0,11143	0,0383	1,1819	0,01897	2560,876	1,2887	7,9266	0,03795	6,54939	1,0512	1,0499	0,842472	29	14	2540,757
2580,278	0,11394	0,0439	1,2085	0,01574	2594,806	1,2883	7,9369	0,03149	6,52182	1,0535	1,0524	0,880418	30	15	2580,996
2607,889	0,11662	0,0499	1,237	0,01262	2616,76	1,288	7,9433	0,02525	6,45303	1,0554	1,0545	0,911906	31	16	2608,615
2624,175	0,11946	0,0562	1,2671	0,00976	2628,189	1,2879	7,9465	0,01953	6,34903	1,057	1,0562	0,937155	32	17	2624,904
2630,746	0,12247	0,063	1,2991	0,00727	2630,776	1,2879	7,9471	0,01453	6,21652	1,0582	1,0576	0,956681	33	18	2631,473
2629,357	0,12565	0,07	1,3327	0,00519	2626,269	1,2879	7,9458	0,01039	6,06231	1,059	1,0586	0,971215	34	19	2630,078
2621,746	0,12898	0,0775	1,3681	0,00356	2616,333	1,2881	7,943	0,00712	5,89277	1,0597	1,0594	0,981604	35	20	2622,459
2609,504	0,13247	0,0853	1,4051	0,00233	2602,441	1,2882	7,9391	0,00466	5,71349	1,0601	1,0599	0,988721	36	21	2610,207
2593,985	0,13612	0,0934	1,4438	0,00146	2585,811	1,2884	7,9345	0,00291	5,52909	1,0604	1,0602	0,993382	37	22	2594,676
2576,269	0,13993	0,1019	1,4842	0,00087	2567,389	1,2886	7,9294	0,00173	5,34313	1,0606	1,0605	0,996294	38	23	2576,947
2557,166	0,14389	0,1108	1,5262	0,00049	2547,865	1,2889	7,9239	0,00098	5,15825	1,0607	1,0606	0,998024	39	24	2557,831
2537,249	0,148	0,12	1,5698	0,00026	2527,718	1,2891	7,9182	0,00052	4,97627	1,0607	1,0607	0,999	40	25	2537,9

Таблица А7 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВА3-2112 при $n = 2600 \text{ мин}^{-1}$

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	ΔX_{1-2}	Давление	Коэффи- циент мо- ле- кулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характе- ристика тепловы- деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Темпе- ратура предпо- лагае- мая/, К
718,6469	0,13406	0,07749	1,36807	0,00000	722,1109			0,00000	1,46976	1	1	0	0	-20	718,6469
725,5847	0,13060	0,07005	1,33271	0,00001	729,0405	1,36522	6,47621	0,00001	1,52332	1	1	6E-07	1	-19	725,5749

Продолжение таблицы А7

732,5258	0,12730	0,06296	1,29907	0,00002	736,0423	1,36421	6,49140	0,00005	1,57772	1	1	1E-05	2	-18	732,5061
739,6082	0,12417	0,05624	1,26715	0,00007	743,2928	1,36320	6,50656	0,00014	1,63311	1	1	6E-05	3	-17	739,5785
747,0473	0,12122	0,04989	1,23696	0,00016	751,0474	1,36218	6,52207	0,00031	1,68979	1	1	0,0002	4	-16	747,0071
755,1393	0,11843	0,04390	1,20853	0,00030	759,6431	1,36111	6,53845	0,00059	1,74830	1	1	0,0005	5	-15	755,0877
764,2629	0,11582	0,03829	1,18187	0,00051	769,499	1,35995	6,55636	0,00101	1,80938	1,0001	1	0,0011	6	-14	764,1985
774,8784	0,11338	0,03305	1,15699	0,00080	781,1137	1,35864	6,57659	0,00159	1,87404	1,0001	1,0001	0,0021	7	-13	774,7994
787,524	0,11112	0,02819	1,13391	0,00119	795,0603	1,35714	6,59998	0,00237	1,94352	1,0002	1,0001	0,0037	8	-12	787,4279
802,8088	0,10903	0,02371	1,11263	0,00169	811,9767	1,35540	6,62744	0,00337	2,01934	1,0003	1,0002	0,0061	9	-11	802,6926
821,4006	0,10712	0,01961	1,09316	0,00231	832,552	1,35337	6,65986	0,00463	2,10321	1,0005	1,0004	0,0095	10	-10	821,2609
844,0101	0,10539	0,01590	1,07552	0,00308	857,5073	1,35100	6,69802	0,00615	2,19699	1,0007	1,0006	0,0141	11	-9	843,8431
871,3699	0,10385	0,01257	1,05971	0,00399	887,5734	1,34828	6,74250	0,00797	2,30267	1,001	1,0009	0,0202	12	-8	871,1716
904,2085	0,10248	0,00963	1,04574	0,00505	923,463	1,34521	6,79363	0,01010	2,42223	1,0014	1,0012	0,0282	13	-7	903,9753
943,2223	0,10129	0,00708	1,03363	0,00627	965,8409	1,34180	6,85142	0,01255	2,55754	1,0019	1,0017	0,0383	14	-6	942,9507
989,0435	0,10028	0,00492	1,02336	0,00765	1015,292	1,33810	6,91548	0,01530	2,71023	1,0026	1,0023	0,0509	15	-5	988,731
1042,208	0,09946	0,00315	1,01496	0,00918	1072,288	1,33416	6,98507	0,01836	2,88159	1,0034	1,003	0,0662	16	-4	1041,853
1103,122	0,09882	0,00177	1,00842	0,01084	1137,158	1,33008	7,05913	0,02168	3,07241	1,0043	1,0038	0,0845	17	-3	1102,724
1172,032	0,09836	0,00079	1,00374	0,01261	1210,051	1,32593	7,13636	0,02522	3,28286	1,0054	1,0048	0,1062	18	-2	1171,591
1248,991	0,09809	0,00020	1,00094	0,01446	1290,914	1,32179	7,21532	0,02893	3,51238	1,0067	1,006	0,1314	19	-1	1248,511
1333,836	0,09799	0,00000	1,00000	0,01636	1379,464	1,31774	7,29454	0,03272	3,75961	1,0081	1,0074	0,1603	20	0	1333,318
1426,161	0,09809	0,00020	1,00094	0,01825	1475,165	1,31384	7,37262	0,03650	4,02231	1,0098	1,009	0,1931	21	1	1425,61
1525,302	0,09836	0,00079	1,00374	0,02008	1577,22	1,31016	7,44831	0,04016	4,29736	1,0116	1,0107	0,2296	22	2	1524,721
1630,326	0,09882	0,00177	1,00842	0,02179	1684,567	1,30672	7,52054	0,04357	4,58075	1,0137	1,0127	0,2697	23	3	1629,72
1740,039	0,09946	0,00315	1,01496	0,02331	1795,886	1,30356	7,58847	0,04661	4,86768	1,0159	1,0148	0,3133	24	4	1739,413
1852,999	0,10028	0,00492	1,02336	0,02457	1909,629	1,30068	7,65148	0,04915	5,15269	1,0182	1,0171	0,3599	25	5	1852,358
1967,552	0,10129	0,00708	1,03363	0,02553	2024,06	1,29810	7,70914	0,05105	5,42983	1,0207	1,0195	0,4091	26	6	1966,9
2081,879	0,10248	0,00963	1,04574	0,02611	2137,309	1,29581	7,76120	0,05222	5,69291	1,0233	1,022	0,4601	27	7	2081,22
2194,061	0,10385	0,01257	1,05971	0,02628	2247,449	1,29379	7,80759	0,05256	5,93576	1,026	1,0247	0,5123	28	8	2193,399
2302,163	0,10539	0,01590	1,07552	0,02601	2352,577	1,29204	7,84833	0,05202	6,15259	1,0286	1,0273	0,5649	29	9	2301,5
2404,316	0,10712	0,01961	1,09316	0,02530	2450,904	1,29055	7,88358	0,05060	6,33821	1,0313	1,03	0,6169	30	10	2403,655

Продолжение таблицы А7

2498,811	0,10903	0,02371	1,11263	0,02416	2540,841	1,28929	7,91358	0,04833	6,48841	1,0338	1,0326	0,6675	31	11	2498,153
2584,183	0,11112	0,02819	1,13391	0,02264	2621,084	1,28824	7,93863	0,04528	6,60014	1,0363	1,0351	0,7159	32	12	2583,529
2659,288	0,11338	0,03305	1,15699	0,02079	2690,677	1,28739	7,95908	0,04158	6,67170	1,0386	1,0374	0,7611	33	13	2658,639
2723,357	0,11582	0,03829	1,18187	0,01870	2749,054	1,28672	7,97533	0,03739	6,70281	1,0407	1,0396	0,8027	34	14	2722,715
2776,03	0,11843	0,04390	1,20853	0,01644	2796,058	1,28621	7,98779	0,03289	6,69459	1,0426	1,0416	0,8401	35	15	2775,394
2817,353	0,12122	0,04989	1,23696	0,01413	2831,929	1,28584	7,99689	0,02826	6,64944	1,0443	1,0434	0,873	36	16	2816,723
2847,759	0,12417	0,05624	1,26715	0,01185	2857,262	1,28559	8,00307	0,02370	6,57085	1,0457	1,045	0,9013	37	17	2847,135
2868,008	0,12730	0,06296	1,29907	0,00968	2872,948	1,28544	8,00675	0,01937	6,46310	1,0469	1,0463	0,9249	38	18	2867,39
2879,119	0,13060	0,07005	1,33271	0,00771	2880,089	1,28538	8,00832	0,01541	6,33093	1,0479	1,0474	0,9443	39	19	2878,506
2882,279	0,13406	0,07749	1,36807	0,00596	2879,911	1,28538	8,00815	0,01192	6,17930	1,0487	1,0483	0,9597	40	20	2881,671
2878,754	0,13769	0,08529	1,40511	0,00448	2873,679	1,285446	8,00659	0,00895	6,01301	1,0493	1,049	0,9716	41	21	2878,151
2869,805	0,14149	0,09344	1,44382	0,00326	2862,615	1,285554	8,00392	0,00652	5,83653	1,0497	1,0495	0,9806	42	22	2869,207
2856,616	0,14544	0,10194	1,48419	0,00230	2847,836	1,285698	8,00041	0,00459	5,65380	1,05	1,0499	0,9871	43	23	2856,022
2840,239	0,14956	0,11078	1,52619	0,00156	2830,318	1,285867	7,99625	0,00313	5,46816	1,0503	1,0502	0,9917	44	24	2839,65
2821,57	0,15383	0,11996	1,56981	0,00103	2810,868	1,286056	7,99163	0,00206	5,28228	1,0504	1,0504	0,9948	45	25	2820,986
2801,332	0,15826	0,12948	1,61501	0,00065	2790,129	1,28626	7,98666	0,00130	5,09824	1,0505	1,0505	0,9969	46	26	2800,751
2780,084	0,16285	0,13932	1,66178	0,00040	2768,589	1,286473	7,98146	0,00079	4,91755	1,0506	1,0506	0,9982	47	27	2779,508
2758,243	0,16758	0,14950	1,71010	0,00023	2746,603	1,286694	7,97608	0,00046	4,74130	1,0506	1,0506	0,999	48	28	2757,67

Таблица А8 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВАЗ-2112 при $n = 3700 \text{ мин}^{-1}$

Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая/, К
691,4311	0,1495	0,1019	1,4842	1,1E-07	694,9687			2,27E-07	1,26777	1	1	0	0	-23	691,4311
698,5257	0,1455	0,0934	1,4438	2,1E-06	702,0472	1,36936	6,4147	4,24E-06	1,31659	1	1	2,27E-07	1	-22	698,5064
705,6267	0,1416	0,0853	1,4051	1,1E-05	709,1644	1,36825	6,43107	2,11E-05	1,36662	1	1	4,47E-06	2	-21	705,5881
712,7989	0,1378	0,0775	1,3681	3,1E-05	716,4066	1,36715	6,4473	6,25E-05	1,41789	1	1	2,56E-05	3	-20	712,7407

Продолжение таблицы А8

720,1507	0,1343	0,07	1,3327	7,1E-05	723,9055	1,36606	6,4636	0,000142	1,47051	1	1	8,8E-05	4	-19	720,0724
727,8378	0,1309	0,063	1,2991	0,00014	731,8414	1,36495	6,48024	0,000273	1,52471	1,00001	1,00001	0,00023	5	-18	727,7385
736,0659	0,1277	0,0562	1,2671	0,00024	740,4453	1,36379	6,49761	0,000473	1,58081	1,00003	1,00002	0,000503	6	-17	735,9443
745,0922	0,1246	0,0499	1,237	0,00038	749,9997	1,36257	6,51616	0,000757	1,63927	1,00005	1,00004	0,000976	7	-16	744,9463
755,2261	0,1218	0,0439	1,2085	0,00057	760,8391	1,36124	6,53644	0,001141	1,70071	1,00009	1,00007	0,001733	8	-15	755,0532
766,828	0,1191	0,0383	1,1819	0,00082	773,3472	1,35978	6,55902	0,001643	1,76587	1,00015	1,00012	0,002873	9	-14	766,6249
780,307	0,1166	0,0331	1,157	0,00114	787,9543	1,35813	6,58453	0,00228	1,83568	1,00023	1,00019	0,004517	10	-13	780,0695
796,1157	0,1142	0,0282	1,1339	0,00153	805,1311	1,35628	6,6136	0,003069	1,9112	1,00035	1,00029	0,006797	11	-12	795,8392
814,7436	0,1121	0,0237	1,1126	0,00201	825,3803	1,35418	6,64683	0,004025	1,9936	1,0005	1,00042	0,009866	12	-11	814,4229
836,7082	0,1101	0,0196	1,0932	0,00258	849,2271	1,35182	6,68472	0,005163	2,08418	1,00071	1,0006	0,01389	13	-10	836,3377
862,5423	0,1084	0,0159	1,0755	0,00325	877,2058	1,34918	6,72765	0,006496	2,18428	1,00097	1,00084	0,019053	14	-9	862,1166
892,7811	0,1068	0,0126	1,0597	0,00402	909,8453	1,34627	6,77583	0,008033	2,29526	1,0013	1,00113	0,025549	15	-8	892,295
927,9463	0,1054	0,0096	1,0457	0,00489	947,6527	1,3431	6,82924	0,009782	2,41842	1,00171	1,0015	0,033582	16	-7	927,3955
968,529	0,1041	0,0071	1,0336	0,00587	991,0964	1,33969	6,88765	0,011744	2,55494	1,00221	1,00196	0,043364	17	-6	967,91
1014,972	0,1031	0,0049	1,0234	0,00696	1040,587	1,3361	6,95059	0,013915	2,70578	1,0028	1,00251	0,055108	18	-5	1014,283
1067,65	0,1023	0,0031	1,015	0,00814	1096,46	1,33237	7,01737	0,016287	2,87166	1,00351	1,00316	0,069023	19	-4	1066,891
1126,856	0,1016	0,0018	1,0084	0,00942	1158,956	1,32856	7,08713	0,018842	3,0529	1,00434	1,00393	0,08531	20	-3	1126,029
1192,775	0,1011	0,0008	1,0037	0,01078	1228,203	1,32473	7,1589	0,021556	3,24943	1,0053	1,00482	0,104153	21	-2	1191,883
1265,475	0,1008	0,0002	1,0009	0,0122	1304,201	1,32094	7,23164	0,024393	3,46068	1,0064	1,00585	0,125709	22	-1	1264,523
1344,884	0,1008	0	1	0,01366	1386,803	1,31724	7,30432	0,02731	3,68556	1,00764	1,00702	0,150101	23	0	1343,879
1430,778	0,1008	0,0002	1,0009	0,01513	1475,703	1,31368	7,37596	0,030256	3,9224	1,00903	1,00833	0,177412	24	1	1429,727
1522,767	0,1011	0,0008	1,0037	0,01658	1570,424	1,31029	7,44568	0,033167	4,16896	1,01057	1,0098	0,207668	25	2	1521,679
1620,287	0,1016	0,0018	1,0084	0,01799	1670,315	1,30709	7,51271	0,035975	4,42244	1,01226	1,01141	0,240835	26	3	1619,17
1722,597	0,1023	0,0031	1,015	0,0193	1774,544	1,30412	7,57644	0,038604	4,67951	1,01409	1,01317	0,27681	27	4	1721,46
1828,778	0,1031	0,0049	1,0234	0,02049	1882,111	1,30137	7,63639	0,040974	4,93638	1,01605	1,01507	0,315414	28	5	1827,629
1937,747	0,1041	0,0071	1,0336	0,0215	1991,855	1,29886	7,69219	0,043006	5,18891	1,01814	1,01709	0,356389	29	6	1936,592
2048,271	0,1054	0,0096	1,0457	0,02231	2102,485	1,29658	7,74362	0,04462	5,4327	1,02032	1,01923	0,399394	30	7	2047,118
2158,999	0,1068	0,0126	1,0597	0,02287	2212,605	1,29453	7,79056	0,045748	5,66328	1,0226	1,02146	0,444015	31	8	2157,853
2268,493	0,1084	0,0159	1,0755	0,02317	2320,757	1,2927	7,83297	0,046331	5,87623	1,02492	1,02376	0,489763	32	9	2267,358

Продолжение таблицы А8

2375,275	0,1101	0,0196	1,0932	0,02316	2425,466	1,29108	7,8709	0,046325	6,0674	1,02728	1,0261	0,536094	33	10	2374,155
2477,879	0,1121	0,0237	1,1126	0,02285	2525,297	1,28967	7,90444	0,045708	6,23304	1,02964	1,02846	0,582419	34	11	2476,777
2574,901	0,1142	0,0282	1,1339	0,02224	2618,903	1,28844	7,93376	0,044479	6,37	1,03196	1,0308	0,628127	35	12	2573,817
2665,054	0,1166	0,0331	1,157	0,02133	2705,085	1,2874	7,95904	0,042662	6,47586	1,03423	1,0331	0,672606	36	13	2663,99
2747,225	0,1191	0,0383	1,1819	0,02015	2782,834	1,28651	7,98051	0,040307	6,54902	1,0364	1,03531	0,715267	37	14	2746,18
2820,514	0,1218	0,0439	1,2085	0,01874	2851,379	1,28578	7,99842	0,037486	6,58881	1,03845	1,03742	0,755574	38	15	2819,489
2884,276	0,1246	0,0499	1,237	0,01715	2910,209	1,28518	8,01305	0,034294	6,59547	1,04036	1,0394	0,79306	39	16	2883,269
2938,138	0,1277	0,0562	1,2671	0,01542	2959,095	1,28471	8,02466	0,030837	6,57013	1,0421	1,04123	0,827354	40	17	2937,149
2982,015	0,1309	0,063	1,2991	0,01362	2998,087	1,28435	8,03356	0,027234	6,51473	1,04367	1,04289	0,858191	41	18	2981,041
3016,094	0,1343	0,07	1,3327	0,0118	3027,5	1,28409	8,04003	0,023604	6,43193	1,04506	1,04436	0,885426	42	19	3015,134
3040,814	0,1378	0,0775	1,3681	0,01003	3047,883	1,28392	8,04436	0,020058	6,3249	1,04626	1,04566	0,909029	43	20	3039,867
3056,834	0,1416	0,0853	1,4051	0,00835	3059,974	1,28382	8,04682	0,016697	6,19718	1,04728	1,04677	0,929087	44	21	3055,898
3064,977	0,1455	0,0934	1,4438	0,0068	3064,657	1,28378	8,04768	0,013604	6,05248	1,04813	1,0477	0,945784	45	22	3064,051
3066,182	0,1495	0,1019	1,4842	0,00542	3062,899	1,2838	8,0472	0,010837	5,89451	1,04882	1,04848	0,959388	46	23	3065,264
3061,444	0,1538	0,1108	1,5262	0,00422	3055,698	1,28387	8,04559	0,008433	5,72683	1,04937	1,0491	0,970225	47	24	3060,534
3051,766	0,1582	0,12	1,5698	0,0032	3044,035	1,28397	8,04308	0,006403	5,55272	1,0498	1,04959	0,978658	48	25	3050,862
3038,106	0,1627	0,1295	1,615	0,00237	3028,828	1,2841	8,03983	0,004738	5,37507	1,05013	1,04996	0,98506	49	26	3037,207
3021,343	0,1674	0,1393	1,6618	0,00171	3010,906	1,28425	8,03601	0,003415	5,19636	1,05037	1,05025	0,989799	50	27	3020,449
3002,253	0,1723	0,1495	1,7101	0,0012	2990,985	1,28442	8,03175	0,002393	5,01862	1,05054	1,05046	0,993213	51	28	3001,363
2981,492	0,1773	0,16	1,7599	0,00081	2969,662	1,28461	8,02717	0,001629	4,84344	1,05066	1,0506	0,995606	52	29	2980,607
2959,599	0,1825	0,1708	1,8113	0,00054	2947,418	1,28481	8,02234	0,001076	4,67205	1,05075	1,05071	0,997235	53	30	2958,718
2936,997	0,1878	0,1819	1,8641	0,00034	2924,626	1,28501	8,01734	0,000689	4,5053	1,0508	1,05077	0,998311	54	31	2936,119
2914,007	0,1933	0,1933	1,9184	0,00021	2901,565	1,28522	8,01221	0,000427	4,34377	1,05084	1,05082	0,999	55	32	2913,133

Таблица А9 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВАЗ-2112 при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Температура действительная	Удельный объем	s	$\gamma (f1)$	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика тепловыделения	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая/, К
670,832	0,1674	0,1295	1,615	6E-08	674,414			1,2E-07	1,09876	1	1	0	0	-26	670,832
677,978	0,1627	0,12	1,5698	1,2E-06	681,596	1,37273	6,365839	2,42E-06	1,14244	1	1	1,2E-07	1	-25	677,996
685,158	0,1582	0,1108	1,5262	6,3E-06	688,831	1,37153	6,383148	1,26E-05	1,18753	1	1	2,54E-06	2	-24	685,195
692,413	0,1538	0,1019	1,4842	1,9E-05	696,176	1,37035	6,400338	3,85E-05	1,23407	1	1	1,51E-05	3	-23	692,468
699,811	0,1497	0,0934	1,4438	4,5E-05	703,719	1,36917	6,417538	8,95E-05	1,28213	1	1,000002	5,36E-05	4	-22	699,885
707,459	0,1456	0,0853	1,4051	8,8E-05	711,582	1,36799	6,434948	0,000176	1,33185	1,00001	1,000005	0,000143	5	-21	707,552
715,498	0,1418	0,0775	1,3681	0,00015	719,93	1,36678	6,452837	0,00031	1,38347	1,00002	1,000012	0,000319	6	-20	715,613
724,111	0,1381	0,07	1,3327	0,00025	728,964	1,36553	6,47154	0,000503	1,43728	1,00003	1,000024	0,000629	7	-19	724,248
733,52	0,1347	0,063	1,2991	0,00038	738,929	1,3642	6,491458	0,000768	1,4937	1,00006	1,000045	0,001131	8	-18	733,681
743,991	0,1313	0,0562	1,2671	0,00056	750,11	1,36278	6,513046	0,001118	1,55324	1,0001	1,000077	0,001899	9	-17	744,177
755,828	0,1282	0,0499	1,237	0,00078	762,834	1,36122	6,536803	0,001568	1,61653	1,00015	1,000125	0,003017	10	-16	756,044
769,376	0,1253	0,0439	1,2085	0,00107	777,465	1,3595	6,563249	0,002132	1,68433	1,00023	1,000193	0,004586	11	-15	769,625
785,019	0,1225	0,0383	1,1819	0,00141	794,399	1,3576	6,592906	0,002822	1,75751	1,00034	1,000287	0,006717	12	-14	785,304
803,167	0,1199	0,0331	1,157	0,00183	814,063	1,35548	6,626265	0,003653	1,83704	1,00048	1,000413	0,00954	13	-13	803,494
824,259	0,1175	0,0282	1,1339	0,00232	836,904	1,35312	6,663748	0,004638	1,92398	1,00067	1,000577	0,013193	14	-12	824,633
848,75	0,1153	0,0237	1,1126	0,00289	863,378	1,35053	6,70568	0,005786	2,01946	1,00091	1,000787	0,017831	15	-11	849,175
877,099	0,1133	0,0196	1,0932	0,00355	893,945	1,34769	6,752246	0,007108	2,12464	1,0012	1,001052	0,023617	16	-10	877,582
909,764	0,1115	0,0159	1,0755	0,00431	929,05	1,34462	6,803468	0,008611	2,24064	1,00156	1,001379	0,030725	17	-9	910,308
947,181	0,1098	0,0126	1,0597	0,00515	969,116	1,34134	6,859184	0,010298	2,36854	1,002	1,001778	0,039335	18	-8	947,792
989,758	0,1084	0,0096	1,0457	0,00609	1014,53	1,33789	6,919043	0,012171	2,50927	1,00252	1,002258	0,049634	19	-7	990,44
1037,85	0,1071	0,0071	1,0336	0,00711	1065,61	1,33431	6,982519	0,014224	2,66356	1,00314	1,002828	0,061805	20	-6	1038,61
1091,77	0,1061	0,0049	1,0234	0,00822	1122,63	1,33064	7,048932	0,016447	2,83193	1,00386	1,003498	0,076029	21	-5	1092,61
1151,73	0,1052	0,0031	1,015	0,00941	1185,76	1,32693	7,117488	0,018826	3,01454	1,00469	1,004277	0,092476	22	-4	1152,65
1217,88	0,1045	0,0018	1,0084	0,01067	1255,09	1,32324	7,187322	0,021336	3,2112	1,00565	1,005172	0,111301	23	-3	1218,87

Продолжение таблицы А9

1290,23	0,104	0,0008	1,0037	0,01197	1330,58	1,31961	7,257548	0,023948	3,42129	1,00673	1,006191	0,132637	24	-2	1291,31
1368,71	0,1037	0,0002	1,0009	0,01331	1412,09	1,31609	7,327297	0,026624	3,64372	1,00795	1,00734	0,156585	25	-1	1369,86
1453,09	0,1037	0	1	0,01466	1499,32	1,31271	7,395763	0,02932	3,8769	1,0093	1,008624	0,18321	26	0	1454,32
1543,01	0,1037	0,0002	1,0009	0,01599	1591,84	1,30949	7,46222	0,031982	4,11877	1,01079	1,010044	0,21253	27	1	1544,33
1637,98	0,104	0,0008	1,0037	0,01728	1689,06	1,30646	7,526051	0,034552	4,36675	1,01241	1,011599	0,244512	28	2	1639,36
1737,31	0,1045	0,0018	1,0084	0,01848	1790,25	1,30364	7,586747	0,036966	4,6178	1,01417	1,013288	0,279064	29	3	1738,77
1840,22	0,1052	0,0031	1,015	0,01958	1894,52	1,30103	7,643913	0,039156	4,8685	1,01604	1,015103	0,31603	30	4	1841,73
1945,72	0,1061	0,0049	1,0234	0,02053	2000,85	1,29863	7,69726	0,041054	5,11507	1,01803	1,017035	0,355186	31	5	1947,3
2052,76	0,1071	0,0071	1,0336	0,0213	2108,1	1,29645	7,746598	0,042593	5,35355	1,02011	1,019071	0,39624	32	6	2054,39
2160,12	0,1084	0,0096	1,0457	0,02186	2215,03	1,29447	7,791822	0,043713	5,57987	1,02227	1,021194	0,438833	33	7	2161,8
2266,54	0,1098	0,0126	1,0597	0,02218	2320,37	1,2927	7,832901	0,044359	5,79	1,02449	1,023384	0,482546	34	8	2268,27
2370,7	0,1115	0,0159	1,0755	0,02225	2422,77	1,29113	7,869865	0,044493	5,98011	1,02675	1,025619	0,526905	35	9	2372,47
2471,28	0,1133	0,0196	1,0932	0,02204	2520,95	1,28974	7,902798	0,044088	6,1467	1,029	1,027874	0,571399	36	10	2473,08
2567	0,1153	0,0237	1,1126	0,02157	2613,66	1,28852	7,931826	0,043138	6,28679	1,03124	1,030123	0,615487	37	11	2568,82
2656,66	0,1175	0,0282	1,1339	0,02083	2699,78	1,28748	7,957107	0,041655	6,39798	1,03343	1,032336	0,658625	38	12	2658,5
2739,19	0,1199	0,0331	1,157	0,01984	2778,32	1,28658	7,978829	0,039673	6,4786	1,03555	1,034488	0,70028	39	13	2741,05
2813,71	0,1225	0,0383	1,1819	0,01862	2848,49	1,28583	7,997203	0,037246	6,52775	1,03756	1,036552	0,739953	40	14	2815,58
2879,53	0,1253	0,0439	1,2085	0,01722	2909,73	1,28521	8,012456	0,034445	6,54537	1,03945	1,038505	0,777199	41	15	2881,4
2936,18	0,1282	0,0499	1,237	0,01568	2961,69	1,2847	8,024827	0,031359	6,53218	1,0412	1,040324	0,811644	42	16	2938,06
2983,45	0,1313	0,0562	1,2671	0,01404	3004,3	1,28431	8,034565	0,028084	6,48965	1,04279	1,041994	0,843003	43	17	2985,33
3021,39	0,1347	0,063	1,2991	0,01236	3037,68	1,28401	8,041921	0,024723	6,41995	1,04422	1,043503	0,871087	44	18	3023,26
3050,24	0,1381	0,07	1,3327	0,01069	3062,23	1,2838	8,047149	0,021377	6,32575	1,04547	1,044843	0,89581	45	19	3052,11
3070,5	0,1418	0,0775	1,3681	0,00907	3078,5	1,28367	8,050497	0,01814	6,21015	1,04656	1,046013	0,917187	46	20	3072,35
3082,81	0,1456	0,0853	1,4051	0,00755	3087,22	1,2836	8,052206	0,015095	6,07649	1,04748	1,047016	0,935327	47	21	3084,65
3087,95	0,1497	0,0934	1,4438	0,00615	3089,2	1,28359	8,052505	0,012306	5,9282	1,04824	1,047859	0,950422	48	22	3089,78
3086,81	0,1538	0,1019	1,4842	0,00491	3085,35	1,28362	8,051611	0,00982	5,76865	1,04887	1,048555	0,962728	49	23	3088,62
3080,29	0,1582	0,1108	1,5262	0,00383	3076,58	1,2837	8,04972	0,007663	5,60105	1,04937	1,049116	0,972548	50	24	3082,08
3069,29	0,1627	0,12	1,5698	0,00292	3063,77	1,28381	8,047014	0,005842	5,4283	1,04975	1,04956	0,980211	51	25	3071,07
3054,69	0,1674	0,1295	1,615	0,00217	3047,74	1,28394	8,04365	0,004347	5,25297	1,05005	1,049903	0,986053	52	26	3056,46

Продолжение таблицы А9

3037,28	0,1722	0,1393	1,6618	0,00158	3029,25	1,2841	8,039768	0,003154	5,07726	1,05027	1,050161	0,9904	53	27	3039,02
3017,74	0,1773	0,1495	1,7101	0,00111	3008,93	1,28427	8,035484	0,002228	4,90296	1,05043	1,050352	0,993554	54	28	3019,47
2996,68	0,1824	0,16	1,7599	0,00077	2987,33	1,28446	8,030896	0,001532	4,73147	1,05054	1,050488	0,995782	55	29	2998,39
2974,58	0,1877	0,1708	1,8113	0,00051	2964,88	1,28465	8,026081	0,001023	4,56386	1,05062	1,050584	0,997314	56	30	2976,27
2951,83	0,1932	0,1819	1,8641	0,00033	2941,93	1,28486	8,021101	0,000663	4,40089	1,05067	1,050649	0,998337	57	31	2953,5
2928,72	0,1988	0,1933	1,9184	0,00021	2918,74	1,28506	8,016003	0,000417	4,2431	1,05071	1,050691	0,999	58	32	2930,37

Таблица А10 - Результаты теплового расчета базового двигателя ВА3-2112 при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Температура действительная	Удельный объем	s	y (f1)	Доля выделившегося на участке тепла	Средняя на участке температура, К	k1-2	K1-2	DX1-2	Давление	Коэффициент молекулярного изменения смеси	m_{1-2}	Характеристика теплового деления	Угол ПКВ от начала горения	Текущий угол ПКВ	Температура предпологаемая/, К
668,02	0,1874	0,1495	1,7103	0,0000	671,6450			0,0000	0,9774	1,0000	1,0000	0,0000	0	-28	668,02
675,21	0,1821	0,1394	1,6620	0,0000	678,9099	1,3732	6,3591	0,0000	1,0167	1,0000	1,0000	0,0000	1	-27	675,27
682,44	0,1770	0,1295	1,6152	0,0000	686,2221	1,3720	6,3767	0,0000	1,0574	1,0000	1,0000	0,0000	2	-26	682,55
689,73	0,1720	0,1200	1,5700	0,0000	693,6016	1,3708	6,3942	0,0000	1,0994	1,0000	1,0000	0,0000	3	-25	689,89
697,09	0,1672	0,1108	1,5263	0,0000	701,0847	1,3696	6,4115	0,0001	1,1429	1,0000	1,0000	0,0000	4	-24	697,31
704,58	0,1626	0,1020	1,4843	0,0001	708,7255	1,3684	6,4289	0,0001	1,1879	1,0000	1,0000	0,0001	5	-23	704,86
712,26	0,1582	0,0935	1,4440	0,0001	716,5983	1,3672	6,4463	0,0002	1,2344	1,0000	1,0000	0,0002	6	-22	712,59
720,21	0,1540	0,0853	1,4052	0,0002	724,7990	1,3660	6,4641	0,0003	1,2826	1,0000	1,0000	0,0004	7	-21	720,60
728,54	0,1499	0,0775	1,3682	0,0002	733,4461	1,3648	6,4823	0,0005	1,3326	1,0000	1,0000	0,0007	8	-20	728,99
737,37	0,1460	0,0701	1,3328	0,0004	742,6817	1,3636	6,5012	0,0007	1,3846	1,0001	1,0000	0,0012	9	-19	737,90
746,87	0,1423	0,0630	1,2992	0,0005	752,6718	1,3623	6,5210	0,0010	1,4388	1,0001	1,0001	0,0019	10	-18	747,47
757,20	0,1388	0,0563	1,2672	0,0007	763,6065	1,3609	6,5421	0,0014	1,4955	1,0001	1,0001	0,0029	11	-17	757,88
768,58	0,1355	0,0499	1,2370	0,0009	775,6988	1,3594	6,5647	0,0018	1,5551	1,0002	1,0002	0,0043	12	-16	769,34
781,22	0,1324	0,0439	1,2086	0,0012	789,1837	1,3578	6,5893	0,0024	1,6180	1,0003	1,0003	0,0061	13	-15	782,06
795,36	0,1295	0,0383	1,1819	0,0015	804,3152	1,3561	6,6160	0,0031	1,6846	1,0004	1,0004	0,0085	14	-14	796,30
811,27	0,1268	0,0331	1,1570	0,0019	821,3636	1,3543	6,6452	0,0039	1,7556	1,0006	1,0005	0,0116	15	-13	812,33

Продолжение таблицы А10

829,23	0,1242	0,0282	1,1339	0,0024	840,6112	1,3523	6,6773	0,0048	1,8313	1,0008	1,0007	0,0154	16	-12	830,40
849,52	0,1219	0,0237	1,1127	0,0029	862,3470	1,3501	6,7123	0,0059	1,9124	1,0010	1,0009	0,0202	17	-11	850,82
872,44	0,1198	0,0196	1,0932	0,0035	886,8605	1,3478	6,7505	0,0071	1,9995	1,0013	1,0012	0,0261	18	-10	873,87
898,26	0,1178	0,0159	1,0755	0,0042	914,4350	1,3453	6,7919	0,0084	2,0932	1,0017	1,0015	0,0332	19	-9	899,85
927,28	0,1161	0,0126	1,0597	0,0050	945,3393	1,3427	6,8365	0,0099	2,1939	1,0021	1,0019	0,0416	20	-8	929,02
959,75	0,1146	0,0096	1,0458	0,0058	979,8195	1,3399	6,8842	0,0116	2,3021	1,0026	1,0024	0,0515	21	-7	961,66
995,90	0,1132	0,0071	1,0336	0,0067	1018,0905	1,3370	6,9347	0,0134	2,4181	1,0032	1,0029	0,0632	22	-6	997,98
1035,94	0,1121	0,0049	1,0234	0,0077	1060,3261	1,3340	6,9877	0,0154	2,5422	1,0039	1,0035	0,0766	23	-5	1038,20
1080,02	0,1112	0,0031	1,0150	0,0087	1106,6503	1,3310	7,0428	0,0175	2,6742	1,0046	1,0043	0,0920	24	-4	1082,45
1128,23	0,1105	0,0018	1,0084	0,0099	1157,1279	1,3279	7,0994	0,0197	2,8141	1,0055	1,0051	0,1095	25	-3	1130,85
1180,61	0,1100	0,0008	1,0037	0,0110	1211,7558	1,3248	7,1571	0,0220	2,9612	1,0065	1,0060	0,1292	26	-2	1183,41
1237,13	0,1097	0,0002	1,0009	0,0122	1270,4551	1,3218	7,2152	0,0244	3,1149	1,0076	1,0071	0,1512	27	-1	1240,10
1297,67	0,1096	0,0000	1,0000	0,0134	1333,0635	1,3188	7,2732	0,0268	3,2742	1,0089	1,0083	0,1756	28	0	1300,81
1362,02	0,1097	0,0002	1,0009	0,0146	1399,3297	1,3159	7,3305	0,0292	3,4378	1,0102	1,0095	0,2024	29	1	1365,32
1429,89	0,1100	0,0008	1,0037	0,0158	1468,9096	1,3132	7,3866	0,0315	3,6040	1,0117	1,0110	0,2316	30	2	1433,34
1500,89	0,1105	0,0018	1,0084	0,0169	1541,3645	1,3105	7,4409	0,0338	3,7712	1,0133	1,0125	0,2631	31	3	1504,48
1574,54	0,1112	0,0031	1,0150	0,0179	1616,1622	1,3080	7,4932	0,0358	3,9371	1,0150	1,0141	0,2968	32	4	1578,25
1650,25	0,1121	0,0049	1,0234	0,0189	1692,6817	1,3057	7,5429	0,0377	4,0996	1,0168	1,0159	0,3327	33	5	1654,07
1727,36	0,1132	0,0071	1,0336	0,0197	1770,2211	1,3035	7,5899	0,0393	4,2563	1,0187	1,0178	0,3704	34	6	1731,29
1805,14	0,1146	0,0096	1,0458	0,0203	1848,0098	1,3015	7,6339	0,0406	4,4048	1,0207	1,0197	0,4097	35	7	1809,15
1882,78	0,1161	0,0126	1,0597	0,0208	1925,2240	1,2996	7,6747	0,0415	4,5426	1,0227	1,0217	0,4503	36	8	1886,87
1959,43	0,1178	0,0159	1,0755	0,0210	2001,0071	1,2980	7,7122	0,0420	4,6675	1,0248	1,0238	0,4918	37	9	1963,58
2034,23	0,1198	0,0196	1,0932	0,0210	2074,4916	1,2965	7,7464	0,0421	4,7773	1,0270	1,0259	0,5338	38	10	2038,43
2106,31	0,1219	0,0237	1,1127	0,0209	2144,8251	1,2951	7,7773	0,0417	4,8701	1,0291	1,0280	0,5759	39	11	2110,55
2174,83	0,1242	0,0282	1,1339	0,0204	2211,1968	1,2939	7,8048	0,0409	4,9443	1,0312	1,0301	0,6176	40	12	2179,10
2239,01	0,1268	0,0331	1,1570	0,0198	2272,8640	1,2929	7,8292	0,0395	4,9987	1,0332	1,0322	0,6585	41	13	2243,29
2298,14	0,1295	0,0383	1,1819	0,0189	2329,1783	1,2920	7,8503	0,0378	5,0325	1,0352	1,0342	0,6980	42	14	2302,43
2351,63	0,1324	0,0439	1,2086	0,0178	2379,6076	1,2912	7,8685	0,0357	5,0455	1,0372	1,0362	0,7358	43	15	2355,92
2399,00	0,1355	0,0499	1,2370	0,0166	2423,7553	1,2905	7,8838	0,0332	5,0379	1,0390	1,0381	0,7715	44	16	2403,29

Продолжение таблицы А10

2439,94	0,1388	0,0563	1,2672	0,0152	2461,3727	1,2900	7,8964	0,0305	5,0101	1,0406	1,0398	0,8047	45	17	2444,22
2474,27	0,1423	0,0630	1,2992	0,0138	2492,3656	1,2896	7,9064	0,0276	4,9634	1,0422	1,0414	0,8352	46	18	2478,53
2501,97	0,1460	0,0701	1,3328	0,0123	2516,7936	1,2893	7,9142	0,0246	4,8991	1,0436	1,0429	0,8628	47	19	2506,20
2523,17	0,1499	0,0775	1,3682	0,0108	2534,8619	1,2890	7,9198	0,0215	4,8190	1,0448	1,0442	0,8874	48	20	2527,38
2538,16	0,1540	0,0853	1,4052	0,0093	2546,9063	1,2889	7,9235	0,0186	4,7251	1,0459	1,0454	0,9089	49	21	2542,34
2547,32	0,1582	0,0935	1,4440	0,0079	2553,3724	1,2888	7,9255	0,0157	4,6194	1,0468	1,0464	0,9275	50	22	2551,47
2551,16	0,1626	0,1020	1,4843	0,0065	2554,7906	1,2888	7,9260	0,0131	4,5043	1,0476	1,0472	0,9432	51	23	2555,27
2550,23	0,1672	0,1108	1,5263	0,0053	2551,7477	1,2888	7,9252	0,0107	4,3817	1,0483	1,0480	0,9563	52	24	2554,31
2545,14	0,1720	0,1200	1,5700	0,0043	2544,8584	1,2889	7,9233	0,0085	4,2539	1,0488	1,0486	0,9670	53	25	2549,19
2536,52	0,1770	0,1295	1,6152	0,0033	2534,7385	1,2890	7,9204	0,0067	4,1227	1,0493	1,0490	0,9755	54	26	2540,53
2524,98	0,1821	0,1394	1,6620	0,0026	2521,9803	1,2892	7,9168	0,0051	3,9899	1,0496	1,0494	0,9822	55	27	2528,95
2511,08	0,1874	0,1495	1,7103	0,0019	2507,1333	1,2893	7,9125	0,0038	3,8569	1,0499	1,0497	0,9873	56	28	2515,01
2495,36	0,1929	0,1600	1,7602	0,0014	2490,6901	1,2895	7,9077	0,0028	3,7250	1,0501	1,0500	0,9912	57	29	2499,25
2478,28	0,1985	0,1708	1,8115	0,0010	2473,0780	1,2898	7,9024	0,0020	3,5952	1,0502	1,0501	0,9940	58	30	2482,13
2460,22	0,2043	0,1820	1,8644	0,0007	2454,6557	1,2900	7,8969	0,0014	3,4682	1,0503	1,0502	0,9960	59	31	2464,03
2441,51	0,2102	0,1934	1,9186	0,0005	2435,7150	1,2902	7,8912	0,0010	3,3448	1,0504	1,0503	0,9974	60	32	2445,28
2422,41	0,2163	0,2051	1,9743	0,0003	2416,4864	1,2905	7,8852	0,0006	3,2252	1,0504	1,0504	0,9984	61	33	2426,148
2403,13	0,2226	0,2171	2,0314	0,0002	2397,1461	1,2907	7,8792	0,0004	3,1097	1,0504	1,0504	0,9990	62	34	2406,83

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Таблица Б1 - расчетные значения перемещения, скорости и ускорения поршня при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$ с шагом в 10 градусов ПКВ

$S_x, \text{ мм}$	$V_x, \text{ м/с}$	$W_x, \text{ м/с}^2$	$W_{x2}, \text{ м/с}^2$	$W_{x1}, \text{ м/с}^2$	$j_{\text{кв}}, \text{ рад}$	$j_{\text{кв}}, \text{ град}$
0	0	19651,48	5672,5919	25324,1	0	0
0,5472	5,231	19352,93	5330,4927	24683,4	0,1745	10
2,1613	10,2	18466,35	4345,4575	22811,8	0,3491	20
4,7616	14,66	17018,68	2836,2959	19855	0,5236	30
8,2205	18,41	15053,91	985,03524	16038,9	0,6981	40
12,373	21,3	12631,73	-985,0352	11646,7	0,8727	50
17,031	23,25	9825,739	-2836,296	6989,44	1,0472	60
21,992	24,22	6721,202	-4345,457	2375,74	1,2217	70
27,057	24,26	3412,444	-5330,493	-1918,05	1,3963	80
32,041	23,46	1,2E-12	-5672,592	-5672,59	1,5708	90
36,782	21,94	-3412,44	-5330,493	-8742,94	1,7453	100
41,145	19,87	-6721,2	-4345,457	-11066,7	1,9199	110
45,031	17,38	-9825,74	-2836,296	-12662	2,0944	120
48,37	14,64	-12631,7	-985,0352	-13616,8	2,2689	130
51,119	11,74	-15053,9	985,03524	-14068,9	2,4435	140
53,259	8,797	-17018,7	2836,2959	-14182,4	2,618	150
54,784	5,847	-18466,3	4345,4575	-14120,9	2,7925	160
55,696	2,915	-19352,9	5330,4927	-14022,4	2,9671	170
56	2E-15	-19651,5	5672,5919	-13978,9	3,1416	180
55,696	-2,915	-19352,9	5330,4927	-14022,4	3,3161	190
54,784	-5,847	-18466,3	4345,4575	-14120,9	3,4907	200
53,259	-8,797	-17018,7	2836,2959	-14182,4	3,6652	210
51,119	-11,74	-15053,9	985,03524	-14068,9	3,8397	220
48,37	-14,64	-12631,7	-985,0352	-13616,8	4,0143	230
45,031	-17,38	-9825,74	-2836,296	-12662	4,1888	240
41,145	-19,87	-6721,2	-4345,457	-11066,7	4,3633	250
36,782	-21,94	-3412,44	-5330,493	-8742,94	4,5379	260
32,041	-23,46	-3,6E-12	-5672,592	-5672,59	4,7124	270
27,057	-24,26	3412,444	-5330,493	-1918,05	4,8869	280
21,992	-24,22	6721,202	-4345,457	2375,74	5,0615	290
17,031	-23,25	9825,739	-2836,296	6989,44	5,236	300
12,373	-21,3	12631,73	-985,0352	11646,7	5,4105	310
8,2205	-18,41	15053,91	985,03524	16038,9	5,5851	320
4,7616	-14,66	17018,68	2836,2959	19855	5,7596	330
2,1613	-10,2	18466,35	4345,4575	22811,8	5,9341	340
0,5472	-5,231	19352,93	5330,4927	24683,4	6,1087	350
2E-31	-7E-15	19651,48	5672,5919	25324,1	6,2832	360
0,5472	5,231	19352,93	5330,4927	24683,4	6,4577	370
2,1613	10,2	18466,35	4345,4575	22811,8	6,6323	380
4,7616	14,66	17018,68	2836,2959	19855	6,8068	390
8,2205	18,41	15053,91	985,03524	16038,9	6,9813	400
12,373	21,3	12631,73	-985,0352	11646,7	7,1558	410
17,031	23,25	9825,739	-2836,296	6989,44	7,3304	420
21,992	24,22	6721,202	-4345,457	2375,74	7,5049	430
27,057	24,26	3412,444	-5330,493	-1918,05	7,6794	440
32,041	23,46	6,02E-12	-5672,592	-5672,59	7,854	450

Продолжение таблицы Б1

36,782	21,94	-3412,44	-5330,493	-8742,94	8,0285	460
41,145	19,87	-6721,2	-4345,457	-11066,7	8,203	470
45,031	17,38	-9825,74	-2836,296	-12662	8,3776	480
48,37	14,64	-12631,7	-985,0352	-13616,8	8,5521	490
51,119	11,74	-15053,9	985,03524	-14068,9	8,7266	500
53,259	8,797	-17018,7	2836,2959	-14182,4	8,9012	510
54,784	5,847	-18466,3	4345,4575	-14120,9	9,0757	520
55,696	2,915	-19352,9	5330,4927	-14022,4	9,2502	530
56	6E-15	-19651,5	5672,5919	-13978,9	9,4248	540
55,696	-2,915	-19352,9	5330,4927	-14022,4	9,5993	550
54,784	-5,847	-18466,3	4345,4575	-14120,9	9,7738	560
53,259	-8,797	-17018,7	2836,2959	-14182,4	9,9484	570
51,119	-11,74	-15053,9	985,03524	-14068,9	10,123	580
48,37	-14,64	-12631,7	-985,0352	-13616,8	10,297	590
45,031	-17,38	-9825,74	-2836,296	-12662	10,472	600
41,145	-19,87	-6721,2	-4345,457	-11066,7	10,647	610
36,782	-21,94	-3412,44	-5330,493	-8742,94	10,821	620
32,041	-23,46	-8,4E-12	-5672,592	-5672,59	10,996	630
27,057	-24,26	3412,444	-5330,493	-1918,05	11,17	640
21,992	-24,22	6721,202	-4345,457	2375,74	11,345	650
17,031	-23,25	9825,739	-2836,296	6989,44	11,519	660
12,373	-21,3	12631,73	-985,0352	11646,7	11,694	670
8,2205	-18,41	15053,91	985,03524	16038,9	11,868	680
4,7616	-14,66	17018,68	2836,2959	19855	12,043	690
2,1613	-10,2	18466,35	4345,4575	22811,8	12,217	700
0,5472	-5,231	19352,93	5330,4927	24683,4	12,392	710
1E-30	-1E-14	19651,48	5672,5919	25324,1	12,566	720

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Таблица В1 - Сводная таблица динамического расчета двигателя с шагом в 10 градусов ПКВ

Δp_r , Мпа	W, м/с ²	P_j , МПа	p , Мпа	$tg\beta$	p_N , МПа	$1/\cos\beta$	p_s , Мпа	$\cos(\beta+\varphi)/\cos\beta$	p_k , Мпа	$\sin(\beta+\varphi)/\cos\beta$	p_T , Мпа	T, кН	$M_{кр.ц}$, НМ
0,006	26801,822	-2,955	-2,949	0,000	0,000	1,000	-2,949	1,000	-2,949	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,004	26152,020	-2,883	-2,888	0,044	-0,127	1,001	-2,890	0,977	-2,822	0,217	-0,626	-3,306	-100,836
-0,014	24250,129	-2,674	-2,688	0,087	-0,233	1,004	-2,698	0,910	-2,446	0,423	-1,138	-6,009	-183,286
-0,016	21238,503	-2,342	-2,358	0,127	-0,300	1,008	-2,377	0,802	-1,892	0,610	-1,438	-7,596	-231,681
-0,019	17338,200	-1,912	-1,931	0,164	-0,317	1,013	-1,957	0,660	-1,275	0,768	-1,484	-7,837	-239,021
-0,022	12826,640	-1,414	-1,437	0,197	-0,283	1,019	-1,464	0,492	-0,707	0,892	-1,282	-6,770	-206,488
-0,025	8010,014	-0,883	-0,909	0,224	-0,203	1,024	-0,931	0,306	-0,278	0,978	-0,888	-4,690	-143,058
-0,028	3193,586	-0,352	-0,381	0,244	-0,093	1,029	-0,392	0,113	-0,043	1,023	-0,389	-2,055	-62,680
-0,030	-1346,751	0,148	0,118	0,256	0,030	1,032	0,122	-0,079	-0,009	1,029	0,121	0,641	19,561
-0,030	-5388,472	0,594	0,564	0,260	0,147	1,033	0,582	-0,260	-0,147	0,999	0,563	2,975	90,738
-0,031	-8779,387	0,968	0,936	0,256	0,240	1,032	0,966	-0,426	-0,399	0,940	0,880	4,648	141,761
-0,031	-11445,800	1,262	1,230	0,244	0,300	1,029	1,266	-0,571	-0,702	0,856	1,053	5,562	169,638
-0,031	-13391,213	1,476	1,445	0,224	0,323	1,024	1,480	-0,694	-1,002	0,754	1,089	5,753	175,470
-0,031	-14686,016	1,619	1,588	0,197	0,312	1,019	1,618	-0,793	-1,260	0,639	1,015	5,361	163,519
-0,030	-15449,730	1,703	1,673	0,164	0,275	1,013	1,695	-0,872	-1,458	0,517	0,865	4,567	139,295
-0,029	-15828,211	1,745	1,716	0,127	0,218	1,008	1,729	-0,930	-1,595	0,390	0,669	3,533	107,759
-0,028	-15968,821	1,761	1,732	0,087	0,150	1,004	1,739	-0,969	-1,679	0,261	0,452	2,385	72,733
-0,026	-15996,790	1,764	1,737	0,044	0,076	1,001	1,739	-0,992	-1,724	0,131	0,227	1,197	36,515
-0,024	-15995,786	1,764	1,739	0,000	0,000	1,000	1,739	-1,000	-1,739	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,022	-15995,176	1,763	1,741	-0,044	-0,076	1,001	1,743	-0,992	-1,728	-0,131	-0,227	-1,200	-36,596
-0,020	-15965,593	1,760	1,740	-0,087	-0,151	1,004	1,746	-0,969	-1,686	-0,261	-0,454	-2,395	-73,054
-0,018	-15823,368	1,745	1,726	-0,127	-0,219	1,008	1,740	-0,930	-1,604	-0,390	-0,673	-3,555	-108,416
-0,016	-15443,273	1,703	1,686	-0,164	-0,277	1,013	1,709	-0,872	-1,470	-0,517	-0,872	-4,603	-140,401
-0,018	-14677,945	1,618	1,600	-0,197	-0,315	1,019	1,631	-0,793	-1,270	-0,639	-1,023	-5,404	-164,821
-0,010	-13381,528	1,475	1,465	-0,224	-0,328	1,024	1,501	-0,694	-1,016	-0,754	-1,104	-5,832	-177,887
0,000	-11434,501	1,261	1,260	-0,244	-0,307	1,029	1,297	-0,571	-0,720	-0,856	-1,079	-5,697	-173,771
0,014	-8766,474	0,967	0,980	-0,256	-0,251	1,032	1,012	-0,426	-0,417	-0,940	-0,921	-4,866	-148,424
0,034	-5373,945	0,592	0,626	-0,260	-0,163	1,033	0,647	-0,260	-0,163	-0,999	-0,626	-3,306	-100,843
0,063	-1330,611	0,147	0,209	-0,256	-0,054	1,032	0,216	-0,079	-0,016	-1,029	-0,215	-1,137	-34,670

Продолжение таблицы В1

0,104	3211,339	-0,354	-0,250	-0,244	0,061	1,029	-0,257	0,113	-0,028	-1,023	0,255	1,348	41,110
0,168	8029,381	-0,885	-0,717	-0,224	0,160	1,024	-0,735	0,306	-0,220	-0,978	0,701	3,704	112,966
0,266	12847,620	-1,416	-1,150	-0,197	0,226	1,019	-1,172	0,492	-0,566	-0,892	1,026	5,421	165,328
0,423	17360,793	-1,914	-1,491	-0,164	0,245	1,013	-1,511	0,660	-0,985	-0,768	1,146	6,053	184,616
0,951	21262,709	-2,344	-1,394	-0,127	0,177	1,008	-1,405	0,802	-1,118	-0,610	0,850	4,490	136,933
1,405	24275,947	-2,676	-1,271	-0,087	0,110	1,004	-1,276	0,910	-1,157	-0,423	0,538	2,842	86,696
2,293	26179,450	-2,886	-0,593	-0,044	0,026	1,001	-0,594	0,977	-0,580	-0,217	0,129	0,679	20,718
3,941	26830,864	-2,958	0,983	0,000	0,000	1,000	0,983	1,000	0,983	0,000	0,000	0,000	0,000
4,494	26181,057	-2,886	1,608	0,044	0,070	1,001	1,609	0,977	1,571	0,217	0,349	1,841	56,143
3,370	24279,161	-2,677	0,693	0,087	0,060	1,004	0,696	0,910	0,631	0,423	0,294	1,550	47,275
2,309	21267,530	-2,345	-0,036	0,127	-0,005	1,008	-0,036	0,802	-0,029	0,610	-0,022	-0,115	-3,505
2,171	17367,220	-1,915	0,256	0,164	0,042	1,013	0,260	0,660	0,169	0,768	0,197	1,040	31,716
1,572	12855,655	-1,417	0,155	0,197	0,031	1,019	0,158	0,492	0,076	0,892	0,138	0,731	22,290
1,177	8039,023	-0,886	0,291	0,224	0,065	1,024	0,298	0,306	0,089	0,978	0,285	1,503	45,850
0,913	3222,587	-0,355	0,557	0,244	0,136	1,029	0,574	0,113	0,063	1,023	0,570	3,011	91,828
0,731	-1317,756	0,145	0,876	0,256	0,224	1,032	0,904	-0,079	-0,069	1,029	0,902	4,762	145,235
0,604	-5359,484	0,591	1,195	0,260	0,311	1,033	1,234	-0,260	-0,311	0,999	1,194	6,305	192,310
0,512	-8750,407	0,965	1,477	0,256	0,378	1,032	1,524	-0,426	-0,629	0,940	1,388	7,332	223,615
0,446	-11416,828	1,259	1,705	0,244	0,415	1,029	1,754	-0,571	-0,973	0,856	1,459	7,706	235,040
0,397	-13362,248	1,473	1,871	0,224	0,418	1,024	1,916	-0,694	-1,297	0,754	1,410	7,448	227,168
0,362	-14657,059	1,616	1,978	0,197	0,389	1,019	2,015	-0,793	-1,569	0,639	1,265	6,678	203,678
0,336	-15420,782	1,700	2,036	0,164	0,334	1,013	2,063	-0,872	-1,774	0,517	1,052	5,558	169,508
0,236	-15799,272	1,742	1,977	0,127	0,251	1,008	1,993	-0,930	-1,838	0,390	0,771	4,072	124,206
0,136	-15939,891	1,757	1,893	0,087	0,164	1,004	1,900	-0,969	-1,835	0,261	0,493	2,606	79,488
0,126	-15967,869	1,760	1,886	0,044	0,083	1,001	1,888	-0,992	-1,872	0,131	0,246	1,300	39,644
0,026	-15966,875	1,760	1,786	0,000	0,000	1,000	1,786	-1,000	-1,786	0,000	0,000	0,000	0,000
0,016	-15966,275	1,760	1,776	-0,044	-0,078	1,001	1,778	-0,992	-1,762	-0,131	-0,232	-1,224	-37,328
0,006	-15936,701	1,757	1,763	-0,087	-0,153	1,004	1,769	-0,969	-1,708	-0,261	-0,460	-2,427	-74,014
0,006	-15794,487	1,741	1,747	-0,127	-0,222	1,008	1,761	-0,930	-1,624	-0,390	-0,681	-3,598	-109,726
0,006	-15414,403	1,699	1,705	-0,164	-0,280	1,013	1,728	-0,872	-1,486	-0,517	-0,881	-4,655	-141,971
0,006	-14649,085	1,615	1,621	-0,197	-0,319	1,019	1,651	-0,793	-1,286	-0,639	-1,036	-5,473	-166,914
0,006	-13352,680	1,472	1,478	-0,224	-0,330	1,024	1,514	-0,694	-1,025	-0,754	-1,114	-5,884	-179,452
0,006	-11405,665	1,257	1,263	-0,244	-0,308	1,029	1,299	-0,571	-0,721	-0,856	-1,081	-5,709	-174,133

Продолжение таблицы В1

0,006	-8737,649	0,963	0,969	-0,256	-0,248	1,032	1,000	-0,426	-0,413	-0,940	-0,911	-4,809	-146,670
0,006	-5345,132	0,589	0,595	-0,260	-0,155	1,033	0,614	-0,260	-0,155	-0,999	-0,595	-3,140	-95,764
0,006	-1301,810	0,144	0,149	-0,256	-0,038	1,032	0,154	-0,079	-0,012	-1,029	-0,153	-0,810	-24,705
0,006	3240,127	-0,357	-0,352	-0,244	0,086	1,029	-0,362	0,113	-0,040	-1,023	0,360	1,899	57,925
0,006	8058,157	-0,888	-0,883	-0,224	0,197	1,024	-0,904	0,306	-0,270	-0,978	0,863	4,558	139,012
0,006	12876,383	-1,420	-1,414	-0,197	0,278	1,019	-1,441	0,492	-0,696	-0,892	1,262	6,664	203,251
0,006	17389,542	-1,917	-1,912	-0,164	0,314	1,013	-1,937	0,660	-1,263	-0,768	1,469	7,758	236,627
0,006	21291,444	-2,347	-2,342	-0,127	0,298	1,008	-2,361	0,802	-1,879	-0,610	1,429	7,544	230,093
0,006	24304,669	-2,680	-2,674	-0,087	0,231	1,004	-2,684	0,910	-2,434	-0,423	1,132	5,978	182,332
0,006	26208,158	-2,889	-2,884	-0,044	0,126	1,001	-2,887	0,977	-2,818	-0,217	0,625	3,302	100,703
0,006	26859,557	-2,961	-2,956	0,000	0,000	1,000	-2,956	1,000	-2,956	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица В2 - Таблица крутящего момента двигателя с шагом в 10 градусов ПКВ

1-й		2-й		3-й		4-й		
$M_{кр.ц}, Нм$	$\varphi^{\circ}_{кривош}$	$M_{кр.}, Нм$						
0	0,0	3,43E-14	180,0	-3,9E-14	360,0	-37,3281	540,0	-37,3281
-100,836	10,0	-36,5956	190,0	56,14262	370,0	-74,0138	550,0	-155,303
-183,286	20,0	-73,0545	200,0	-3,50518	380,0	-109,726	560,0	-369,571
-231,681	30,0	-108,416	210,0	31,71598	390,0	-141,971	570,0	-450,352
-239,021	40,0	-140,401	220,0	22,29037	400,0	-166,914	580,0	-524,046
-206,488	50,0	-164,821	230,0	45,85046	410,0	-179,452	590,0	-504,91
-143,058	60,0	-177,887	240,0	91,82751	420,0	-174,133	600,0	-403,251
-62,6799	70,0	-173,771	250,0	145,2354	430,0	-146,67	610,0	-237,886
19,56102	80,0	-148,424	260,0	192,3102	440,0	-95,764	620,0	-32,3171
90,73778	90,0	-100,843	270,0	223,6152	450,0	-24,7054	630,0	188,8047
141,7611	100,0	-34,6699	280,0	235,0404	460,0	57,9247	640,0	400,0563
169,6379	110,0	41,10993	290,0	227,1683	470,0	139,0121	650,0	576,9282
175,4705	120,0	112,9662	300,0	203,6783	480,0	203,2512	660,0	695,3662
163,5191	130,0	165,3277	310,0	169,5078	490,0	236,6267	670,0	734,9814
139,295	140,0	184,6155	320,0	124,2056	500,0	230,0925	680,0	678,2087
107,7589	150,0	136,9335	330,0	79,48751	510,0	182,3319	690,0	506,5119
72,73347	160,0	86,69561	340,0	39,64394	520,0	100,7032	700,0	299,7763

Продолжение таблицы В2

36,51526	170,0	20,71837	350,0	1,06E-13	530,0	2,33E-13	710,0	57,23363
3,43E-14	180,0	-3,9E-14	360,0	-37,3281	540,0	0	720,0	-37,3281

Таблица В3 - Таблица сил, действующих на шатунную шейку КВ с шагом в 10 градусов ПКВ

T	K	P _k	R _{ш.ш.}	K _{рк}	R _k
0	-15,5754	-27,3989	27,3989	-49,6373	49,63734
-3,306109	-14,9022	-26,7256	26,9294	-48,9641	49,07559
-6,009366	-12,9191	-24,7425	25,4618	-46,981	47,36375
-7,596085	-9,99283	-21,8163	23,1009	-44,0547	44,70481
-7,836742	-6,73484	-18,5583	20,1451	-40,7967	41,54262
-6,770085	-3,73214	-15,5556	16,9650	-37,794	38,39562
-4,690413	-1,46908	-13,2925	14,0958	-35,531	35,83923
-2,05508	-0,22683	-12,0503	12,2243	-34,2887	34,35026
0,641345	-0,04905	-11,8725	11,8898	-34,1109	34,11698
2,975009	-0,77492	-12,5984	12,9449	-34,8368	34,96362
4,647904	-2,10576	-13,9292	14,6842	-36,1677	36,46509
5,561897	-3,70954	-15,533	16,4987	-37,7714	38,17875
5,753131	-5,29193	-17,1154	18,0564	-39,3538	39,77214
5,361283	-6,65224	-18,4757	19,2378	-40,7141	41,06561
4,56705	-7,69927	-19,5227	20,0498	-41,7612	42,01016
3,53308	-8,42149	-20,2449	20,5509	-42,4834	42,63005
2,384704	-8,86622	-20,6897	20,8266	-42,9281	42,99431
1,197222	-9,10447	-20,9279	20,9621	-43,1664	43,18297
1,13E-15	-9,18403	-21,0075	21,0075	-43,2459	43,24593
-1,199856	-9,1245	-20,9479	20,9823	-43,1864	43,20306
-2,395228	-8,90535	-20,7288	20,8667	-42,9673	43,03396
-3,554633	-8,47286	-20,2963	20,6052	-42,5348	42,68304
-4,603328	-7,76043	-19,5839	20,1176	-41,8223	42,07491
-5,403971	-6,70521	-18,5287	19,3006	-40,7671	41,12372
-5,832373	-5,36482	-17,1883	18,1508	-39,4267	39,85578
-5,697415	-3,79993	-15,6234	16,6298	-37,8618	38,2881
-4,866374	-2,20474	-14,0282	14,8483	-36,2666	36,59168

Продолжение таблицы В3

-3,306323	-0,86122	-12,6847	13,1085	-34,9231	35,07929
-1,136718	-0,08693	-11,9104	11,9645	-34,1488	34,16775
1,347867	-0,14877	-11,9722	12,0478	-34,2107	34,23721
3,703809	-1,16007	-12,9835	13,5015	-35,222	35,41617
5,420581	-2,9882	-14,8116	15,7724	-37,0501	37,44453
6,052969	-5,20188	-17,0253	18,0693	-39,2638	39,72761
4,489623	-5,9062	-17,7296	18,2893	-39,9681	40,21947
2,842479	-6,11083	-17,9343	18,1581	-40,1727	40,27317
0,679291	-3,06189	-14,8853	14,9008	-37,1238	37,13
-1,27E-15	5,188914	-6,63453	6,6345	-28,873	28,87299
1,840742	8,297098	-3,52635	3,9779	-25,7648	25,83048
1,549994	3,332212	-8,49123	8,6315	-30,7297	30,76875
-0,114924	-0,15119	-11,9746	11,9752	-34,2131	34,21328
1,039868	0,893656	-10,9298	10,9791	-33,1682	33,18454
0,730832	0,402885	-11,4206	11,4439	-33,659	33,66695
1,503294	0,470846	-11,3526	11,4517	-33,5911	33,62468
3,010738	0,332305	-11,4911	11,8790	-33,7296	33,8637
4,761817	-0,36416	-12,1876	13,0848	-34,4261	34,75383
6,305253	-1,64237	-13,4658	14,8689	-35,7043	36,25674
7,331645	-3,32165	-15,1451	16,8264	-37,3835	38,0957
7,706243	-5,13973	-16,9632	18,6316	-39,2016	39,9519
7,448142	-6,85107	-18,6745	20,1050	-40,913	41,5854
6,677975	-8,28598	-20,1094	21,1893	-42,3479	42,87119
5,557633	-9,36923	-21,1927	21,9093	-43,4311	43,78527
4,072314	-9,70682	-21,5303	21,9120	-43,7687	43,95776
2,606148	-9,68954	-21,513	21,6703	-43,7514	43,82899
1,299801	-9,88455	-21,708	21,7469	-43,9465	43,96567
3,47E-15	-9,43141	-21,2549	21,2549	-43,4933	43,49332
-1,223871	-9,30712	-21,1306	21,1660	-43,369	43,38629
-2,426683	-9,0223	-20,8457	20,9865	-43,0842	43,15249
-3,597568	-8,5752	-20,3987	20,7135	-42,6371	42,78861
-4,654788	-7,84718	-19,6706	20,2139	-41,9091	42,16679
-5,472586	-6,79034	-18,6138	19,4016	-40,8522	41,21717

Продолжение таблицы В3

-5,883665	-5,412	-17,2354	18,2120	-39,4739	39,90998
-5,709292	-3,80785	-15,6313	16,6413	-37,8698	38,2977
-4,808866	-2,17869	-14,0021	14,8049	-36,2406	36,55825
-3,139803	-0,81785	-12,6413	13,0254	-34,8797	35,02078
-0,810014	-0,06195	-11,8854	11,9130	-34,1238	34,13346
1,89917	-0,20962	-12,0331	12,1820	-34,2715	34,3241
4,557774	-1,42754	-13,251	14,0129	-35,4894	35,78091
6,663975	-3,67365	-15,4971	16,8692	-37,7355	38,31945
7,758253	-6,66739	-18,4908	20,0525	-40,7293	41,46162
7,544017	-9,92433	-21,7478	23,0191	-43,9862	44,62847
5,978096	-12,8519	-24,6753	25,3891	-46,9138	47,29311
3,301746	-14,8825	-26,706	26,9093	-48,9444	49,05568
7,65E-15	-15,6091	-27,4325	27,4325	-49,671	49,67095

Таблица В4 - Таблица сил, действующие на коренные шейки с шагом в 10 градусов ПКВ

1-я кор.ш.	1-й кривошип				2-я коренная шейка			2-й кривошип			3-я коренная шейка			3-й кривошип		
R _{кш1} , кН	φ ₁	R _{к1} , кН	T ₁ , кН	K _{рк1} , кН	T _{к2} , кН	K _{к2} , кН	R _{кш2} , кН	φ ₂	T ₂ , кН	K _{рк2} , кН	T _{к3} , кН	K _{к3} , кН	R _{кш3} , кН	φ ₃	T ₃ , кН	K _{рк3} , кН
24,81867	0	49,63734	0	-49,6373	5,63E-16	3,195704	3,195704	180	1,13E-15	-43,2459	-0,61194	-43,3075	43,3118	540	-1,22387	-43,369
24,5378	10	49,07559	-3,30611	-48,9641	1,053126	2,888852	3,074824	190	-1,19986	-43,1864	-1,81327	-43,1353	43,17339	550	-2,42668	-43,0842
23,68187	20	47,36375	-6,00937	-46,981	1,807069	2,006863	2,700555	200	-2,39523	-42,9673	-2,9964	-42,8022	42,90693	560	-3,59757	-42,6371
22,3524	30	44,70481	-7,59609	-44,0547	2,020726	0,759981	2,158913	210	-3,55463	-42,5348	-4,10471	-42,2219	42,42098	570	-4,65479	-41,9091
20,77131	40	41,54262	-7,83674	-40,7967	1,616707	-0,51279	1,696083	220	-4,60333	-41,8223	-5,03796	-41,3373	41,64316	580	-5,47259	-40,8522
19,19781	50	38,39562	-6,77009	-37,794	0,683057	-1,48653	1,635955	230	-5,40397	-40,7671	-5,64382	-40,1205	40,51553	590	-5,88367	-39,4739
17,91962	60	35,83923	-4,69041	-35,531	-0,57098	-1,94787	2,029832	240	-5,83237	-39,4267	-5,77083	-38,6482	39,0767	600	-5,70929	-37,8698
17,17513	70	34,35026	-2,05508	-34,2887	-1,82117	-1,78655	2,55116	250	-5,69741	-37,8618	-5,25314	-37,0512	37,42175	610	-4,80887	-36,2406
17,05849	80	34,11698	0,641345	-34,1109	-2,75386	-1,07785	2,957278	260	-4,86637	-36,2666	-4,00309	-35,5732	35,79772	620	-3,1398	-34,8797
17,48181	90	34,96362	2,975009	-34,8368	-3,14067	-0,04315	3,140962	270	-3,30632	-34,9231	-2,05817	-34,5235	34,58478	630	-0,81001	-34,1238
18,23255	100	36,46509	4,647904	-36,1677	-2,89231	1,009415	3,063394	280	-1,13672	-34,1488	0,381226	-34,2102	34,2123	640	1,89917	-34,2715
19,08937	110	38,17875	5,561897	-37,7714	-2,10702	1,780388	2,758495	290	1,347867	-34,2107	2,95282	-34,8501	34,97493	650	4,557774	-35,4894
19,88607	120	39,77214	5,753131	-39,3538	-1,02466	2,065933	2,306081	300	3,703809	-35,222	5,183892	-36,4788	36,84525	660	6,663975	-37,7355
20,53281	130	41,06561	5,361283	-40,7141	0,029649	1,83202	1,832259	310	5,420581	-37,0501	6,589417	-38,8897	39,444	670	7,758253	-40,7293
21,00508	140	42,01016	4,56705	-41,7612	0,742959	1,248695	1,453007	320	6,052969	-39,2638	6,798493	-41,625	42,17654	680	7,544017	-43,9862
21,31502	150	42,63005	3,53308	-42,4834	0,478272	1,257643	1,345514	330	4,489623	-39,9681	5,23386	-43,4409	43,75509	690	5,978096	-46,9138

Продолжение таблицы В4

21,49715	160	42,99431	2,384704	-42,9281	0,228888	1,377696	1,39658	340	2,842479	-40,1727	3,072112	-44,5586	44,66436	700	3,301746	-48,9444
21,59148	170	43,18297	1,197222	-43,1664	-0,25897	3,02129	3,032368	350	0,679291	-37,1238	0,339645	-43,3974	43,3987	710	7,65E-15	-49,671
21,62296	180	43,24593	1,13E-15	-43,2459	-1,2E-15	7,18647	7,18647	360	-1,3E-15	-28,873	-6,4E-16	-31,4674	31,46744	720	0	-34,0619
21,60153	190	43,20306	-1,19986	-43,1864	1,374925	6,228355	6,378309	370	1,549994	-30,7297	-0,87806	-39,8469	39,85657	10	-3,30611	-48,9641
21,51698	200	43,03396	-2,39523	-42,9673	1,140152	4,377082	4,523139	380	-0,11492	-34,2131	-3,06214	-40,597	40,71235	20	-6,00937	-46,981
21,34152	210	42,68304	-3,55463	-42,5348	2,297251	4,68326	5,216348	390	1,039868	-33,1682	-3,27811	-38,6115	38,75039	30	-7,59609	-44,0547
21,03746	220	42,07491	-4,60333	-41,8223	2,66708	4,081658	4,875782	400	0,730832	-33,659	-3,55296	-37,2279	37,39704	40	-7,83674	-40,7967
20,56186	230	41,12372	-5,40397	-40,7671	3,453632	3,588027	4,980112	410	1,503294	-33,5911	-2,6334	-35,6925	35,78956	50	-6,77009	-37,794
19,92789	240	39,85578	-5,83237	-39,4267	4,421555	2,848564	5,259702	420	3,010738	-33,7296	-0,83984	-34,6303	34,64047	60	-4,69041	-35,531
19,14405	250	38,2881	-5,69741	-37,8618	5,229616	1,717884	5,504544	430	4,761817	-34,4261	1,353369	-34,3574	34,38404	70	-2,05508	-34,2887
18,29584	260	36,59168	-4,86637	-36,2666	5,585814	0,281184	5,592887	440	6,305253	-35,7043	3,473299	-34,9076	35,07998	80	0,641345	-34,1109
17,53964	270	35,07929	-3,30632	-34,9231	5,318984	-1,23021	5,459397	450	7,331645	-37,3835	5,153327	-36,1102	36,47605	90	2,975009	-34,8368
17,08387	280	34,16775	-1,13672	-34,1488	4,42148	-2,5264	5,092365	460	7,706243	-39,2016	6,177073	-37,6846	38,18755	100	4,647904	-36,1677
17,11861	290	34,23721	1,347867	-34,2107	3,050138	-3,35115	4,531395	470	7,448142	-40,913	6,50502	-39,3422	39,87636	110	5,561897	-37,7714
17,70809	300	35,41617	3,703809	-35,222	1,487083	-3,56296	3,860839	480	6,677975	-42,3479	6,215553	-40,8509	41,32101	120	5,753131	-39,3538
18,72226	310	37,44453	5,420581	-37,0501	0,068526	-3,19051	3,191249	490	5,557633	-43,4311	5,459458	-42,0726	42,42537	130	5,361283	-40,7141
19,86381	320	39,72761	6,052969	-39,2638	-0,99033	-2,25247	2,46056	500	4,072314	-43,7687	4,319682	-42,7649	42,98256	140	4,56705	-41,7612
20,10974	330	40,21947	4,489623	-39,9681	-0,94174	-1,89167	2,11312	510	2,606148	-43,7514	3,069614	-43,1174	43,22654	150	3,53308	-42,4834
20,13658	340	40,27317	2,842479	-40,1727	-0,77134	-1,88686	2,038432	520	1,299801	-43,9465	1,842253	-43,4373	43,47634	160	2,384704	-42,9281
18,565	350	37,13	0,679291	-37,1238	-0,33965	-3,18476	3,202824	530	3,47E-15	-43,4933	0,598611	-43,3298	43,33398	170	1,197222	-43,1664
14,43649	360	28,87299	-1,3E-15	-28,873	-0,61194	-7,24802	7,273805	540	-1,22387	-43,369	-0,61194	-43,3075	43,3118	180	1,13E-15	-43,2459
15,38438	370	30,76875	1,549994	-30,7297	-1,98834	-6,17726	6,489374	550	-2,42668	-43,0842	-1,81327	-43,1353	43,17339	190	-1,19986	-43,1864
17,10664	380	34,21328	-0,11492	-34,2131	-1,74132	-4,21201	4,557766	560	-3,59757	-42,6371	-2,9964	-42,8022	42,90693	200	-2,39523	-42,9673
16,59227	390	33,18454	1,039868	-33,1682	-2,84733	-4,37042	5,216114	570	-4,65479	-41,9091	-4,10471	-42,2219	42,42098	210	-3,55463	-42,5348
16,83347	400	33,66695	0,730832	-33,659	-3,10171	-3,59661	4,74934	580	-5,47259	-40,8522	-5,03796	-41,3373	41,64316	220	-4,60333	-41,8223
16,81234	410	33,62468	1,503294	-33,5911	-3,69348	-2,94142	4,721628	590	-5,88367	-39,4739	-5,64382	-40,1205	40,51553	230	-5,40397	-40,7671
16,93185	420	33,8637	3,010738	-33,7296	-4,36001	-2,07008	4,826484	600	-5,70929	-37,8698	-5,77083	-38,6482	39,0767	240	-5,83237	-39,4267
17,37691	430	34,75383	4,761817	-34,4261	-4,78534	-0,90726	4,870587	610	-4,80887	-36,2406	-5,25314	-37,0512	37,42175	250	-5,69741	-37,8618
18,12837	440	36,25674	6,305253	-35,7043	-4,72253	0,412263	4,740489	620	-3,1398	-34,8797	-4,00309	-35,5732	35,79772	260	-4,86637	-36,2666
19,04785	450	38,0957	7,331645	-37,3835	-4,07083	1,62985	4,384982	630	-0,81001	-34,1238	-2,05817	-34,5235	34,58478	270	-3,30632	-34,9231
19,97595	460	39,9519	7,706243	-39,2016	-2,90354	2,465056	3,808809	640	1,89917	-34,2715	0,381226	-34,2102	34,2123	280	-1,13672	-34,1488
20,7927	470	41,5854	7,448142	-40,913	-1,44518	2,711764	3,072819	650	4,557774	-35,4894	2,95282	-34,8501	34,97493	290	1,347867	-34,2107
21,43559	480	42,87119	6,677975	-42,3479	-0,007	2,306168	2,306179	660	6,663975	-37,7355	5,183892	-36,4788	36,84525	300	3,703809	-35,222

Продолжение таблицы В4

21,89264	490	43,78527	5,557633	-43,4311	1,10031	1,350917	1,742315	670	7,758253	-40,7293	6,589417	-38,8897	39,444	310	5,420581	-37,0501
21,97888	500	43,95776	4,072314	-43,7687	1,735851	-0,10876	1,739255	680	7,544017	-43,9862	6,798493	-41,625	42,17654	320	6,052969	-39,2638
21,9145	510	43,82899	2,606148	-43,7514	1,685974	-1,58116	2,311398	690	5,978096	-46,9138	5,23386	-43,4409	43,75509	330	4,489623	-39,9681
21,98283	520	43,96567	1,299801	-43,9465	1,000972	-2,49899	2,692009	700	3,301746	-48,9444	3,072112	-44,5586	44,66436	340	2,842479	-40,1727
21,74666	530	43,49332	3,47E-15	-43,4933	2,09E-15	-3,08882	3,088818	710	7,65E-15	-49,671	0,339645	-43,3974	43,3987	350	0,679291	-37,1238
21,69315	540	43,38629	-1,22387	-43,369	0,611935	4,653562	4,693624	720	0	-34,0619	-6,4E-16	-31,4674	31,46744	360	-1,3E-15	-28,873
21,57624	550	43,15249	-2,42668	-43,0842	-0,43971	-2,93995	2,972653	10	-3,30611	-48,9641	-0,87806	-39,8469	39,85657	370	1,549994	-30,7297
21,39431	560	42,78861	-3,59757	-42,6371	-1,2059	-2,17194	2,484249	20	-6,00937	-46,981	-3,06214	-40,597	40,71235	380	-0,11492	-34,2131
21,0834	570	42,16679	-4,65479	-41,9091	-1,47065	-1,07282	1,820372	30	-7,59609	-44,0547	-3,27811	-38,6115	38,75039	390	1,039868	-33,1682
20,60859	580	41,21717	-5,47259	-40,8522	-1,18208	0,02775	1,182404	40	-7,83674	-40,7967	-3,55296	-37,2279	37,39704	400	0,730832	-33,659
19,95499	590	39,90998	-5,88367	-39,4739	-0,44321	0,839931	0,949694	50	-6,77009	-37,794	-2,6334	-35,6925	35,78956	410	1,503294	-33,5911
19,14885	600	38,2977	-5,70929	-37,8698	0,509439	1,169384	1,275534	60	-4,69041	-35,531	-0,83984	-34,6303	34,64047	420	3,010738	-33,7296
18,27912	610	36,55825	-4,80887	-36,2406	1,376893	0,97593	1,687683	70	-2,05508	-34,2887	1,353369	-34,3574	34,38404	430	4,761817	-34,4261
17,51039	620	35,02078	-3,1398	-34,8797	1,890574	0,3844	1,929257	80	0,641345	-34,1109	3,473299	-34,9076	35,07998	440	6,305253	-35,7043
17,06673	630	34,13346	-0,81001	-34,1238	1,892512	-0,35649	1,925795	90	2,975009	-34,8368	5,153327	-36,1102	36,47605	450	7,331645	-37,3835
17,16205	640	34,3241	1,89917	-34,2715	1,374367	-0,94807	1,669648	100	4,647904	-36,1677	6,177073	-37,6846	38,18755	460	7,706243	-39,2016
17,89046	650	35,78091	4,557774	-35,4894	0,502062	-1,141	1,246577	110	5,561897	-37,7714	6,50502	-39,3422	39,87636	470	7,448142	-40,913
19,15972	660	38,31945	6,663975	-37,7355	-0,45542	-0,80914	0,928506	120	5,753131	-39,3538	6,215553	-40,8509	41,32101	480	6,677975	-42,3479
20,73081	670	41,46162	7,758253	-40,7293	-1,19849	0,007576	1,198509	130	5,361283	-40,7141	5,459458	-42,0726	42,42537	490	5,557633	-43,4311
22,31424	680	44,62847	7,544017	-43,9862	-1,48848	1,112529	1,858306	140	4,56705	-41,7612	4,319682	-42,7649	42,98256	500	4,072314	-43,7687
23,64655	690	47,29311	5,978096	-46,9138	-1,22251	2,215181	2,530129	150	3,53308	-42,4834	3,069614	-43,1174	43,22654	510	2,606148	-43,7514
24,52784	700	49,05568	3,301746	-48,9444	-0,45852	3,008158	3,042902	160	2,384704	-42,9281	1,842253	-43,4373	43,47634	520	1,299801	-43,9465
24,83548	710	49,67095	7,65E-15	-49,671	0,598611	3,252292	3,306923	170	1,197222	-43,1664	0,598611	-43,3298	43,33398	530	3,47E-15	-43,4933
17,03095	720	34,0619	0	-34,0619	5,63E-16	-4,59201	4,592013	180	1,13E-15	-43,2459	-0,61194	-43,3075	43,3118	540	-1,22387	-43,369