

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(институт, факультет)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Повышение экологических характеристик двигателей семейства
ВАЗ

Студент

Д.А. Хапов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Нормоконтролер

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

Т.С. Анисифорова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите
Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2019 г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

В представленной выпускной квалификационной работе бакалавра Д.А. Хапова, в соответствии с темой работы «Повышение экологических характеристик двигателей семейства ВАЗ» представлены расчеты и чертежи двигателя ВАЗ 21127. По результатам теплового расчета, кинематического расчета и динамического расчета двигателя ВАЗ 21127, получены основные характеристики двигателя ВАЗ 21127 и определены силы, действующие на кривошипно-шатунный механизм данного двигателя. Так же, по результатам теплового расчета ДВС, построены индикаторные диаграммы двигателя и диаграмма внешней скоростной характеристики двигателя. По результатам расчета кинематики и динамики двигателя, получены диаграммы перемещения поршня, скорости поршня, ускорения поршня и др.

В представленной выпускной квалификационной работе разработаны следующие пункты:

- обзор актуальности рассматриваемой проблемы;
- обзор конструкции модернизируемого ДВС;
- расчеты рассматриваемого двигателя (тепловой расчет, расчет кинематики, расчет динамики) ДВС;
- спецчасть работы, с расчетом времени пргрева модернизированного каталитического нейтрализатора;
- раздел безопасности жизнедеятельности;
- общий обзор экономической составляющей ВКР.

Страниц в представленной выпускной квалификационной работе 75, Иллюстраций 23, Таблиц 22, Библиографических ссылок 25.

ABSTRACT

This graduation project is devoted to improving the environmental performance of VAZ engines.

The graduation project consists of an explanatory note on 75 pages, including 23 figures, 22 tables, the list of 25 references including 10 foreign sources and five appendices, and the graphic part.

All parts graduation project look toward improving the effectiveness of neutralization of exhaust gases of the internal combustion engine. The key issue of the graduation project is installation of a block of metal honeycombs in place of ceramic honeycombs in the design of the catalytic converter.

In general, the work deals with the following issues:

- review of the relevance of the problem under consideration;
- design review of the upgraded ICE;
- calculations of the considered engine (thermal calculation, calculation of kinematics, calculation of dynamics);
- special part of the work with time estimate for warm - up upgraded catalytic converter;
- section «Safety of vital activities»;
- review of the economic component of the graduation work.

Finally, we present the result of the advantage of installing a catalytic converter with cells made of stainless foil on the VAZ engines. These results are consistent with the expected results and meet the requirements for the toxicity of exhaust gases.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Обзор актуальности выбранной проблемы и средств ее решения.....	7
1.1 Обзор систем нейтрализации ОГ	8
1.2 Рассмотрение принципа работы трехкомпонентного катализатора	10
1.3 Способ совершенствования системы нейтрализации ОГ	14
1.4 Обзор модернизируемого двигателя	19
2 Тепловой расчет двигателя	22
2.1 Исходные данные.....	22
2.2 Расчёт наполнения цилиндров	23
2.3 Процесс сжатия рабочего тела.....	24
2.4 Термохимический расчет.....	25
2.5 Термодинамический расчет.....	26
2.6 Расчет процесса расширения и выпуска.....	28
2.7 Индикаторные показатели рабочего цикла	30
2.8 Эффективные показатели и параметры двигателя	30
2.9 Индикаторные диаграммы и ВСХ.....	32
3 Расчет кинематики и динамики.....	33
3.1 Кинематический расчет	33
3.2 Динамический расчет	35
4 Специальная часть	41
4.1 Расчет прогрева модернизированного катализатора	41
5 Безопасность и экологичность бакалаврской работы	44
5.1 Оценка экологичности, по выбросам ОГ двигателя.....	44
5.2 Безопасность и надежность модернизированного двигателя.....	45
6 Экономический раздел.....	46
6.1 Экономическое обоснование работы	46
Заключение	49

Список используемых источников.....	50
Приложение А	53
Приложение Б	65
Приложение В	67
Приложение Г	70
Приложение Д	73

ВВЕДЕНИЕ

К современным двигателям внутреннего сгорания применяют всё более жесткие требования по нормам токсичности и их экологичности в целом. Для выполнения этих, регулярно обновляющихся и ужесточающихся стандартов, производителям ДВС требуется прибегать к использованию новых материалов, технологий и решений при производстве двигателей. По мимо внедрения новых элементов конструкции двигателей не прекращается и модернизация старых, хорошо проверенных решений для снижения токсичности ДВС.

Одним из основных и наиболее эффективным средством, по борьбе с токсичностью двигателя, является каталитический нейтрализатор отработанных газов. Его конструкция уже хорошо известна и применяется на всех современных ДВС, но несмотря на это и по сей день продолжают работы по его совершенствованию. По мимо этого, так же ведутся доработки рабочего процесса двигателя, делая его максимально приближенным к тому, чтобы катализатор мог работать на максимально эффективных для себя режимах. Так же, при постановке вопроса об экологичности, не обходятся стороной и прочие системы ДВС, такие как: система впуска, выпуска, охлаждения и др. Всё это, в общей сложности, так или иначе влияет на общий уровень токсичности двигателя и в итоге определяет то, проходит он или нет по нормам токсичности и может ли данный двигатель эксплуатироваться в той или иной стране.

Данная работа, основной своей частью, разбирает систему выпуска отработанных газов и каталитического нейтрализатора, который, как уже сказано выше, является важной частью в картине общей экологичности двигателя.

Представленная выпускная квалификационная работа, оформлена в соответствии с требованиями, указанными в литературе [23 - 25].

1 Обзор актуальности выбранной проблемы и средств ее решения

На данный момент в Европе, а так же ряде развитых стран мира, в том числе и в России, действует Правило ЕЭК ООН №83-06. В России данное правило дублирует ГОСТ Р 41.83. Правило Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций №83-06 имеет название «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей», такое же название имеет и российский ГОСТ Р 41.83.

Основное содержание Правила №83 включает в себя: официальные утверждения, технические требования, методики испытаний, правила соответствия производства, процедуру проверки выполнения требований, предельные значения вредных выбросов в ДВС и др.

Таблица 1.1, демонстрирует предельные значения вредных выбросов в ДВС. Категория N₁, в таблице, включает в себя значения актуальные для легковых автомобилей.

Как мы можем видеть, Правило ЕЭК ООН №83-06 служит для жесткого контроля вредных выбросов в ДВС и действует на территориях самых привлекательных автомобильных рынков. В следствии этого, на данный момент времени, чтобы не только производить, но и продавать автомобили с ДВС, двигатели должны отвечать жестким экологическим стандартам, который регулярно ужесточаются.

Как уже было сказано во введении к работе, основным помощником двигателя, в прохождении экологического контроля, является каталитический нейтрализатор. Благодаря данному устройству, автомобильные двигатели могут спокойно устанавливаться на автомобили и проходить экологический контроль, а значит усовершенствование конструкции каталитического нейтрализатора, является необходимой работой.

Таблица 1.1 – Предельные значения вредных веществ в отработавших газах

Характеристика транспортного средства		Контрольная масса (КМ), кг	Масса оксида углерода (CO) L_1^1 , г/км		Масса углеводородов (CH) L_2 , г/км		Масса оксидов азота (NO _x) L_3 , г/км		Суммарная масса оксидов азота и углеводородов (CH + NO _x) $L_2 + L_3$, г/км		Масса вредных частиц ¹⁾ (PM) L_4 , г/км	
Категория	Класс		Топливо, необходимое для работы двигателя									
			бензин	дизельное	бензин	дизельное	бензин	дизельное	бензин	дизельное	дизельное	
А	M ²⁾	-	≥ 400 кг	2,3	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,56	0,05
	N _I ³⁾	I	КМ ≤ 1305 кг	2,3	0,64	0,20	-	0,15	0,50	-	0,56	0,05
		II	1305 кг < КМ ≤ 1760 кг	4,17	0,80	0,25	-	0,18	0,65	-	0,72	0,07
		III	КМ > 1760 кг	5,22	0,95	0,29	-	0,21	0,78	-	0,86	0,10
В	M ²⁾	-	≥ 400 кг	1,0	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,30	0,025
	N _I ³⁾	I	КМ ≤ 1305 кг	1,0	0,50	0,10	-	0,08	0,25	-	0,30	0,025
		II	1305 кг < КМ ≤ 1760 кг	1,81	0,63	0,13	-	0,10	0,33	-	0,39	0,04
		III	КМ > 1760 кг	2,27	0,74	0,16	-	0,11	0,39	-	0,46	0,06

1) Для двигателей с воспламенением от сжатия.
 2) Кроме транспортных средств максимальной массой более 2500 кг.
 3) А также транспортные средства категории М, указанные в сноске 2).
 4) L - предельные значения содержания вредных веществ в отработавших газах:
 L₁ - CO; L₂ - CH; L₃ - NO_x; L₄ - вредные частицы.

1.1 Обзор систем нейтрализации ОГ

В современных автомобильных ДВС, применяется большое количество разных катализаторов. Они имеют разное расположение, отличные друг от друга виды и формы, но все они имеют одну и ту же суть работы, которая будет рассмотрена ниже. Общий вид, типичного катализатора, применяемого в ДВС, показан на рисунке 1.1.

Катализатор (3), в общей системе выпуска отработанных газов (рисунок 1.2), устанавливается сразу после выпускного коллектора (1). Одним своим концом, коллектор крепится к головке блока цилиндров, откуда в него и попадают отработанные газы, а другим, соединяется со впускной воронкой катализатора. Газы, проходя через весь катализатор, достигают его выпускной воронки, соединенной с трубой выпускного тракта (4), которая,

далее, идёт к резонатору (5) и к другим элементам системы глушения звуков двигателя.



Рисунок 1.1 – Общий вид каталитического нейтрализатора

После прохождения всех элементов системы выпуска, отработанные газы попадают в атмосферу. Так же, стоит отметить, что перед и после нейтрализатора, устанавливаются лямбда зонды (2), о назначении которых будет рассказано ниже.

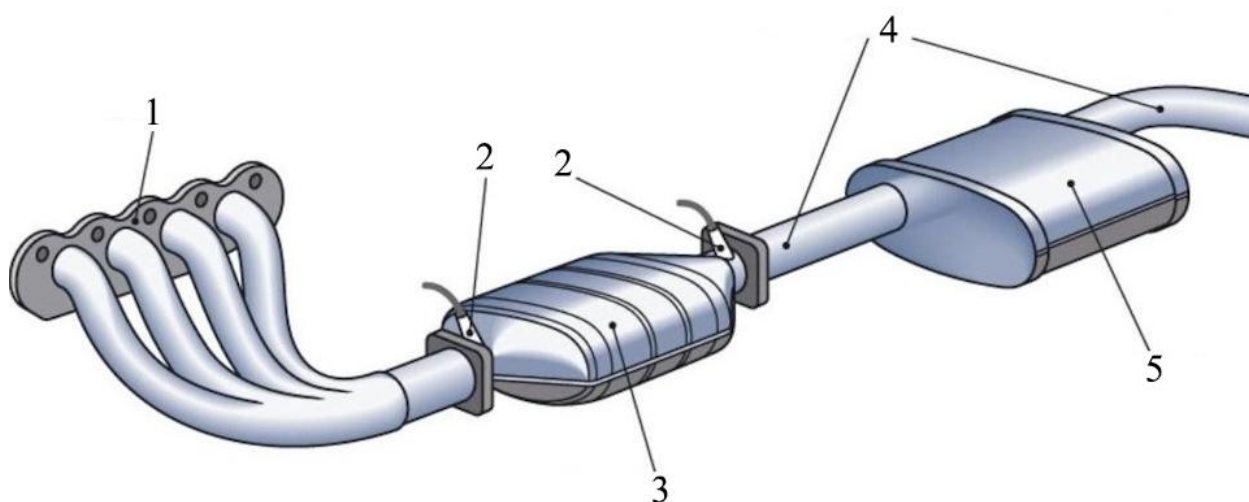


Рисунок 1.2 – Общий вид системы выпуска

Устройство самого каталитического нейтрализатора в разрезе, представлено на рисунке 1.3. Выхлопные газы двигателя попадают в катализатор через впускную воронку (1). В катализаторе, они проходят через

пористую, керамическую, структуру (4), закрепленную в монтажный мат (2). Стоит отметить, что керамическая структура внутри катализатора покрыта драгметаллами, которые и служат катализаторами для процессов окисления и преобразования отработанных газов. Пройдя через неё, выхлопные газы выходят через выпускную воронку (5) и продолжают своё движение по выпускной системе ДВС.

Сам катализатор, как мы можем видеть по рисунку 1.3, закрывается металлическим кожухом (3). Его основная задача состоит в том, чтобы экранировать тепло, ведь соты катализатора, во время работы двигателя, могут раскаляться до 1000°C. Так же, данный кожух, удерживает тепло внутри, не позволяя катализатору быстро остывать после прекращения работы ДВС. Это требуется для того, чтобы катализатору требовалось меньше времени для выхода на режим эффективной работы, при повторном пуске двигателя, который начинается с температуры равной не менее 350°C.

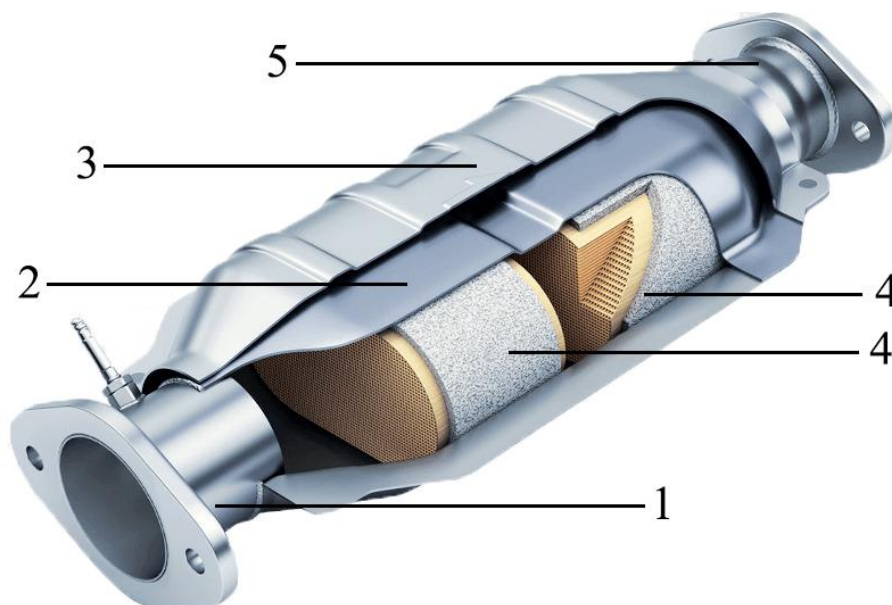


Рисунок 1.3 – Катализатор в разрезе

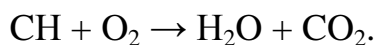
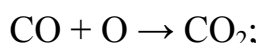
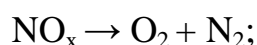
1.2 Рассмотрение принципа работы трехкомпонентного катализатора

Рассмотрим более подробно процессы, проходящие в трехкомпонентном катализаторе отработанных газов.

Большинство катализаторов называются трехкомпонентными и имеют такое название, благодаря своей основной функции по нейтрализации трех, наиболее опасных, токсичных, элементов выхлопа двигателя. Этими элементами являются: углеводороды - СН (канцерогенные соединения и элементы смога), угарный газ - СО (смертельно ядовитый газ при превышении его концентрации в воздухе свыше 0,1 %), окислы азота – NO_x (ядовитый для человека элемент, компонент смога).

Для нейтрализации этих компонентов, в катализаторе, как уже сказано выше, применяются драгметаллы. Ими являются: родий - Rh, палладий - Pd, платина – Pt.

Будучи нанесенными, на пористую керамическую структуру сот катализатора (рисунки 1.4 и 1.5), драгметаллы контактируют с выпускными газами, проходящими через нее. При таком контакте происходит следующее. Палладий и платина, контактируя с углеводородами и угарным газом, окисляют их, в результате чего, углеводород преобразуется в водяной пар, угарный газ в углекислый. Родий же, является преобразователем оксида азота NO_x, который преобразует его в обычный азот, составляющий большую часть воздуха нашей атмосферы и кислород. Ниже, приведена запись преобразований, проходящих в катализаторе.



Как мы можем видеть, основные, самые опасные компоненты отработанных газов, пройдя через каталитический нейтрализатор преобразуются в: H₂O, CO₂ и N₂.

Так же, стоит отметить, что трехкомпонентный катализатор, состоит из 2 блоков, отмеченных цифрами 4 (рисунок 1.3). Один блок, покрыт палладием и платиной и преобразует углеводороды и угарным газом, а второй родием и преобразует окислы азота.



Рисунок 1.4 – Блок сот



Рисунок 1.5 – Соты внутри корпуса

Стоит отметить, что режим эффективной работы катализатора ограничен температурными рамками от 350°C до 850°C. На режимах прогрева двигателя, когда катализатор холодный и имеет температуру ниже 350°C, преобразования токсичных веществ идет крайне неэффективно. При температурах свыше 850°C, наблюдается ускоренный износ катализатора и его разрушение.

Для того, чтобы убедиться, что катализатор работает правильно и действительно преобразует токсичные компоненты в выпускную систему ДВС встраивают лямбда зонды (2), рисунок 1.2. Их задача, состоит в оценке количества остаточного (недоокисленного) кислорода, перед и после катализатора и корректировки рабочего процесса двигателя, путем передачи собираемых данных на ЭБУ.

Регулировка рабочего процесса двигателя с помощью лямбда зондов, требуется, так как рассматриваемый нами трехкомпонентный катализатор, может эффективно нейтрализовать токсичные выбросы двигателя, только при стехиометрическом составе рабочей смеси или близком к нему. Коэффициент избытка воздуха α , необходимый для такого состава смеси, колеблется в пределах $\alpha = 0,95 - 1,0$. Этот диапазон α , в пределах которого ЭБУ корректируют состав ТВС, называется «окно бифункциональности». Конечно, на режимах прогрева, при максимально открытой дроссельной

заслонки или другом режиме сильной нагрузки двигателя, состав рабочей смеси может уходить далеко за пределы стехиометрического, но при этом, он будет всегда стремиться к нему.

Важной деталью, при корректировке коэффициента избытка воздуха, в современных ДВС, является пропуск режима работы двигателя, при котором $\alpha = 1,0 - 1,2$. Это связано с тем, что при $\alpha \sim 1,1$, количество NO_x , в составе отработанных газов, возрастает примерно в 2 раза, по сравнению с $\alpha = 0,95 - 1,0$. Как уже было сказано выше, NO_x является самым опасным компонентом ОГ и его увеличение в выхлопе автомобильного ДВС, крайне негативно сказывается на общей экологичности автомобиля.

График с зависимостью количества основных компонентов ОГ от коэффициента избытка воздуха α , показан на рисунке 1.6. Окно бифункциональности на рисунке 1.6 показано штриховкой и лежит в пределах $\alpha = 0,95 - 1,0$.

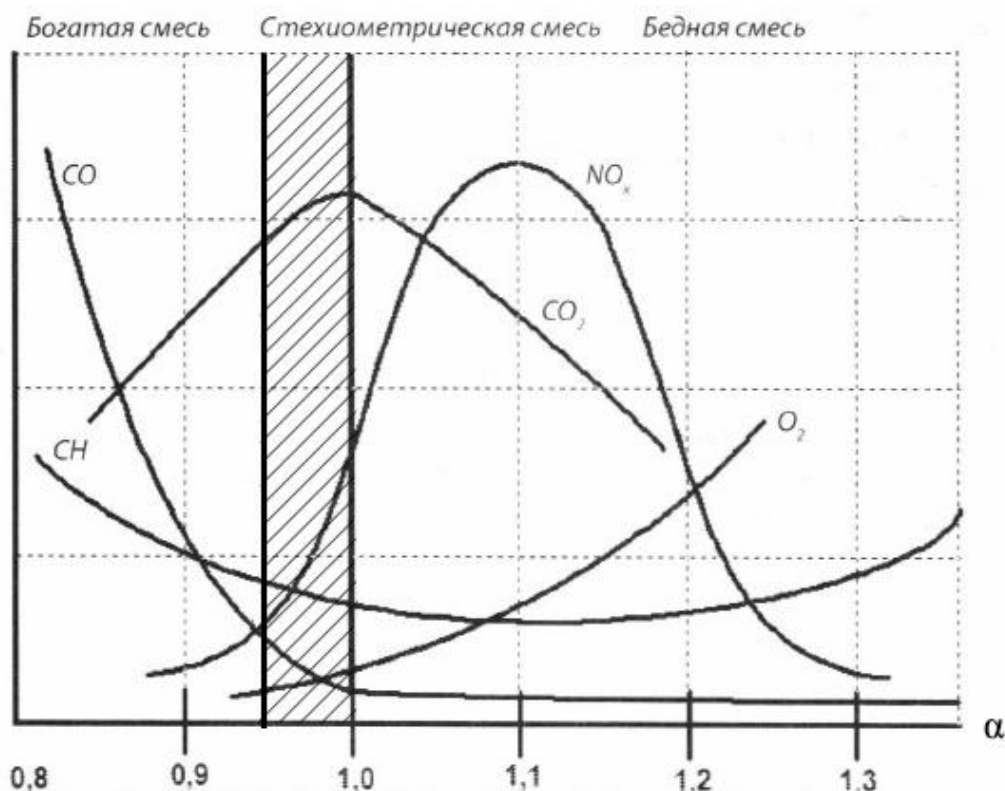


Рисунок 1.6 – Зависимость ОГ от α

Как мы можем видеть на рисунке 6, стехиометрическая смесь является оптимальной, исходя из содержания опасных выбросов в отработанных газах, по отношению к другим составам смеси.

1.3 Способ совершенствования системы нейтрализации ОГ

Как уже было сказано выше, на режимах прогрева двигателя, катализатор работает крайне неэффективно, а значит количество токсичных выбросов двигателя сильно возрастает. Это сильно портит общую картину экологичности двигателя и может мешать какому-либо конкретному ДВС вписаться в экологические нормы.

Для того, чтобы максимально сгладить этот недостаток, требуется максимально ускорить процесс прогрева катализатора и позволить ему выходить на эффективный режим работы в кратчайший срок.

По мимо этого, возможно, совершенствование конструкции катализатора путем применения в каталитическом нейтрализаторе новых материалов и проведение доработок его общей конструкции. К примеру, керамика, используемая в качестве сот, в большинстве нейтрализаторов, на данный момент, при своем разрушении, губительно влияет на двигатель. Данный недостаток не был обговорен выше, но его стоит отметить. Керамические пластины, при своем разрушении, образуют керамическую крошку, которая, благодаря импульсному воздействию в ходе работы двигателя, может быть заброшена в его цилиндры.

Одним из способов решения проблем нынешних катализаторов, может стать уже известный по литературе [11-22] способ применения в них пластин (сот) из гофрированной фольги. Изобретение, имеющее патент № 2518873, является именно такой фольгой, подходящей для использования в катализаторе ДВС.

Данная фольга выполнена из нержавеющей стали, содержащей, в мас. %: менее 0,05 углерода (C); 2,0 или меньше кремния (Si); 1,0 или меньше

марганца (Mn); менее 0,003 серы (S); менее 0,05 фосфора (P); 25,0 - 35,0 хрома (Cr); 0,05 - 0,30 никеля (Ni); 3,0 - 10,0 алюминия (Al); менее 0,10 азота (N); менее 0,02 титана (Ti); менее 0,02 ниобия (Nb); менее 0,02 тантала (Ta); 0,005 - 0,20 циркония (Zr); менее 0,02 церия (Ce); 0,03 - 0,20 РЗЭ (редкоземельного элемента), исключая церий (Ce); 0,5 - 6,0 в сумме по меньшей мере одного из молибдена (Mo) и вольфрама (W); железо (Fe) и прочие примеси в остатке. Представленная выше фольга, с таким составом, при высоких температурах имеет: высокую прочность, отличную стойкость к окислению и превосходную стойкость к солевой коррозии.

Такой состав фольги обусловлен следующими функциями химических элементов в ее составе:

- при превышении С 0,05%, прочность и стойкость к коррозии при высоких температурах уменьшается;
- при превышении 2,0% содержания Si, уменьшается вязкость и обрабатываемость снижается, что приводит к трудностям производства;
- при превышении 1,0% содержания Mn, стойкость к окислению и коррозии при высоких температурах уменьшается;
- при превышении 0,003% содержания S, адгезия слоя Al_2O_3 в носителе катализатора и его стойкость к окислению уменьшаются;
- при превышении 0,05% содержания P, ухудшается обрабатываемость, что ведет к трудностям и удорожанию изготовления фольги, а также уменьшается адгезия слоя Al_2O_3 в носителе катализатора;
- хром (Cr) является одним из важнейших элементов в составе фольги и важным элементом в обеспечении прочности при высоких температурах и коррозионной стойкости;
- никель (Ni) добавляется в небольших (0,05 - 0,30%) количествах для улучшения паяемости при формировании носителя катализатора;
- алюминий (Al) добавляется для образования высокозащитного слоя Al_2O_3 на поверхности фольги, для улучшения стойкости к окислению;

- при превышении 0,10% содержания N, вязкость уменьшается, что приводит к трудностям производства фольги;
- при превышении 0,02% титана (Ti), в составе фольги, заметному уменьшается паяемость и стойкости к окислению;
- при превышении 0,02% содержания Nb, образуется оксидная пленка, из (Fe, Al) NbO₄, что приводит к уменьшению стойкости к окислению;
- при превышении 0,02% содержания Ta, появляются те же пагубные последствия, что и при превышении Nb;
- задача Zr состоит в связывании C и N в стали, для улучшения ее ползучести;
- при превышении 0,02% содержания Ce, образуются оксиды типа CeO на поверхности раздела между слоем Al₂O₃ и поверхностью основной стали, что сильно уменьшает прочность материала;
- редкоземельные элементы (РЗЭ), к ним относятся 14 элементов с атомными номерами 57 – 71. РЗЭ нужны для улучшения адгезии слоя Al₂O₃ и действуют на улучшение стойкости к отслаиванию слоя Al₂O₃;
- Mo и W требуются для увеличения прочности при высоких температурах, в частности модуля Юнга и напряжениях при разрыве.

Другие элементы, отличные от тех элементов, что описаны выше, представляют собой железо (Fe), а так же прочие случайные примеси.

Как мы можем видеть, все химические элементы, входящие в состав представленной фольги, служат для того, чтобы она максимально удовлетворяла требования, предъявляемые к сотам автомобильных катализаторов. Такую фольгу действительно можно использовать при изготовлении каталитических нейтрализаторов.

Но, стоит помнить, что катализатор, в современных автомобилях, максимально приближен к выпускному коллектору или даже объединен с ним в катколлектор, рисунок 1.7. Такое расположение катализатора, обрекает

его на сильные импульсные нагрузки, в виде постоянно набегающих потоков раскаленных выхлопных газов от каждого из цилиндров ДВС. В следствии таких высокотемпературных нагрузок, фольга может сильно деформироваться, искажаться, давать усадку и начинать пропускать отработанные газы двигателя в обход себя или же наоборот, создавать дополнительное сопротивление, для их прохода.



Рисунок 1.7 – Катколлектор

Чтобы этого не происходило, требуется увеличивать толщину слоя фольги, не менее чем до 40 мкм. Такая толщина фольги подходит для изготовления сот, выдерживает высокотемпературные нагрузки и может быть использована для изготовления катализатора. Для большей надежности катализатора, эту толщину можно увеличивать, но не более чем до 110 мкм. При превышении этой толщины, катализатор начинает работать крайне неэффективно, создавая избыточное сопротивление.

Соты катализатора, выполняемые из фольги, имеют вид, представленный на рисунке 1.8. Производят, данную сотовую конструкцию, путем сворачивания плоского листа фольги 1 и гофрированного листа фольги 2 в рулон. Закрепляют, полученные рулон, по внешней периферии, внешним цилиндром 3.

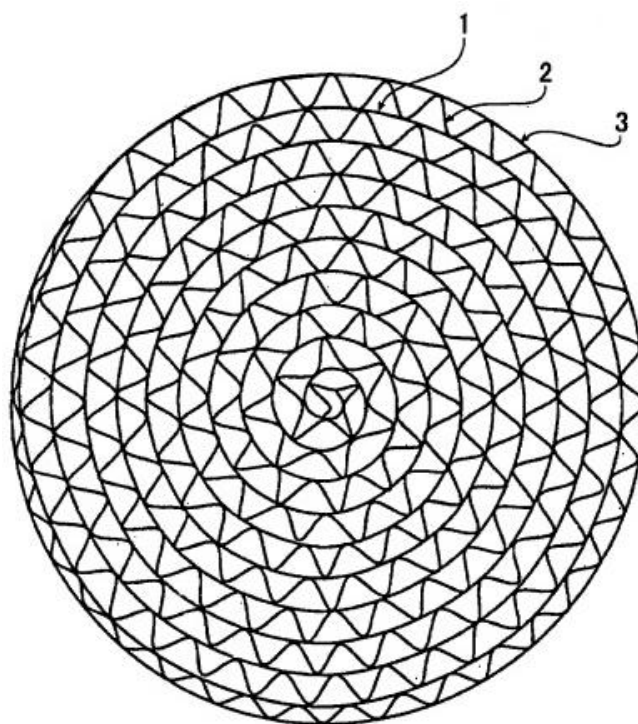


Рисунок 1.8 – Структура сот выполненных из фольги

В общем, использование фольги в качестве сот катализатора, имеет ряд преимуществ, по сравнению с керамикой. Основными из них, являются: более высокая теплопроводность материала; отсутствие крошения, в ходе разрушения сот; меньший коэффициент сопротивления проходу отработанных газов (последний зависит от толщины фольги).

Более высокая теплопроводность фольги (около 16 Вт/(м·град) у фольги и около 1,5 Вт/(м·град) у керамики), способствует более быстрому прогреву сот катализатора, за счет чего, катализатор, может быстрее прогреваться до своей рабочей температуры. Это снижает время неэффективной работы катализатора, что помогает ДВС вписаться в экологические нормы.

В отличие от керамики, при разрушении, от фольги не откалываются невероятно твердые частицы, которые, при их забрасывании в цилиндры двигателя, разрушают зеркало цилиндра и поршневые кольца.

Меньший коэффициент сопротивления, сот из фольги, дает преимущества за счет повышения мощности двигателя, так как

сопротивление на выпуске падает. Но данное преимущество, справедливо только при использовании фольги, толщиной менее 70 мкм.

1.4 Обзор модернизируемого двигателя

В представленной работе, модернизации будет подвергаться, двигатель ВАЗ 21127. Именно на его примере будет рассмотрен способ повышения экологических характеристик двигателей семейства ВАЗ, путем установки катализатора, с сотами, выполненными из фольги.

На данный момент, двигатель ВАЗ 21127 является одним из самых массовых двигателей Волжского автомобильного завода. Данный силовой агрегат активно устанавливается на автомобили семейства LADA Granta, LADA Vesta и другие автомобили Волжского автомобильного завода.

Двигатель ВАЗ 21127, является модернизацией двигателя ВАЗ 21126. Главным отличием двадцатьседьмого мотора от своего предшественника, стало появление регулируемого впускного ресивера, в котором появились управляемые заслонки, позволяющие изменять длину воздушных каналов на впуске.

Послуживший прототипом двадцатьседьмому мотору двигатель ВАЗ 21126, тоже является модернизацией, но уже другого двигателя, имеющего индекс ВАЗ 21124. В двигатель ВАЗ 21126, в отличие от своего предшественника, была установлена облегченная шатунно-поршневая группа и ремень ГРМ с автоматическим натяжителем. Это были основные отличия двигателя ВАЗ 21126 от ВАЗ 21124.

В свою очередь, двигатель ВАЗ 21124, является двигателем ВАЗ 2112 с увеличенным ходом поршня. Увеличение хода поршня, привело к увеличению массогабаритных размеров блока цилиндров и увеличению рабочего объема двигателя с 1,5 до 1,6 литров.

Как мы можем видеть, двигатель ВАЗ 21127 имеет достаточно длинную историю своего появления, но данный двигатель и по сей день,

является очень перспективным силовым агрегатом и имеет большой потенциал для своего развития.

Общий вид, двигателя ВАЗ 21127 в сборе, представлен на рисунке 1.9.

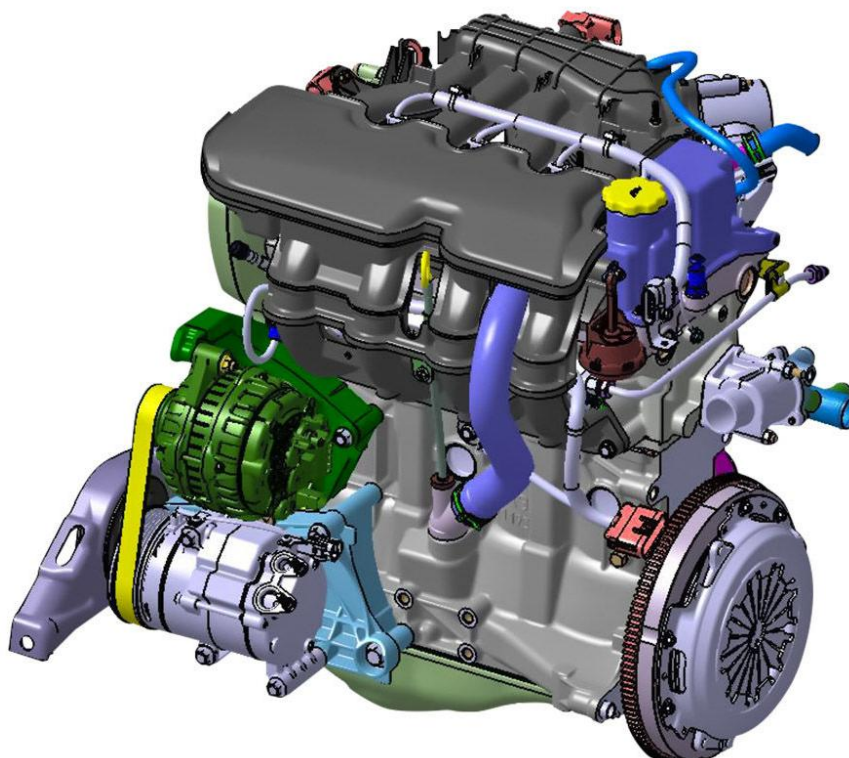


Рисунок 1.9 – Двигатель ВАЗ 21127

Основные характеристики двигателя, представлены ниже, в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные характеристики двигателя ВАЗ 21127

Параметр	Показатель
Максимальная мощность	106 л.с при 5800 об.мин ⁻¹
Максимальный крутящий момент	148 Нм при 4000 об.мин ⁻¹
Экологический класс	Пятый
Рабочий объем	1597 см ³
Смешанный расход топлива	7 л/100 км
Количество цилиндров	4
Ресурс	200 тыс. км

Как мы видим, двигатель ВАЗ 21127 имеет достойную мощность, высокий класс экологичности, внушительный крутящий момент и ничем не уступает зарубежным, более дорогим, аналогам.

Данный двигатель, является типичным представителем двигателей, устанавливаемых на автомобили Волжского автомобильного завода и именно с использованием его характеристик, будут проводиться все дальнейшие расчеты и модернизации, которые, с незначительными изменениями, смогут в дальнейшем применяться ко все двигателям семейства ВАЗ.

2 Тепловой расчет двигателя

Ниже приведен тепловой расчет малолитражного автомобильного двигателя ВАЗ 21127 с модернизированным каталитическим нейтрализатором, выполненный по методике И.И. Вибе [1 - 3]. В расчете определены все основные параметры двигателя, необходимые для его эксплуатации, а также построены его индикаторные диаграммы. Данный расчёт, является одним из основных в проектировании автотракторных ДВС и служит основополагающим расчётом в теории рабочего процесса. Расчет базового двигателя ВАЗ 21127 приведен в курсовой работе.

2.1 Исходные данные

В ходе выполнения расчета, двигатель будет рассчитан на пяти установившихся режимах работы. В числовом значении, выбранные режимы, представляют собой следующие обороты коленчатого вала двигателя:

$$n_1 = 840 \text{ (мин}^{-1}\text{)} - \text{ обороты холостого хода;}$$

$$n_2 = 2400 \text{ (мин}^{-1}\text{)} - \text{ рабочие обороты двигателя;}$$

$$n_3 = 4000 \text{ (мин}^{-1}\text{)} - \text{ обороты максимального крутящего момента;}$$

$$n_4 = 5800 \text{ (мин}^{-1}\text{)} - \text{ обороты максимальной мощности;}$$

$$n_5 = 6100 \text{ (мин}^{-1}\text{)} - \text{ максимальные обороты «отсечка»}.$$

Так же, для начала расчёта, нам необходим ряд характеристик двигателя, который сведён в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 □ Исходные данные для начала расчета

i	$D, \text{ мм}$	τ	$V_{л}, \text{ л}$	α	ε	$S, \text{ мм}$
4	82	4	1,597	1	11	75,6

Задаём атмосферные условия:

$$p_0 = 0,1 \text{ (МПа)}; T_0 = 293 \text{ (К)}.$$

Принимаем давление и температуру остаточных газов:

$$p_r = 0,1 - 0,12 \text{ (МПа)}; T_r = 912 - 1110 \text{ (К)}.$$

2.2 Расчёт наполнения цилиндров

Плотность заряда на впуске двигателя:

$$\rho_0 = \frac{p_0 \cdot 10^6}{Rb \cdot T_0}$$

Температура подогрева свежего заряда $\Delta T = 6$.

Потери давления на впуске:

$$\Delta p_a = \frac{2,8 \cdot A_n^2 \cdot n^2 \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6}}{2}, \text{ (МПа)}$$

Сила, приложенная на площадь, в конце процесса впуска:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}$$

Температура в конце впуска:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}$$

Рассчитываем коэффициент наполнения при условии, что коэффициент дозарядки равен: $\varphi_{\text{доз}} = 1,1$

$$\eta_V = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} \cdot (\varphi_{\text{доз}} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r)$$

По окончанию процесса наполнения удельный объем газовой эмиссии рассчитывается по представленной формуле:

$$V_a = 8,314 \cdot 10^{-3} \frac{T_a}{\mu_B \cdot p_a};$$

- где $\mu_B = 28,98$ – молярная масса воздуха

Данные, полученные в ходе расчётов, для всех пяти режимов работы двигателя, сводятся в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 □ Процесс наполнения

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 4000$	$n_4 = 5800$	$n_5 = 6100$
A_n	0,003966	0,010791	0,017168	0,023811	0,024
Δp_a	0,003716	0,004497	0,007284	0,010743	0,013416
p_a	0,096284	0,095503	0,092716	0,089257	0,086584
γ_r	0,036822	0,035475	0,036719	0,03729	0,039402
T_a	330,3382	328,2129	327,655	326,7173	329,1662
η_v	0,906046	0,914755	1,002867	0,925247	0,815646
V_a	0,984277	0,985936	1,013848	1,050123	1,090654

2.3 Процесс сжатия рабочего тела

Вычисляем политропу сжатия:

$$n^1 = 1 + \frac{8,314}{20,16 + 1,738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a}$$

Параметры в конце сжатия: температура, давление:

$$p_C = p \cdot \varepsilon^{n_1}; \quad T_C = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1}$$

Давление, температура и удельный объем рабочего тела в момент воспламенения, при УОЗ $\Theta = 17^\circ \div 33^\circ$ и $\lambda = 0,284$:

$$p_y = \left(\frac{V_a}{V_y}\right)^{n_1} \cdot p_a;$$

$$T_y = \left(\frac{V_a}{V_y}\right)^{n_1-1} \cdot T_a.$$

$$V_y = \frac{V_a}{\varepsilon} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[\cos\left(\frac{\Theta \cdot \pi}{180}\right) + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \left(\sin\left(\frac{\Theta \cdot \pi}{180}\right) \right)^2} \right] \right] \right]$$

Текущие значения p_y , T_y , V_y вычисляются по формулам аналогичным тем, что приведены выше.

Итоговые значения сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 □ Процесса сжатия

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 4000$	$n_4 = 5800$	$n_5 = 6100$
n^I	1,37	1,373	1,375	1,377	1,378
P_c	2,571942	2,569514	2,506517	2,424606	2,357649
T_c	802,1842	802,7774	805,2653	806,8209	814,8201
V_y	0,11446	0,124107	0,147056	0,166319	0,183228
P_y	1,835561	1,643582	1,318501	1,128895	1,011512
T_y	732,3361	711,0095	675,8507	654,462	646,0265
Θ	17	20	25	29	33

2.4 Термохимический расчет

Теоретическая масса воздуха, необходимая для сгорания 1,0 килограмма топлива, при $C = 0,855$ и $H = 0,145$ будет равна:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8H \right); l_0 = 14,957 \text{ (кмоль.возд./кг.топл).}$$

Количество воздуха, которое требуется для сгорания 1,0 килограмма топлива:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} \right); L_0 = 0,517 \text{ (кмоль.возд./кг.топл.)}.$$

Количество свежего заряда при $\alpha = 1$:

$$M_1 := \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_T}; M_1 = 0,517 \text{ (кмоль.гор.см./кг.топл.)}.$$

- где $m_T = 115$ кг/моль – молярная масса паров бензина

Суммарное количество элементов сгорания:

$$M_2 = 0,553 \text{ (кмоль гор. см./кг топл.)}$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}; \mu_0 = 1,052.$$

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}; \mu = 1,05.$$

2.5 Термодинамический расчет

Коэффициент эффективности сгорания топлива, при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$, выбираем из таблицы и принимаем его в диапазоне $\zeta = 0,9 \div 0,98$.

Учетная удельная теплота сгорания топлива будет равна:

$$H_u = 43,928 \left(\frac{\text{кмоль}}{\text{кг}} \right)$$

$$q_z = \frac{\zeta \cdot H_u}{(1 + \gamma_r)(\alpha \cdot l_0 + 1)}.$$

Давление газов в процессе сгорания определяется следующим образом:

$$p_2 = E_2 \cdot \Delta X_{1-2} + p_1 \cdot (K_{1-2} \cdot \psi(\varphi_1) - \psi(\varphi_2)) / [K_{1-2} \cdot \psi(\varphi_1) - \psi(\varphi_2)].$$

$$E_2 = \left(0,002 \cdot \frac{\varepsilon}{V_a} \right) \cdot q_z ; .$$

Часть топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$\Delta X_{1-2} = \exp \left[-6,908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6,908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] .$$

Для расчёта требуется указать следующие значения:

p_1 – давление в начале рассматриваемого участка, МПа;

φ'_1 и φ'_2 – углы поворота коленчатого вала в начале и в конце определенного участка соответственно;

φ_1 и φ_2 – углы поворота коленчатого вала, отсчитываемые от момента воспламенения до начала или конца рассматриваемого участка соответственно;

$$K_{1-2} = \frac{k_{1-2} + 1}{k_{1-2} - 1} - \text{фактор теплоемкостей.}$$

Расчёты теплоемкостей рабочего тела на участке 1-2, сведены в Приложение и могут быть вычислены по уравнению:

$$k_{1-2} = 1,259 + \left[76,7 - \left(13,6 - \frac{14,2}{\alpha} \right) \cdot x_{1-2} \right] \cdot \frac{1}{T_{1-2}} - \left(0,0665 - \frac{0,0245}{\alpha} \right) \cdot x_{1-2} .$$

Среднее значение части топлива, приведенного в Приложении, сгоревшего на участке 1-2:

$$x_{1-2} = 0,5 \left[\exp \left[-6,908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[-6,908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right];$$

$T_{1-2} = (T_1 + T_2)/2$ – промежуточная температура на участке 1-2;

$$\psi(\varphi') = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \sigma;$$

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

Сведённая в Приложение температура газов во время процесса сгорания:

$$T_2 = \frac{T_y \cdot p_2 \cdot \psi(\varphi_2')}{p_y \cdot \psi(\varphi_y') \cdot \mu_{1-2}}$$

$\mu_{1-2} = (\mu_1 + \mu_2)/2$ – средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения смеси;

$$\mu_1 = 1 + \frac{(\mu_{0\max} - 1) \left[1 - \exp\left[-6,908 \left(\frac{\varphi_1}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right]\right]}{1 + \gamma_r}$$

Данные μ_1 показаны в приложении для каждого из рабочих режимов.

$\mu_0 = \mu_{0\max}$ □ расчетный коэффициент молекулярного изменения свежей смеси.

Результаты расчета сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Термодинамические данные

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 4000$	$n_4 = 5800$	$n_5 = 6100$
q_z	2389,77	2446,054	2602,454	2547,938	2489,788
E_2	53,41479	54,58084	56,472	53,3791	50,22249

2.6 Расчет процесса расширения и выпуска

Данный пункт рассматривает нахождение средних показателей политроп расширения, находящихся методом последовательных приближений, при заданной начальной T_z и n_2 . Значение V_z – объем рабочего

тела, соответствует конечному значению давления p_z при сгорании, т.е. при $\varphi = \varphi_z$ (данные значения берутся из Приложения А).

Рассчитываем n_2 по представленной формуле:

$$n_2 = 1 + \frac{8,341}{23,7 + 0,0046 \cdot 2872,74 \cdot \left(1 + \frac{1}{\delta^{n_2-1}}\right)}$$

Значения в конце процесса расширения, как политропного процесса:

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}}; p_b; \quad T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}; T_b,$$

где p_z и T_z – параметры в конце сжатия (берутся из Приложения А).

Текущие значения удельного объема, давления и температуры газов от конца процесса сгорания до 540° поворота коленчатого вала находятся из соотношений

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

φ_{pt} – значение угла п.к.в. в данный момент

Необходимо провести проверку на верность подбора значений полученных температур отработавших газов. Для проведения проверки, воспользуемся представленной формулой:

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}};$$

Построим таблицу 2.5 и заполним её полученными значениями.

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 4000$	$n_4 = 5800$	$n_5 = 6100$
n^2	1,182227	1,18168	1,177345	1,185263	1,195153
V_z	0,175375	0,160824	0,142854	0,135883	0,133625
p_z	5,588559	6,068112	7,060041	6,831542	6,28646

P_b	0,597051	0,594669	0,603198	0,51663	0,429956
T_2	2007,74	2003,399	2089,95	1862,142	1618,057

Таблица 2.5 □ Впуск и расширение

2.7 Индикаторные показатели рабочего цикла

Следующий этап расчета предназначен для получения индикаторных показателей за цикл работы двигателя. Теоретическая индикаторная работа за цикл определяется по методу «трапеций»:

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_V \cdot H_u}$$

Удельный индикаторный расход топлива

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

Полученные результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла, сведены в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 - Индикаторные показатели

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 4000$	$n_4 = 5800$	$n_5 = 6100$
η_i	0,394129	0,418955	0,41262	0,400491	0,398453
g_i	207,9256	195,6044	198,6078	204,6225	205,6693
P_{iT}	1,225394	1,315103	1,419973	1,271563	1,115233
L_{iT}	1,096479	1,178734	1,308761	1,213907	1,105757

2.8 Эффективные показатели и параметры двигателя

В этом пункте, по формулам, представленным ниже, рассчитываются наиболее важные, при повседневной эксплуатации, показатели двигателя, такие как: расход топлива, мощность, крутящий момент и другие. Данный этап, является финальным в расчёте.

Расчет средней скорости поршня

$$v_n = \frac{S \cdot n}{30} \text{ м/с}$$

Среднее давление вследствие воздействия механических потерь

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

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа}$$

Механический коэффициент положительного действия

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}}$$

Эффективный коэффициент положительного действия

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расчетная эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_{\text{л}} \cdot n}{30\tau}, \text{ кВт.}$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч}$$

Крутящий момент двигателя

при n =	$V_{п.ср}$	p_m	p_e	η_m	η_e	g_e	N_e	M_e	G_T
840	2,1168	0,061518	1,163876	0,949797	0,374342	218,9158	13,0108	138,9095	2,84827
2400	6,048	0,112624	1,202479	0,914361	0,383076	213,9247	38,4067	150,8154	8,21614
4000	10,08	0,16504	1,254933	0,883772	0,364662	224,7273	66,80344	159,4815	14,01256
5800	14,616	0,224008	1,047555	0,823833	0,329938	248,3787	80,858	133,1271	20,0834
6100	15,372	0,233836	0,881397	0,790325	0,314907	260,2337	71,55163	116,0111	21,62014

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

Значение, рассчитанных эффективных показателей двигателя, сводятся в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 - Эффективные показатели двигателя

По сравнению с базовым двигателем, двигатель с модернизированным каталитическим нейтрализатором отработанных газов, немного теряет в показателях эффективной мощности и крутящего момента. Такой «провал» по мощности и моменту, обусловлен несколько увеличенным сопротивлением на выпуске и увеличенным, с целью снижения температуры горения рабочей смеси, углом опережения зажигания.

2.9 Индикаторные диаграммы и ВСХ

По результатам расчетов двигателя ВАЗ 21127, выполненных выше, построен ряд индикаторных диаграмм двигателя. Индикаторные диаграммы, сведены в Приложение X и показывают зависимость давления в цилиндре двигателя от угла поворота коленчатого вала, а так же зависимость давления в цилиндре двигателя от объема цилиндра.

По мимо индикаторных диаграм, по результатам расчетов, сведенных в таблицу 2.7, была построена внешняя скоростная характеристика двигателя ВАЗ 21127. ВСХ двигателя ВАЗ 21127, находится в Приложении Б.

3 Расчет кинематики и динамики

Ниже, приведены основные пункты расчетов кинематики и динамики двигателя ВАЗ 21127 с модернизированным каталитическим нейтрализатором отработанных газов. Расчеты выполнены по формулам из литературы [1 - 10].

Данные для проведения расчетов, берутся из результатов теплового расчета, представленного выше и заводских характеристик двигателя ВАЗ 21127.

Обороты коленчатого вала	$n = 5800$ об/мин
Диаметр цилиндра	$D_{\text{п}} = 82$ мм
Ход поршня	$S = 75,6$ мм
Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна	$\lambda \sim 0,284$
Угловая скорость вращения коленчатого вала	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 5800}{30} = 607 \text{ с}^{-1}$
Радиус кривошипа	$r = \frac{S}{2} = \frac{75,6}{2} = 37,8$ мм
Длина шатуна	$l = \frac{r}{\lambda} = \frac{37,8}{0,284} = 135$ мм

3.1 Кинематический расчет

Перемещение поршня состоит из перемещения первого порядка $S_{П1}$ при длине шатуна равной ∞ , и второго порядка $S_{П2}$, дополнительного перемещения, зависящей от конечной длины шатуна и определяется по формуле:

$$S_x = r \cdot \left((1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right)$$

где: φ – угол поворота коленчатого вала;

$$S_{П1} = r(1 - \cos\varphi) \text{ – перемещение первого порядка;}$$

$$S_{П2} = r \left(\frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right) \text{ – перемещение второго порядка.}$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$S_x = 37,8 \cdot \left((1 - \cos 0) + \frac{0,284}{4} (1 - \cos 2 \cdot 0) \right) = 0 \text{ мм}$$

Рассчитаем перемещения поршня до 720° и построим график перемещения $S_x = f(\varphi)$. Так как перемещение поршня циклично, график строится до 360° . Таблица с полными результатами вычислений, в целях удобства восприятия, вместе с графиками, сведена в Приложение В.

Рассчитаем скорость поршня по формуле:

$$V_x = \omega \cdot r \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)$$

$$V_{x1} = \omega \cdot r(\sin\varphi) \text{ – скорость первого порядка;}$$

$$V_{x2} = \omega \cdot r \left(\frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \text{ – скорость второго порядка.}$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$V_x = 607 \cdot 37,8 \cdot \left(\sin 0 + \frac{0,284}{2} \sin 2 \cdot 0 \right) = 0 \text{ м/с}$$

Рассчитаем скорость поршня до 720° и построим график скорости $V_x = f(\varphi)$. Так как скорость поршня циклична, график строится до 360° . Таблица с полными результатами вычислений, в целях удобства восприятия, вместе с графиками, сведена в Приложение В.

Выясним ускорение поршня, вычислив его по формуле:

$$j = \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

$$j_{п1} = \omega^2 \cdot r (\cos \varphi) - \text{ускорение первого порядка;}$$

$$j_{п2} = \omega^2 \cdot r (\lambda \cos 2\varphi) - \text{ускорение второго порядка.}$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$j = 607^2 \cdot 37,8 \cdot (\cos 0 + 0,284 \cdot \cos 2 \cdot 0) = 17,9 \text{ м}^2/\text{с}$$

Рассчитаем ускорение поршня до 720° и построим график ускорения $j = f(\varphi)$. Так как ускорения поршня цикличны, график строится до 360° . Таблица с полными результатами вычислений, в целях удобства восприятия, вместе с графиками, сведена в Приложение В.

По результатам расчета кинематики, можно увидеть, что по сравнению с базовым двигателем ВАЗ 21127, двигатель с модернизированным каталитическим нейтрализатором, по всем основным пунктам расчета, ничем не отличается от своего прототипа. Исходя из этого, можно сделать вывод, что модернизированный каталитический нейтрализатор с сотами, выполненными из фольги, оказывает крайне незначительное влияние на общую картину кинематики ДВС.

3.2 Динамический расчет

Определим силу давления газов рассчитав ее по формуле:

$$P_{\Gamma} = p_{\Gamma} \cdot F_{\Pi}$$

где: F_{Π} – площадь поршня.

$$P_{\Gamma} = (p_{\chi} - p_0) \cdot \frac{\pi \cdot d_{\Pi}^2}{4}$$

Величина давление p_{χ} берется с индикаторной диаграммы приведенной в Приложении Г, p_0 – атмосферное давление, d_{Π} – диаметр поршня.

При $\varphi = 0^\circ$:

$$P_{\Gamma} = (0,1166 - 0,1) \cdot \frac{3,14 \cdot 0,082^2}{4} = 0,088 \text{ Н}$$

Рассчитаем силы давления газов действующих на поршень до 720° и построим график давления $P_{\Gamma} = f(\varphi)$. Таблица с полными результатами вычислений, в целях удобства восприятия, вместе с графиками, сведена в Приложение Г.

К возвратно-поступательно движущимся массам относятся: поршень, поршневой палец, поршневые кольца, верхняя часть шатуна (0,275 массы шатуна).

Определим сумму инерции по формуле:

$$P_j = -m_j \cdot j$$

где: j – ускорение поршня, m_j – масса поршневой группы, равная:

$$m_j = m_{\Pi} + m_{\text{шп}}$$

Масса поршня:

$$m_{\Pi} = m'_{\Pi} \cdot F_{\Pi} = 100 \cdot 0,0053 = 0,53 \text{ кг}$$

удельную конструктивную массу поршня примем равной $m'_{\Pi} = 100 \text{ кг/м}^2$.

Масса шатуна:

$$m_{\text{Ш}} = m'_{\text{Ш}} \cdot F_{\Pi} = 130 \cdot 0,0053 = 0,686 \text{ кг}$$

удельную конструктивную массу шатуна примем равной $m'_{\text{Ш}} = 130 \text{ кг/м}^2$.

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$m_{\text{ШП}} = 0,275 \cdot m_{\text{Ш}} = 0,275 \cdot 0,686 = 0,188 \text{ кг}$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_{\Pi} + m_{\text{ШП}} = 0,53 + 0,188 = 0,716 \text{ кг}$$

Формулу суммарной силы инерции представляем в виде:

$$P_j = -m_j \cdot j = -m_j \cdot r(\cos\varphi + \lambda\cos2\varphi) \cdot \omega^2$$

$$P_j = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r\cos\varphi - m_j \cdot \lambda\cos2\varphi \cdot \omega^2$$

$$P_j = P_{j1} + P_{j2}$$

Сила инерции первого рода:

$$P_j = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r\cos\varphi = -m_j \cdot j_{\Pi1}$$

Сила инерции второго рода:

$$P_j = -m_j \cdot \lambda\cos2\varphi \cdot \omega^2 = -m_j \cdot j_{\Pi2}$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$P_{j1} = -m_j \cdot j_{\Pi1} = -0,716 \cdot 13,9 = -9,9 \text{ Н}$$

$$P_{j2} = -m_j \cdot j_{\Pi2} = -0,716 \cdot 3,9 = -2,8 \text{ Н}$$

$$P_j = P_{j1} + P_{j2} = -9,9 - 2,8 = -12,8 \text{ Н}$$

Рассчитаем силы инерции до 720° и построим график сил инерции $P_j = f(\varphi)$. Так как силы инерции цикличны, график строится до 360° . Таблица с полными результатами вычислений, в целях удобства восприятия, вместе с графиками, сведена в Приложение Г.

К вращающимся массам относятся кривошип и нижняя часть шатуна (0,725 массы шатуна).

Определим силу инерции по формуле:

$$P_r = -m_r \cdot \omega^2 \cdot r$$

где: m_r – масса вращающихся деталей.

$$m_r = m_k + m_{\text{шк}}$$

Масса неуравновешенных частей одного колена без противовесов находится по формуле:

$$m_k = m'_k \cdot F_n = 170 \cdot 0,0053 = 0,897 \text{ кг}$$

удельную конструктивную массу вала принимаем равной $m'_k = 170 \text{ кг/м}^2$.

Масса шатуна, на оси кривошипа:

$$m_{\text{шк}} = 0,725 \cdot m_{\text{ш}} = 0,725 \cdot 0,686 = 0,5 \text{ кг}$$

Масса вращающихся частей:

$$m_r = m_k + m_{\text{шк}} = 0,897 + 0,5 = 1,4 \text{ кг}$$

Силы инерции, создаваемые ими:

$$P_r = -m_r \cdot \omega^2 \cdot r = -1,4 \cdot 607^2 \cdot 0,0378 = -19459 \text{ Н}$$

Суммарная сила P_1 рассчитывается по формуле:

$$P_1 = P_r + P_j$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$P_1 = P_{\Gamma} + P_j = 0,088 - 12,8 = -12,7 \text{ Кн}$$

Рассчитаем суммарные силы в КШМ действующие на поршень до 720° и построим график $P_1 = f(\varphi)$. Таблица с полными результатами всех вычислений, в целях удобства восприятия, вместе с графиками, сведена в Приложение Г.

На поршневом пальце суммарная сила инерции P_1 раскладывается на две составляющие:

N – нормальная к поверхности цилиндра, прижимающая поршень к поверхности цилиндра, вызывает механические потери и износ цилиндропоршневой группы.

K – действует вдоль оси шатуна, передает усилие поршня на коленчатый вал, вызывает деформации сжатия и растяжения в шатунах.

Силу N , определим по формуле:

$$N = P_1 \cdot \operatorname{tg} \beta$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$N = P_1 \cdot \operatorname{tg} \beta = -12,7 \cdot 0 = 0 \text{ кН}$$

Проведем расчет до $\varphi = 720^\circ$. Результаты расчетов сводятся в приложение Г.

Силу K , определим по формуле:

$$K = \frac{P_1}{\cos \beta}$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$K = \frac{P_1}{\cos \beta} = \frac{-12,7}{1} = -12,7 \text{ кН}$$

Проведем расчет до $\varphi = 720^\circ$. Результаты расчетов сводятся в приложение Г.

Разложим силу K на две составляющие:

Z – радиальная сила, изгибающая шатунную шейку.

T – тангенциальная сила, изгибающая шатунную шейку, щеки коленчатого вала и дополнительно скручивает коренную шейку.

Определим силу Z , рассчитав ее по формуле:

$$Z = P_1 \cdot \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos\beta}$$

При $\varphi = 0^\circ$:

$$Z = -12,7 \cdot \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos\beta} = -12,7 \text{ кН}$$

Проведем расчет до $\varphi = 720^\circ$. Результаты расчетов сводятся в приложение В.

Определим силу T , рассчитав ее по формуле:

$$T = P_1 \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos\beta} = -12,7 \cdot 0 = 0 \text{ кН}$$

Проведем расчет до $\varphi = 720^\circ$. Результаты расчетов сводятся в приложение В. Все значения тригонометрических функций берутся из справочной литературы [1].

По результатам расчета динамики двигателя, можно увидеть, что по сравнению с базовым двигателем ВАЗ 21127, двигатель с модернизированным каталитическим нейтрализатором, по всем основным пунктам расчета, ничем не отличается от своего прототипа. Исходя из этого, можно сделать вывод, что модернизированный каталитический

нейтрализатор с сотами, выполненными из фольги, оказывает крайне незначительное влияние на общую картину динамики ДВС.

4 Специальная часть

Данная часть работы, рассматривает преимущества каталитического нейтрализатора, с применением сот, выполненных из нержавеющей фольги. Далее, будет рассчитана скорость прогрева конструкции такого типа и ее отличие от обычного катализатора, в котором применяются керамические соты.

4.1 Расчет прогрева модернизированного катализатора

Для начала расчета, нам понадобится ряд исходных данных, взятых из справочной литературы [10]. К исходным данным, в нашем расчете, относятся теплофизические характеристики материала, из которого выполнены соты катализатора, а именно: коэффициент теплопроводности (λ), коэффициент температуропроводности (a), плотность тела (ρ) и его удельная теплоемкость (c).

Так же, к исходным данным, относится и температуру окружающей среды катализатора (t_c), которая приравнивается к температуре отработанных газов двигателя, обтекающих соты катализатора с начала пуска двигателя. Конечная температура тела (t_2), равняется рабочей температуре катализатора, а именно $350\text{ }^\circ\text{C}$, начальную температуру тела (t_1), примем равной $0\text{ }^\circ\text{C}$. Форма блока сот катализатора, является максимально приближенной к форме цилиндра. Для упрощения расчетов, допустим, что блок сот имеет форму цилиндра. Так же, для упрощения расчетов, вычтем из цилиндра сотовые пустоты для прохода ОГ и представим его в виде сплошного тела. Чтобы, при таком допущении сохранить массу катализатора, уменьшим диаметр (D) цилиндра до $0,045$ метров.

Последнее, что потребуется для начала расчетов, это коэффициент теплопередачи (α). Так как выхлопные газы, подобно ветру, постоянно обдувают блок сот катализатора, примем значение α в диапазоне от 10 до

150, как при принудительной конвекции.

Приступим к расчету.

Определим площадь поверхности тела по формуле:

$$F = \pi \cdot D \cdot L + 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4}\right)$$

Определим объем тела по формуле:

$$V = L \cdot \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4}\right)$$

Найдем массу тела:

$$G = \rho \cdot V$$

Определим коэффициент формы тела:

$$K = \left(\left(2,405/\left(\frac{D}{L}\right)\right)^2 + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2\right)^{-1}$$

Темп нагрева определим по формуле:

$$m = a/K$$

Модифицированное число Био:

$$Bi = a \cdot K \cdot \frac{F}{\lambda \cdot V}$$

Определим отношение напора по поверхности к напору по объему:

$$\Psi = (1 + 1,44 \cdot Bi \cdot Bi^2)^{-0,5}$$

Рассчитаем относительный темп нагрева:

$$M = \Psi \cdot Bi$$

Расчетный темп нагрева определяется по формулам:

$$m_{a\lambda} = M \cdot m ;$$

$$m_{cp} = \Psi \cdot a \cdot \frac{F}{c \cdot \rho \cdot V};$$

$$\Delta = ABS\left(1 - \frac{m_{a\lambda}}{m_{cp}}\right) \cdot 100.$$

Время нагрева определяется по формуле:

$$t = \frac{LN(ABS(t_c - t_1)) - LN(ABS(t_c - t_2))}{m_{a\lambda}}$$

Данный расчет времени нагрева, проводится 3 раза, для трех различных

значений конечной температуры тела t_2 . Затем, расчет повторяется, но с использованием теплофизических характеристик сот, выполненных из фольги, а не из керамики.

Результаты расчетов времени нагрева, для катализатора, соты которого выполнены из керамики, сведены в таблицы Д1 – Д3, Приложения Д. Результаты расчетов времени нагрева, для катализатора, соты которого выполнены из фольги, сведены в таблицы Д4 – Д6, Приложения Д.

Результаты расчетов, наглядно отображены на рисунке 4.1. На рисунке 4.1, показан прогрев стандартного катализатора (сплошная линия) и прогрев модернизированного катализатора, с сотами, выполненными из нержавеющей фольги (пунктирная линия). Как мы можем видеть, по представленному на рисунке 4.1 графику, время прогрева катализатора, соты которого выполнены из фольги, заметно меньше.

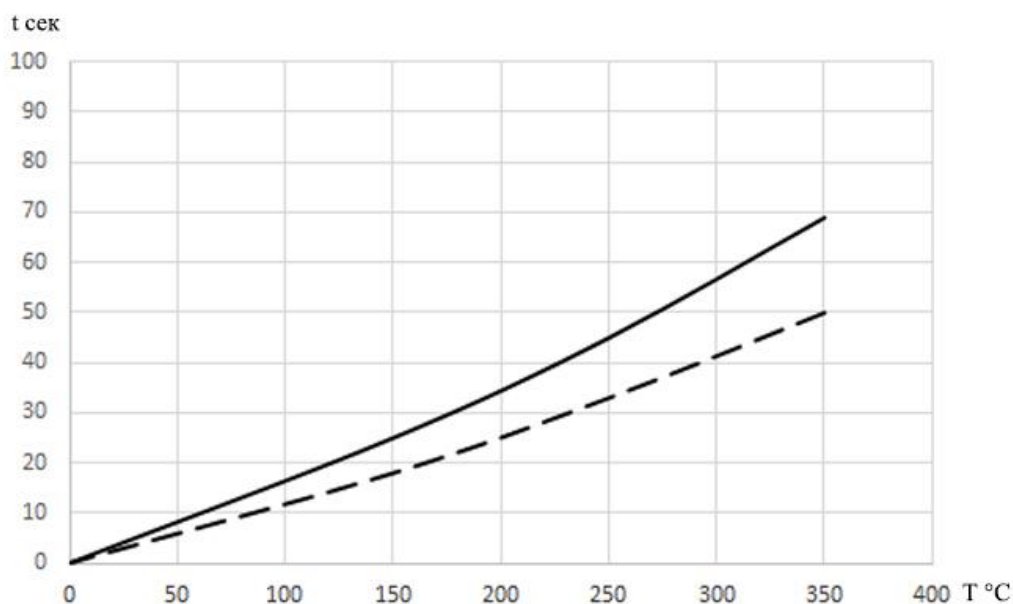


Рисунок 4.1 – Прогрев катализатора (керамические соты обозначены - , соты выполненные из фольги обозначены - - -)

5 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

Данная часть работы, посвящена вопросам уровня экологичности и безопасности двигателя, при его переходе на каталитический нейтрализатор, использующий соты, выполненные из фольги, а не из керамики, в качестве носителя для элементов, запускающих реакции преобразования вредных выбросов ОГ.

5.1 Оценка экологичности, по выбросам ОГ двигателя

Основным результатом модернизации двигателя ВАЗ являлась модернизация каталитического нейтрализатора отработанных газов, что позволило повысить экологичность и надежность двигателя. Разберем влияние модернизированного катализатора на двигатель подробнее.

Благодаря увеличению угла опережения зажигания, а, следовательно, и увеличению длины процесса сгорания, концентрация углеводородов (СН) в отработавших газах снижается. Это происходит, за счет большей длительности процесса сгорания топлива, что позволяет лучше догорать СН за фронтом пламени и в пристеночной области. Так же, благодаря более быстрому прогреву сот, катализатор разогревается до рабочей температуры быстрее и процессы по преобразованию СН начинаются раньше, что так же, положительно сказывается на экологичности двигателя. Таким образом, обеспечивается снижение токсичности ОГ по СН по сравнению с базовыми показателями двигателя.

Токсичность по угарному газу (СО), снижается в связи с большей полнотой сгорания топлива, за счет увеличения длительности процесса сгорания. Так же, благодаря более быстрому прогреву сот, катализатор разогревается до рабочей температуры быстрее и процессы по преобразованию СО, как и в предыдущем случае, начинаются раньше.

Снижение показателей выбросов оксидов азота (NO_x), так же

обеспечивается, за счет более быстрого прогрева сот катализатора до рабочей температуры, что позволяет начать преобразование NO_x раньше. По мимо этого, снижение выбросов NO_x происходит и за счет увеличения УОЗ, что понижает температуру горения рабочей смеси, а, следовательно, и снижает выбросы NO_x , которые, на прямую зависят от данной температуры.

Условий для образования сажи и других твердых частиц при модернизации не появляется, следовательно, токсичность по этим пунктам останется на прежнем уровне.

5.2 Безопасность и надежность модернизированного двигателя

В отличии от керамических сот катализатора, при разрушении, от сот, выполненных из фольги, не откалываются керамические частицы, обладающие высокой твердостью и способные полностью разрушить ДВС при их импульсном забрасывании в цилиндры двигателя. Это позволяет заявить о том, что вероятность столкнуться с дорогостоящим ремонтом ДВС снижается.

При разрушении сот из фольги, которое может произойти от их перегрева, соты уводит, и конструкция блока сот искажается, что затрудняет проход ОГ и снижает эффективность их нейтрализации. Данный дефект, появляющиеся при разрушении, не являются губительными для двигателя и позволяет ему сохранять свою работоспособность, что благоприятно сказывается на общей картине надежности двигателя.

В общем, на безопасность работы двигателя и всего транспортного средства, замена сот катализатора, не оказывает какого-либо заметного влияния.

6 Экономический раздел

Данный раздел, посвящен экономическому обоснованию модернизации каталитического нейтрализатора. Основной целью данного раздела, является ответ на вопрос: «Целесообразно ли вводить модернизации в двигатель, с экономической точки зрения?».

6.1 Экономическое обоснование работы

При внесении конструктивных изменений, описанных выше, двигатель ВАЗ 21127 прибавит в стоимости и станет выдавать меньшую мощность.

Как нам известно, при выборе автомобиля, потребителю прежде всего важна его стоимость, а так же технические характеристики транспортного средства, его комфорт и оснащение.

По результатам теплового расчета, можно предположить, что при установке нового каталитического нейтрализатора, мощность двигателя упадет примерно на 5 – 10% и станет менее 100 л.с. При этом, стоит помнить, что стоимость данного двигателя вырастет.

Такой расклад, является не очень хорошим для предприятия АО АвтоВАЗ, особенно для автомобиля LADA Granta. На данный момент, LADA Granta, в основном, оснащается двумя двигателями, это силовые агрегаты, выдающие мощность в 87 и 106 л.с. Двигатель, выдающий 106 л.с., является двигателем ВАЗ 21127, модернизация которого и описана в данной работе и мощность которого и будет снижена, в ходе внедрения нового каталитического нейтрализатора. В купе с увеличением стоимости, автомобиля с таким двигателем вряд ли будут пользоваться спросом, ведь разрыв в цене, по сравнению менее мощным мотором, станет ещё больше, а разрыв в мощности ещё меньше.

Для того, чтобы нейтрализовать такое, предположительно негативное влияние, на спрос данного двигателя, возможно прибегнуть к полному отказу

от выпуска менее мощного, восьмидесятисемисильного двигателя. Такое решение, на первый взгляд, может казаться не логичным, но оно будет вполне оправдано, при увеличении количества производства более дорогого ДВС.

Дело в том, что цена какого –либо товара, на каком-либо конкретном предприятии, сильно зависит от количества производства данного товара. Примерная зависимость цены стали марки 09Г2С, от количества ее производства, показана на рисунке 6.1. На графике, представленном на рисунке 6.1, мы отчетливо видим зависимость цены на сталь на предприятии ООО «НПК «Специальная металлургия» от количества ее производства.

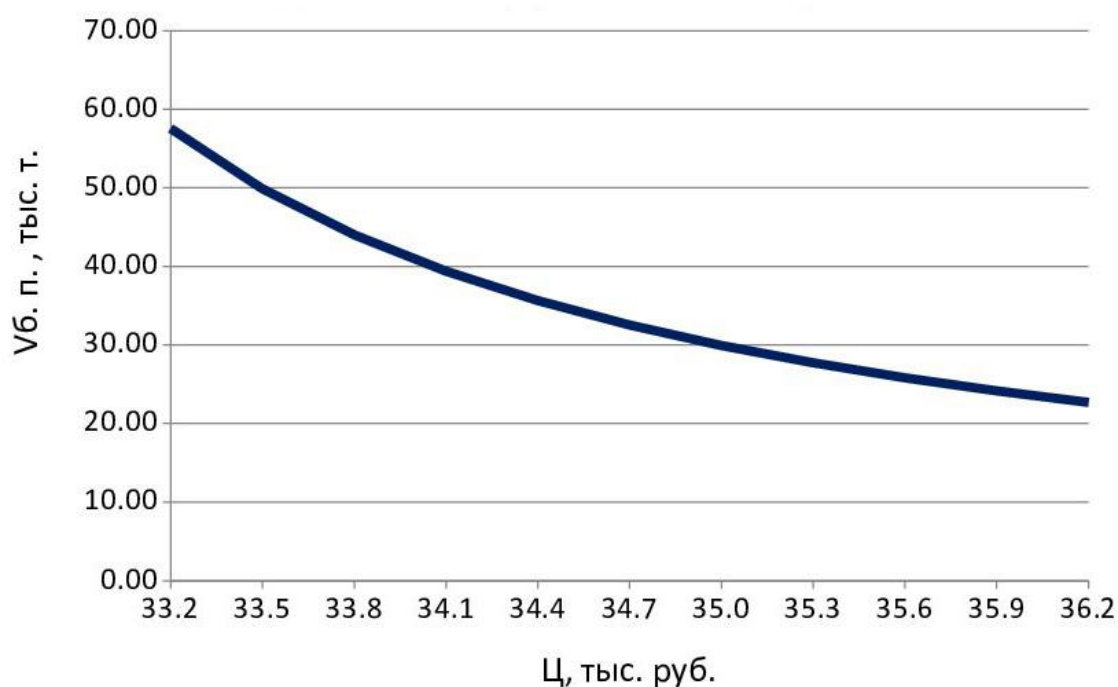


Рисунок 6.1 – Зависимость цены от объема производства

И хотя на графике показана цена на сталь, а не на готовый автомобиль или двигатель, зависимость цены какого-либо товара, напрямую зависит от объема его производства, это аксиома экономики. Это значит, что при отказе от производства менее мощного двигателя, ради увеличения производства более мощного двигателя, произойдет снижение цены, на более мощный и дорогой ДВС.

Такой экономический ход, может себя оправдать, так как потребителю больше не нужно будет выбирать между более дешевым и слабым двигателем и более мощным, и дорогим. В такой ситуации, потребитель изначально будет немного переплачивать, но уже, даже на автомобиле в базовой комплектации, будет иметь современный и экологичный двигатель.

Так же, стоит отметить, что при снижении мощности, за счет изменения каталитического нейтрализатора, двигатель ВАЗ 21127 начнет подпадать под более выгодную налоговую ставку на территории РФ, что так же подстегнет потребителя к его покупке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатами представленной бакалаврской работы стали выполненные расчеты: тепловой, кинематический, динамический. В ходе проведения данных расчетов, были получены основные параметры двигателя, необходимые для его проектирования.

Полученные, в ходе расчетов, числовые значения, оказались близки к характеристикам двигателя ВАЗ 21127, взятого для основы расчетов. В процессе выполнения работы, были получены мощностные характеристики двигателя, которые оказались схожи с характеристиками двигателя ВАЗ 21127.

По результатам расчетов, были построены индикаторные диаграммы двигателя, диаграмма ВСХ, диаграмма перемещения поршня, диаграмма сил инерции действующих на поршень и диаграммы прочих сил, действующих на поршень рассчитанного двигателя.

В результате модернизации были получены следующие изменения в характеристиках двигателя:

- время прогрева каталитического нейтрализатора до рабочей температуры снизилось примерно в 8 раз;
- максимальная мощность двигателя снизилась примерно на 10%;
- снижение содержания в отработавших газах: CH , CO и NO_x .

В разделе «Безопасность и экологичность бакалаврской работы» была проведена оценка токсичности и надежности двигателя с модернизированным каталитическим нейтрализатором. Двигатель, показал общее повышение экологических характеристик и уровня надежности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
2. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / Вибе И.И. // М. Машиностроение, 1971. - с.282.
3. Корчагин В. А. Тепловой расчет автомобильных двигателей [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Корчагин В. А., Ляпин С. А., Коновалова В. А. // Липецкий государственный технический университет - Липецк: ЛГТУ: ЭБС АСВ, 2016. - 82 с.
4. Жегалин О.И. Каталитические нейтрализаторы транспортных машин / О.И. Жегалин, Н.А. Китросский, В.И. Панчишный и др.- М.: Машиностроение, 1979 - 80 с.
5. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов // Второе издание, перераб. — М.: Машиностроение, 1981. — 160 с.
6. Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] / Луканин В.Н. // Кн. 1. Теория рабочих процессов. – М.: Высшая школа, 1995. – с.452.
7. Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст] / Луканин В.Н. // Кн. 2. Динамика и конструирование. – М.: Высшая школа, 1995. – с. 428.
8. Чайнов Н.Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Чайнов Н.Д., Иващенко Н. А., Краснокутский А. Н., Мягков Л. Л. // Учебник - М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
9. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» /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.
- 10.Мищенко К.П. Краткий справочник физико-химических величин / К.П. Мищенко, А.А. Равделя // Л.: Химия, 1974. – с. 200
 - 11.Verhelst, S. A critical review of experimental research on hydrogen fueled SI engines / S. Verhelst, R. Sierens, S. Verstraeten // SAE. - 2006. - №2006-01-0430.
 - 12.Beran, R., Baufeld, T., Philipp, H., Kim, J. T., Kim, J. S.: Entwicklung des H17/24G - Dem ersten koreanischen Gasmotor. in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007
 - 13.Bonnevie-Svendsen, A., Boulouchos, K., Lämmle, Ch., Vlakos, I.: Double-Vibe-Model for heat release in lean burn gas engines with prechamber ignition. in: 6. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau-Roßlau. 2009
 - 14.Rory R, Davis: "The Ball Piston Engine: A New Concept in High Efficient Power Machines", Convergence Eng. Corporation.
 - 15.REGI. Us. Inc.: Rand-Cam Engine, US Patent No:0746071, January 10th 2001
 - 16.Dyna-Cam Engine Corporation: "Two-cycle swash plate internal combustion engine", USA Patent No:7137366, November 21st 2006
 - 17.Renegar, David, C.: "The Quasiturbine", USA Patent No:6629065 September 12th 2003
 - 18.Akmandor, i.S., Ersöz, N.: Novel Thermodynamic Cycle, PTC / WO / 2004 / 022919 AI. (March 18th 2004)
 - 19.Haywood, R, W.: "A Critical Review of Theorems of Thermodynamics Availability" J. Mech. Eng. Sci. vol.16 MIT Press, 1970.
 - 20.Clarke, J. M.: "Thermodynamic Cycle Requirements for Very High Rotational Efficiencies" J. Mech. Eng. Sci. 1974
 - 21.Stephen R. Turns: "An Introduction to Combustion" McGraw-Hill Series in Mech. Eng. 1996.
 - 22.Baumeister T.: "Mark's Standard Handbook for M. Engineer" McGraw- Hill Inc., New York, 1966.

23. Смоленский, В.В. Автомобильные двигатели: курс лекций [Текст]/В.В. Смоленский. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 183 с.
24. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления [Текст]. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
25. Дзюбан А.М. Учебно-методическое пособие к выполнению выпускной квалификационной работы бакалавров / А.М. Дзюбан, Д.А. Павлов, В.В. Смоленский - ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» 2018 – 51 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ 21127 при $n = 840 \text{ мин}^{-1}$

С	φ_1	x_{1-2}	ΔX_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	$T_{\text{предполаг}}$	T_{1-2}	T_2	σ_y	$\psi(\varphi'y)$	P_2	μ_1	μ_{1-2}	Вс.т.
343	0	0	0			732,3361		732,3361	0,055834	1,279172	1,835561	1		
344	1	0,000413	0,000827	1,368183	6,432083	672,4275	702,3818	741,6323	0,049525	1,247627	1,905899	1,000042	1,000021	0,11446
345	2	0,001953	0,003905	1,372188	6,373632	681,8821	677,1548	760,3877	0,043583	1,217917	2,002006	1,000239	1,000141	0,111637
346	3	0,004179	0,008359	1,370369	6,400023	693,4005	687,6413	792,5848	0,038011	1,190055	2,136296	1,000662	1,000451	0,108979
347	4	0,006874	0,013749	1,368182	6,432093	707,9603	700,6804	840,9094	0,032811	1,164055	2,318468	1,001357	1,00101	0,106486
348	5	0,009889	0,019778	1,365532	6,471474	726,4986	717,2295	907,0003	0,027986	1,139929	2,555775	1,002357	1,001857	0,104159
349	6	0,013089	0,026178	1,362363	6,519325	749,8894	738,194	991,505	0,023538	1,11769	2,852791	1,003681	1,003019	0,102001
350	7	0,016339	0,032677	1,358666	6,576215	778,9185	764,404	1094,096	0,01947	1,097348	3,211082	1,005334	1,004508	0,100011
351	8	0,019505	0,039009	1,354481	6,64205	814,2592	796,5889	1213,516	0,015783	1,078913	3,62896	1,007306	1,00632	0,09819
352	9	0,022456	0,044912	1,34989	6,716078	856,4508	835,355	1347,674	0,012479	1,062394	4,101447	1,009578	1,008442	0,096541
353	10	0,02507	0,05014	1,345008	6,79697	905,8826	881,1667	1493,798	0,00956	1,0478	4,620462	1,012113	1,010845	0,095063
354	11	0,027241	0,054481	1,339964	6,882974	962,7823	934,3324	1648,619	0,007027	1,035137	5,175227	1,014868	1,013491	0,093757
355	12	0,02888	0,057761	1,33489	6,972107	1027,21	994,9963	1808,581	0,004882	1,024412	5,752871	1,017789	1,016329	0,092624
356	13	0,029929	0,059858	1,329905	7,06235	1099,058	1063,134	1970,045	0,003126	1,015629	6,339153	1,020816	1,019303	0,091664
357	14	0,030356	0,060711	1,325107	7,151815	1178,048	1138,553	2129,485	0,001759	1,008794	6,919256	1,023887	1,022351	0,090878
358	15	0,030161	0,060322	1,320571	7,238869	1263,739	1220,893	2283,647	0,000782	1,003909	7,478591	1,026937	1,025412	0,090267
359	16	0,029375	0,058751	1,316346	7,322199	1355,531	1309,635	2429,678	0,000195	1,000977	8,003556	1,029908	1,028423	0,08983
360	17	0,028058	0,056117	1,312459	7,400836	1452,674	1404,102	2565,219	0	1	8,482189	1,032746	1,031327	0,089567
361	18	0,026291	0,052583	1,308921	7,47414	1554,281	1503,478	2688,462	0,000195	1,000977	8,904693	1,035405	1,034075	0,08948
362	19	0,024172	0,048345	1,305728	7,541761	1659,341	1606,811	2798,164	0,000782	1,003909	9,263786	1,03785	1,036627	0,089567
363	20	0,021809	0,043618	1,302866	7,603584	1766,74	1713,04	2893,64	0,001759	1,008794	9,554872	1,040056	1,038953	0,08983
364	21	0,01931	0,03862	1,300315	7,65968	1875,288	1821,014	2974,72	0,003126	1,015629	9,776021	1,042009	1,041032	0,090267

365	22	0,016778	0,033557	1,298051	7,710251	1983,743	1929,515	3041,691	0,004882	1,024412	9,927788	1,043706	1,042857	0,090878
366	23	0,014306	0,028612	1,296051	7,755586	2090,847	2037,295	3095,218	0,007027	1,035137	10,01289	1,045152	1,044429	0,091664
367	24	0,011969	0,023938	1,29429	7,79602	2195,357	2143,102	3136,257	0,00956	1,0478	10,03579	1,046363	1,045758	0,092624
368	25	0,009824	0,019648	1,292744	7,831911	2296,08	2245,719	3165,972	0,012479	1,062394	10,00223	1,047357	1,04686	0,093757
369	26	0,00791	0,015821	1,291392	7,863613	2391,906	2343,993	3185,641	0,015783	1,078913	9,918773	1,048157	1,047757	0,095063
370	27	0,006247	0,012495	1,290214	7,891468	2481,84	2436,873	3196,589	0,01947	1,097348	9,792345	1,048789	1,048473	0,096541
371	28	0,004838	0,009677	1,289193	7,915796	2565,025	2523,432	3200,117	0,023538	1,11769	9,629879	1,049278	1,049033	0,09819
372	29	0,003674	0,007348	1,288314	7,936888	2640,767	2602,896	3197,451	0,027986	1,139929	9,438014	1,049649	1,049464	0,100011
373	30	0,002735	0,00547	1,287562	7,955014	2708,548	2674,657	3189,713	0,032811	1,164055	9,222884	1,049926	1,049788	0,102001
374	31	0,001995	0,00399	1,286927	7,970418	2768,029	2738,288	3177,889	0,038011	1,190055	8,989991	1,050128	1,050027	0,104159
375	32	0,001426	0,002852	1,286397	7,983324	2819,058	2793,543	3162,832	0,043583	1,217917	8,744148	1,050272	1,0502	0,106486
376	33	0,000999	0,001998	1,285962	7,993938	2861,655	2840,356	3145,254	0,049525	1,247627	8,489469	1,050373	1,050323	0,108979
377	34	0,000685	0,00137	1,285614	8,002455	2896,005	2878,83	3125,739	0,055834	1,279172	8,229414	1,050442	1,050408	0,111637
378	35	0,00046	0,00092	1,285345	8,009054	2922,435	2909,22	3104,759	0,062507	1,312534	7,966843	1,050489	1,050466	0,11446
379	36	0,000303	0,000605	1,285148	8,013908	2941,395	2931,915	3082,687	0,06954	1,347699	7,704091	1,05052	1,050504	0,117445
380	37	0,000195	0,00039	1,285068	8,015872	2941,395	2941,395	3059,809	0,07693	1,384649	7,443033	1,050539	1,050529	0,120592
381	38	0,000123	0,000245	1,285071	8,015798	2941,395	2941,395	3036,35	0,084673	1,423366	7,185171	1,050552	1,050546	0,123898
382	39	7,56E-05	0,000151	1,285073	8,015749	2941,395	2941,395	3012,489	0,092766	1,463832	6,93171	1,050559	1,050556	0,127362
383	40	4,56E-05	9,12E-05	1,285074	8,015718	2941,395	2941,395	2988,367	0,101205	1,506026	6,683593	1,050564	1,050562	0,130983
384	41	2,69E-05	5,37E-05	1,285075	8,015699	2941,395	2941,395	2964,093	0,109986	1,549929	6,441548	1,050567	1,050565	0,134759
385	42	1,55E-05	3,1E-05	1,285075	8,015687	2941,395	2941,395	2939,757	0,119104	1,595519	6,206125	1,050568	1,050567	0,138687
386	43	8,72E-06	1,74E-05	1,285076	8,015681	2941,395	2941,395	2915,429	0,128555	1,642774	5,977729	1,050569	1,050569	0,142767
387	44	4,8E-06	9,6E-06	1,285076	8,015676	2941,395	2941,395	2891,168	0,138334	1,691671	5,756642	1,05057	1,050569	0,146995
388	45	2,58E-06	5,16E-06	1,285076	8,015674	2941,395	2941,395	2867,023	0,148437	1,742187	5,543045	1,05057	1,05057	0,15137
389	46	1,36E-06	2,71E-06	1,285076	8,015673	2941,395	2941,395	2843,036	0,158859	1,794297	5,337034	1,05057	1,05057	0,15589
390	47	6,96E-07	1,39E-06	1,285076	8,015672	2941,395	2941,395	2819,242	0,169596	1,847978	5,138635	1,05057	1,05057	0,160553

391	48	3,48E-07	6,97E-07	1,285076	8,015672	2941,395	2941,395	2795,672	0,18064	1,903202	4,947817	1,05057	1,05057	0,165357
392	49	1,7E-07	3,41E-07	1,285076	8,015672	2941,395	2941,395	2772,352	0,191989	1,959943	4,764498	1,05057	1,05057	0,170298
393	50	8,13E-08	1,63E-07	1,285076	8,015672	2941,395	2941,395	2749,305	0,203635	2,018175	4,588559	1,05057	1,05057	0,175375

Таблица А2 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ 21127 при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$

С	φ_1	x_{1-2}	ΔX_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	$T_{\text{предполаг}}$	T_{1-2}	T_2	σ	$\psi(\varphi'2)$	P_2	μ_1	μ_{1-2}	Вс.т.
340	0	0	0			711,0095		711,0095	0,07693	1,384649	1,643582	1		
341	1	0,00013	0,000261	1,369878	6,40719	672,4275	691,7185	718,9819	0,06954	1,347699	1,70759	1,000013	1,000007	0,124107
342	2	0,000693	0,001387	1,37224	6,372884	681,8821	677,1548	730,4864	0,062507	1,312534	1,781469	1,000083	1,000048	0,120795
343	3	0,001594	0,003189	1,370475	6,398473	693,4005	687,6413	747,5234	0,055834	1,279172	1,870781	1,000245	1,000164	0,117643
344	4	0,002765	0,00553	1,368351	6,4296	707,9603	700,6804	771,7083	0,049525	1,247627	1,980575	1,000525	1,000385	0,114653
345	5	0,004161	0,008322	1,365768	6,467947	726,4986	717,2295	804,3212	0,043583	1,217917	2,115373	1,000946	1,000736	0,111825
346	6	0,005744	0,011487	1,362666	6,514721	749,8894	738,194	846,322	0,038011	1,190055	2,279089	1,001528	1,001237	0,109163
347	7	0,007473	0,014946	1,359032	6,57054	778,9185	764,404	898,3413	0,032811	1,164055	2,474862	1,002285	1,001906	0,106665
348	8	0,009309	0,018618	1,354902	6,635365	814,2592	796,5889	960,6711	0,027986	1,139929	2,70488	1,003228	1,002756	0,104335
349	9	0,011208	0,022416	1,350355	6,708503	856,4508	835,355	1033,265	0,023538	1,11769	2,970238	1,004363	1,003795	0,102172
350	10	0,013124	0,026248	1,345501	6,788688	905,8826	881,1667	1115,751	0,01947	1,097348	3,27082	1,005692	1,005027	0,100179
351	11	0,01501	0,03002	1,34047	6,874234	962,7823	934,3324	1207,458	0,015783	1,078913	3,605242	1,007212	1,006452	0,098356
352	12	0,016819	0,033637	1,335389	6,963216	1027,21	994,9963	1307,451	0,012479	1,062394	3,970849	1,008915	1,008063	0,096704
353	13	0,018502	0,037004	1,330379	7,053662	1099,058	1063,134	1414,571	0,00956	1,0478	4,363749	1,010789	1,009852	0,095223
354	14	0,020016	0,040032	1,325536	7,143712	1178,048	1138,553	1527,48	0,007027	1,035137	4,778912	1,012816	1,011802	0,093915
355	15	0,02132	0,042641	1,320938	7,231735	1263,739	1220,893	1644,706	0,004882	1,024412	5,210299	1,014975	1,013895	0,09278
356	16	0,02238	0,044759	1,316636	7,316396	1355,531	1309,635	1764,689	0,003126	1,015629	5,651043	1,017241	1,016108	0,091819
357	17	0,023166	0,046333	1,312663	7,396673	1452,674	1404,102	1885,824	0,001759	1,008794	6,093671	1,019588	1,018415	0,091031
358	18	0,023661	0,047322	1,309031	7,471848	1554,281	1503,478	2006,507	0,000782	1,003909	6,530351	1,021984	1,020786	0,090419
359	19	0,023853	0,047706	1,305741	7,541476	1659,341	1606,811	2125,176	0,000195	1,000977	6,953178	1,024399	1,023192	0,089981
360	20	0,023742	0,047484	1,302785	7,60534	1766,74	1713,04	2240,353	0	1	7,354461	1,026804	1,025602	0,089718
361	21	0,023337	0,046675	1,300147	7,663403	1875,288	1821,014	2350,678	0,000195	1,000977	7,727014	1,029167	1,027986	0,089631

362	22	0,022657	0,045313	1,297806	7,715773	1983,743	1929,515	2454,946	0,000782	1,003909	8,064418	1,031462	1,030314	0,089718
363	23	0,021727	0,043453	1,295742	7,762655	2090,847	2037,295	2552,127	0,001759	1,008794	8,361258	1,033662	1,032562	0,089981
364	24	0,020581	0,041162	1,293931	7,804327	2195,357	2143,102	2641,39	0,003126	1,015629	8,613294	1,035746	1,034704	0,090419
365	25	0,019258	0,038516	1,29235	7,841111	2296,08	2245,719	2722,113	0,004882	1,024412	8,817581	1,037697	1,036721	0,091031
366	26	0,017801	0,035602	1,290979	7,873352	2391,906	2343,993	2793,887	0,007027	1,035137	8,972515	1,039499	1,038598	0,091819
367	27	0,016252	0,032505	1,289796	7,901403	2481,84	2436,873	2856,511	0,00956	1,0478	9,077813	1,041145	1,040322	0,09278
368	28	0,014656	0,029313	1,288783	7,925615	2565,025	2523,432	2909,984	0,012479	1,062394	9,134429	1,042629	1,041887	0,093915
369	29	0,013053	0,026107	1,287922	7,946327	2640,767	2602,896	2954,483	0,015783	1,078913	9,144418	1,043951	1,04329	0,095223
370	30	0,011481	0,022962	1,287197	7,963862	2708,548	2674,657	2990,344	0,01947	1,097348	9,110762	1,045114	1,044533	0,096704
371	31	0,009971	0,019942	1,286594	7,978523	2768,029	2738,288	3018,034	0,023538	1,11769	9,037163	1,046124	1,045619	0,098356
372	32	0,00855	0,0171	1,286099	7,990589	2819,058	2793,543	3038,125	0,027986	1,139929	8,927839	1,04699	1,046557	0,100179
373	33	0,007237	0,014475	1,285701	8,00032	2861,655	2840,356	3051,259	0,032811	1,164055	8,787309	1,047723	1,047356	0,102172
374	34	0,006047	0,012094	1,28539	8,007953	2896,005	2878,83	3058,128	0,038011	1,190055	8,620207	1,048335	1,048029	0,104335
375	35	0,004987	0,009973	1,285156	8,013704	2922,435	2909,22	3059,441	0,043583	1,217917	8,431112	1,04884	1,048588	0,106665
376	36	0,004058	0,008115	1,284991	8,017771	2941,395	2931,915	3055,903	0,049525	1,247627	8,22441	1,049251	1,049046	0,109163
377	37	0,003258	0,006516	1,284887	8,020336	2953,43	2947,413	3048,196	0,055834	1,279172	8,004193	1,049581	1,049416	0,111825
378	38	0,00258	0,00516	1,284837	8,021564	2959,152	2956,291	3036,963	0,062507	1,312534	7,774182	1,049842	1,049712	0,114653
379	39	0,002016	0,004031	1,284835	8,021608	2959,219	2959,185	3022,796	0,06954	1,347699	7,537685	1,050046	1,049944	0,117643
380	40	0,001553	0,003106	1,284876	8,020607	2954,304	2956,761	3006,23	0,07693	1,384649	7,297587	1,050204	1,050125	0,120795
381	41	0,00118	0,002359	1,284953	8,018691	2945,077	2949,691	2987,737	0,084673	1,423366	7,056344	1,050323	1,050263	0,124107
382	42	0,000883	0,001767	1,285064	8,015977	2932,185	2938,631	2967,73	0,092766	1,463832	6,816012	1,050413	1,050368	0,127577
383	43	0,000652	0,001304	1,285202	8,012572	2916,234	2924,21	2946,559	0,101205	1,506026	6,578273	1,050479	1,050446	0,131204
384	44	0,000474	0,000949	1,285365	8,008576	2897,782	2907,008	2924,521	0,109986	1,549929	6,344478	1,050527	1,050503	0,134986
385	45	0,00034	0,00068	1,285548	8,004075	2877,329	2887,555	2901,863	0,119104	1,595519	6,115683	1,050561	1,050544	0,138921
386	46	0,00024	0,00048	1,285749	7,99915	2855,316	2866,323	2878,785	0,128555	1,642774	5,89269	1,050585	1,050573	0,143007
387	47	0,000167	0,000334	1,285965	7,993869	2832,124	2843,72	2855,451	0,138334	1,691671	5,676093	1,050602	1,050594	0,147243
388	48	0,000114	0,000229	1,286193	7,988295	2808,075	2820,1	2831,992	0,148437	1,742187	5,466304	1,050614	1,050608	0,151625
389	49	7,72E-05	0,000154	1,286431	7,982479	2783,437	2795,756	2808,512	0,158859	1,794297	5,263593	1,050622	1,050618	0,156153
390	50	5,13E-05	0,000103	1,286678	7,976467	2758,432	2770,935	2785,093	0,169596	1,847978	5,068112	1,050627	1,050624	0,160824

Таблица А3 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ 21127 при $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$

С	φ_1	x_{1-2}	ΔX_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	$T_{\text{предполаг}}$	T_{1-2}	T_2	σ	$\psi(\varphi^2)$	P_2	μ_1	μ_{1-2}	В.с.т.
335	0	0	0			675,8507		675,8507	0,119104	1,595519	1,318501	1		
336	1	3,83E-05	7,66E-05	1,372773	6,365193	672,4275	674,1391	683,4548	0,109986	1,549929	1,372558	1,000004	1,000002	0,147056
337	2	0,00023	0,00046	1,372259	6,37261	681,8821	677,1548	692,3599	0,101205	1,506026	1,430994	1,000027	1,000016	0,142854
338	3	0,00057	0,00114	1,370517	6,397859	693,4005	687,6413	703,513	0,092766	1,463832	1,496018	1,000085	1,000056	0,138807
339	4	0,001041	0,002082	1,368422	6,428555	707,9603	700,6804	717,7554	0,084673	1,423366	1,569825	1,00019	1,000137	0,134918
340	5	0,001633	0,003267	1,365872	6,466392	726,4986	717,2295	735,8322	0,07693	1,384649	1,654585	1,000355	1,000273	0,131189
341	6	0,002337	0,004674	1,362806	6,512588	749,8894	738,194	758,3927	0,06954	1,347699	1,752421	1,000592	1,000474	0,12762
342	7	0,003143	0,006285	1,35921	6,567772	778,9185	764,404	785,9835	0,062507	1,312534	1,86535	1,00091	1,000751	0,124215
343	8	0,004041	0,008081	1,355119	6,631917	814,2592	796,5889	819,0416	0,055834	1,279172	1,995227	1,001318	1,001114	0,120974
344	9	0,00502	0,01004	1,35061	6,704343	856,4508	835,355	857,8897	0,049525	1,247627	2,143683	1,001826	1,001572	0,117899
345	10	0,006068	0,012136	1,345793	6,783808	905,8826	881,1667	902,735	0,043583	1,217917	2,312063	1,00244	1,002133	0,114991
346	11	0,007172	0,014343	1,340794	6,868646	962,7823	934,3324	953,6716	0,038011	1,190055	2,501376	1,003165	1,002803	0,112253
347	12	0,008316	0,016632	1,335741	6,956965	1027,21	994,9963	1010,685	0,032811	1,164055	2,712244	1,004006	1,003586	0,109685
348	13	0,009485	0,018969	1,330752	7,046823	1099,058	1063,134	1073,658	0,027986	1,139929	2,944855	1,004966	1,004486	0,107289
349	14	0,01066	0,021321	1,325924	7,136398	1178,048	1138,553	1142,376	0,023538	1,11769	3,198924	1,006044	1,005505	0,105065
350	15	0,011826	0,023651	1,321332	7,224092	1263,739	1220,893	1216,532	0,01947	1,097348	3,473651	1,00724	1,006642	0,103015
351	16	0,012961	0,025923	1,317028	7,308601	1355,531	1309,635	1295,731	0,015783	1,078913	3,767695	1,008551	1,007896	0,10114
352	17	0,014049	0,028098	1,313042	7,388927	1452,674	1404,102	1379,494	0,012479	1,062394	4,079149	1,009972	1,009262	0,099441
353	18	0,01507	0,03014	1,309388	7,464372	1554,281	1503,478	1467,264	0,00956	1,0478	4,405537	1,011497	1,010735	0,097919
354	19	0,016007	0,032013	1,306068	7,534495	1659,341	1606,811	1558,416	0,007027	1,035137	4,74383	1,013116	1,012306	0,096574
355	20	0,016842	0,033683	1,303073	7,599076	1766,74	1713,04	1652,255	0,004882	1,024412	5,090476	1,014819	1,013968	0,095406
356	21	0,01756	0,03512	1,300388	7,658063	1875,288	1821,014	1748,039	0,003126	1,015629	5,441469	1,016596	1,015707	0,094418
357	22	0,018149	0,036297	1,297994	7,711537	1983,743	1929,515	1844,979	0,001759	1,008794	5,792429	1,018431	1,017513	0,093608
358	23	0,018596	0,037193	1,295872	7,759671	2090,847	2037,295	1942,26	0,000782	1,003909	6,138711	1,020312	1,019372	0,092978
359	24	0,018896	0,037791	1,294001	7,8027	2195,357	2143,102	2039,053	0,000195	1,000977	6,475535	1,022224	1,021268	0,092528
360	25	0,019041	0,038081	1,292359	7,840899	2296,08	2245,719	2134,532	0	1	6,798125	1,02415	1,023187	0,092258
361	26	0,01903	0,03806	1,290928	7,874564	2391,906	2343,993	2227,887	0,000195	1,000977	7,101858	1,026075	1,025112	0,092168

362	27	0,018865	0,03773	1,289687	7,904002	2481,84	2436,873	2318,346	0,000782	1,003909	7,382409	1,027983	1,027029	0,092258
363	28	0,018551	0,037101	1,28862	7,929517	2565,025	2523,432	2405,184	0,001759	1,008794	7,635887	1,029859	1,028921	0,092528
364	29	0,018094	0,036188	1,287711	7,95141	2640,767	2602,896	2487,739	0,003126	1,015629	7,858957	1,031689	1,030774	0,092978
365	30	0,017506	0,035013	1,286945	7,969971	2708,548	2674,657	2565,428	0,004882	1,024412	8,048936	1,03346	1,032575	0,093608
366	31	0,016801	0,033602	1,286308	7,985478	2768,029	2738,288	2637,749	0,007027	1,035137	8,203857	1,03516	1,03431	0,094418
367	32	0,015993	0,031986	1,285788	7,998197	2819,058	2793,543	2704,298	0,00956	1,0478	8,322512	1,036777	1,035968	0,095406
368	33	0,0151	0,0302	1,285373	8,00838	2861,655	2840,356	2764,764	0,012479	1,062394	8,404451	1,038305	1,037541	0,096574
369	34	0,01414	0,02828	1,285052	8,016267	2896,005	2878,83	2818,939	0,015783	1,078913	8,449962	1,039735	1,03902	0,097919
370	35	0,013131	0,026262	1,284816	8,022086	2922,435	2909,22	2866,711	0,01947	1,097348	8,460018	1,041063	1,040399	0,099441
371	36	0,012093	0,024185	1,284655	8,02605	2941,395	2931,915	2908,066	0,023538	1,11769	8,436198	1,042286	1,041675	0,10114
372	37	0,011043	0,022085	1,284561	8,028363	2953,43	2947,413	2943,078	0,027986	1,139929	8,380603	1,043403	1,042845	0,103015
373	38	0,009998	0,019996	1,284527	8,029215	2959,152	2956,291	2971,903	0,032811	1,164055	8,295749	1,044415	1,043909	0,105065
374	39	0,008975	0,01795	1,284544	8,028786	2959,219	2959,185	2994,772	0,038011	1,190055	8,184461	1,045322	1,044869	0,107289
375	40	0,007986	0,015973	1,284607	8,027241	2954,304	2956,761	3011,975	0,043583	1,217917	8,049769	1,04613	1,045726	0,109685
376	41	0,007044	0,014089	1,284708	8,024734	2945,077	2949,691	3023,855	0,049525	1,247627	7,894806	1,046843	1,046487	0,112253
377	42	0,006159	0,012317	1,284843	8,021407	2932,185	2938,631	3030,794	0,055834	1,279172	7,722716	1,047466	1,047154	0,114991
378	43	0,005336	0,010672	1,285006	8,017389	2916,234	2924,21	3033,201	0,062507	1,312534	7,536574	1,048005	1,047736	0,117899
379	44	0,004581	0,009162	1,285193	8,012793	2897,782	2907,008	3031,5	0,06954	1,347699	7,339322	1,048469	1,048237	0,120974
380	45	0,003897	0,007794	1,285399	8,007723	2877,329	2887,555	3026,123	0,07693	1,384649	7,133715	1,048863	1,048666	0,124215
381	46	0,003284	0,006568	1,285622	8,002267	2855,316	2866,323	3017,497	0,084673	1,423366	6,922284	1,049195	1,049029	0,12762
382	47	0,002742	0,005484	1,285857	7,996502	2832,124	2843,72	3006,037	0,092766	1,463832	6,707312	1,049473	1,049334	0,131189
383	48	0,002267	0,004534	1,286103	7,990492	2808,075	2820,1	2992,139	0,101205	1,506026	6,490819	1,049702	1,049587	0,134918
384	49	0,001857	0,003713	1,286357	7,984292	2783,437	2795,756	2976,176	0,109986	1,549929	6,274562	1,04989	1,049796	0,138807
385	50	0,001506	0,003011	1,286617	7,977946	2758,432	2770,935	2958,493	0,119104	1,595519	6,060041	1,050042	1,049966	0,142854
386	51	0,001209	0,002418	1,286883	7,97149	2733,236	2745,834	2939,403	0,128555	1,642774	5,848508	1,050164	1,050103	0,147056
387	52	0,000961	0,001922	1,287152	7,964952	2707,993	2720,614	2919,188	0,138334	1,691671	5,640989	1,050261	1,050213	0,151411
388	53	0,000756	0,001512	1,287424	7,958355	2682,813	2695,403	2898,098	0,148437	1,742187	5,438302	1,050338	1,0503	0,155918
389	54	0,000589	0,001178	1,287699	7,951716	2657,785	2670,299	2876,352	0,158859	1,794297	5,241079	1,050398	1,050368	0,160574
390	55	0,000454	0,000908	1,287975	7,945048	2632,976	2645,381	2854,139	0,169596	1,847978	5,049789	1,050443	1,050421	0,165377
391	56	0,000346	0,000693	1,288252	7,938363	2608,438	2620,707	2831,618	0,18064	1,903202	4,864761	1,050478	1,050461	0,170324

392	57	0,000261	0,000523	1,288531	7,931668	2584,21	2596,324	2808,927	0,191989	1,959943	4,686206	1,050505	1,050492	0,175414
393	58	0,000195	0,00039	1,28881	7,92497	2560,322	2572,266	2786,179	0,203635	2,018175	4,514234	1,050525	1,050515	0,180644
394	59	0,000144	0,000288	1,289089	7,918275	2536,797	2548,559	2763,465	0,215574	2,077869	4,348874	1,050539	1,050532	0,186011
395	60	0,000105	0,00021	1,289231	7,914898	2536,797	2536,797	2740,873	0,227799	2,138997	4,190104	1,05055	1,050545	0,191513

Таблица А4 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ 21127 при $n = 5800 \text{ мин}^{-1}$

C	φ_1	x_{1-2}	ΔX_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	Тпредполаг	T_{1-2}	T_2	σ	$\psi(\varphi'2)$	P_2	μ_1	μ_{1-2}	Вс.т.
327	0	0	0			617,6803		617,680	0,20363	2,01817	0,94653	1		
328	1	0,00001	0,00002	1,3779	6,292405	672,4275	645,0539	624,6212	0,191989	1,95994	0,98561	1,000001	1	0,18721409
329	2	0,00006	0,00011	1,37227	6,372445	681,8821	677,1548	631,8553	0,18064	1,9032	1,026752	1,000007	1,000004	0,18181229
330	3	0,00015	0,0003	1,37053	6,397674	693,4005	687,6413	639,7752	0,169596	1,84798	1,070698	1,000022	1,000014	0,17654873
331	4	0,00029	0,00057	1,36845	6,428145	707,9603	700,6804	648,6266	0,158859	1,7943	1,118012	1,000051	1,000036	0,17142593
332	5	0,00047	0,00093	1,36592	6,465676	726,4986	717,2295	658,6782	0,148437	1,74219	1,16934	1,000098	1,000074	0,16644635
333	6	0,00069	0,00138	1,36287	6,511616	749,8894	738,194	670,1878	0,138334	1,69167	1,225376	1,000168	1,000133	0,16161236
334	7	0,00095	0,0019	1,3593	6,566379	778,9185	764,404	683,3346	0,128555	1,64277	1,286711	1,000264	1,000216	0,15692628
335	8	0,00125	0,00251	1,35523	6,630155	814,2592	796,5889	698,3467	0,119104	1,59552	1,354072	1,000391	1,000327	0,15239037
336	9	0,0016	0,00319	1,35075	6,702067	856,4508	835,355	715,3785	0,109986	1,54993	1,428102	1,000552	1,000471	0,14800681
337	10	0,00197	0,00395	1,34596	6,781015	905,8826	881,1667	734,5994	0,101205	1,50603	1,509492	1,000752	1,000652	0,14377771
338	11	0,00239	0,00478	1,34099	6,865275	962,7823	934,3324	756,1412	0,092766	1,46383	1,598902	1,000994	1,000873	0,13970512
339	12	0,00284	0,00567	1,33597	6,952912	1027,21	994,9963	780,0935	0,084673	1,42337	1,696888	1,001281	1,001137	0,135791
340	13	0,00332	0,00663	1,33101	7,042114	1099,058	1063,134	806,5783	0,07693	1,38465	1,804122	1,001616	1,001448	0,13203725
341	14	0,00382	0,00765	1,32621	7,13102	1178,048	1138,553	835,6806	0,06954	1,3477	1,921158	1,002003	1,00181	0,12844569
342	15	0,00436	0,00872	1,32164	7,218132	1263,739	1220,893	867,4597	0,062507	1,31253	2,048498	1,002444	1,002224	0,12501806
343	16	0,00492	0,00983	1,31736	7,301991	1355,531	1309,635	901,9445	0,055834	1,27917	2,186505	1,002942	1,002693	0,12175602
344	17	0,00549	0,01098	1,3134	7,381621	1452,674	1404,102	939,1704	0,049525	1,24763	2,33553	1,003497	1,00322	0,11866117
345	18	0,00608	0,01217	1,30976	7,456612	1554,281	1503,478	979,1726	0,043583	1,21792	2,495864	1,004113	1,003805	0,115735
346	19	0,00669	0,01337	1,30646	7,526137	1659,341	1606,811	1021,908	0,038011	1,19005	2,667512	1,00479	1,004451	0,11297894
347	20	0,00729	0,01459	1,30347	7,590437	1766,74	1713,04	1067,355	0,032811	1,16405	2,850379	1,005528	1,005159	0,11039434
348	21	0,00791	0,01581	1,30079	7,649157	1875,288	1821,014	1115,442	0,027986	1,13993	3,044154	1,006328	1,005928	0,10798246

349	22	0,00851	0,01703	1,2984	7,702413	1983,743	1929,515	1166,105	0,023538	1,11769	3,248422	1,007189	1,006759	0,10574447
350	23	0,00911	0,01823	1,29627	7,750599	2090,847	2037,295	1219,216	0,01947	1,09735	3,462391	1,008112	1,00765	0,10368146
351	24	0,0097	0,0194	1,29438	7,79394	2195,357	2143,102	1274,626	0,015783	1,07891	3,685091	1,009093	1,008602	0,10179445
352	25	0,01027	0,02053	1,29273	7,832234	2296,08	2245,719	1332,158	0,012479	1,06239	3,915231	1,010132	1,009613	0,10008436
353	26	0,01081	0,02162	1,29127	7,866481	2391,906	2343,993	1391,631	0,00956	1,0478	4,151356	1,011226	1,010679	0,09855202
354	27	0,01133	0,02265	1,29	7,896552	2481,84	2436,873	1452,82	0,007027	1,03514	4,391754	1,012372	1,011799	0,09719819
355	28	0,01181	0,02361	1,2889	7,922811	2565,025	2523,432	1515,474	0,004882	1,02441	4,634489	1,013567	1,01297	0,09602352
356	29	0,01225	0,0245	1,28796	7,945409	2640,767	2602,896	1579,335	0,003126	1,01563	4,877392	1,014807	1,014187	0,0950286
357	30	0,01265	0,02529	1,28715	7,965001	2708,548	2674,657	1644,084	0,001759	1,00879	5,118129	1,016087	1,015447	0,0942139
358	31	0,013	0,026	1,28647	7,981534	2768,029	2738,288	1709,443	0,000782	1,00391	5,354297	1,017402	1,016744	0,09357984
359	32	0,0133	0,0266	1,2859	7,995453	2819,058	2793,543	1775,077	0,000195	1,00098	5,583446	1,018748	1,018075	0,09312671
360	33	0,01354	0,02709	1,28544	8,006726	2861,655	2840,356	1840,654	0	1	5,803124	1,020118	1,019433	0,09285475
361	34	0,01373	0,02746	1,28507	8,015821	2896,005	2878,83	1905,821	0,000195	1,00098	6,010821	1,021508	1,020813	0,09276408
362	35	0,01386	0,02772	1,28479	8,022718	2922,435	2909,22	1970,268	0,000782	1,00391	6,204419	1,022911	1,022209	0,09285475
363	36	0,01393	0,02786	1,28458	8,027901	2941,395	2931,915	2033,663	0,001759	1,00879	6,38184	1,02432	1,023615	0,09312671
364	37	0,01393	0,02787	1,28444	8,03136	2953,43	2947,413	2095,66	0,003126	1,01563	6,541097	1,02573	1,025025	0,09357984
365	38	0,01388	0,02776	1,28436	8,033338	2959,152	2956,291	2155,961	0,004882	1,02441	6,680799	1,027135	1,026433	0,0942139
366	39	0,01376	0,02753	1,28434	8,033833	2959,219	2959,185	2214,269	0,007027	1,03514	6,799609	1,028528	1,027831	0,0950286
367	40	0,01359	0,02718	1,28437	8,033091	2954,304	2956,761	2270,312	0,00956	1,0478	6,896748	1,029903	1,029216	0,09602352
368	41	0,01336	0,02672	1,28444	8,03136	2945,077	2949,691	2323,846	0,012479	1,06239	6,97165	1,031255	1,030579	0,09719819
369	42	0,01307	0,02615	1,28455	8,028642	2932,185	2938,631	2374,636	0,015783	1,07891	7,024045	1,032578	1,031917	0,09855202
370	43	0,01274	0,02547	1,2847	8,024939	2916,234	2924,21	2422,466	0,01947	1,09735	7,054029	1,033867	1,033223	0,10008436
371	44	0,01235	0,02471	1,28487	8,020746	2897,782	2907,008	2467,206	0,023538	1,11769	7,062235	1,035117	1,034492	0,10179445
372	45	0,01193	0,02386	1,28506	8,016067	2877,329	2887,555	2508,7	0,027986	1,13993	7,049268	1,036324	1,035721	0,10368146
373	46	0,01146	0,02293	1,28528	8,010656	2855,316	2866,323	2546,834	0,032811	1,16405	7,016145	1,037485	1,036904	0,10574447
374	47	0,01097	0,02194	1,28551	8,005009	2832,124	2843,72	2581,537	0,038011	1,19005	6,963985	1,038595	1,03804	0,10798246
375	48	0,01045	0,02089	1,28576	7,99888	2808,075	2820,1	2612,748	0,043583	1,21792	6,894085	1,039652	1,039123	0,11039434
376	49	0,0099	0,01981	1,28602	7,992518	2783,437	2795,756	2640,494	0,049525	1,24763	6,808123	1,040654	1,040153	0,11297894
377	50	0,00934	0,01869	1,28629	7,985923	2758,432	2770,935	2664,765	0,055834	1,27917	6,70757	1,0416	1,041127	0,115735
378	51	0,00877	0,01755	1,28657	7,979098	2733,236	2745,834	2685,601	0,062507	1,31253	6,594002	1,042488	1,042044	0,11866117

379	52	0,0082	0,0164	1,28685	7,972285	2707,993	2720,614	2703,064	0,06954	1,3477	6,469008	1,043318	1,042903	0,12175602
380	53	0,00763	0,01526	1,28714	7,965243	2682,813	2695,403	2717,273	0,07693	1,38465	6,334339	1,04409	1,043704	0,12501806
381	54	0,00706	0,01412	1,28743	7,958216	2657,785	2670,299	2728,308	0,084673	1,42337	6,191456	1,044804	1,044447	0,12844569
382	55	0,0065	0,01301	1,28772	7,951203	2632,976	2645,381	2736,329	0,092766	1,46383	6,041993	1,045462	1,045133	0,13203725
383	56	0,00596	0,01192	1,28802	7,943962	2608,438	2620,707	2741,451	0,101205	1,50603	5,887235	1,046065	1,045764	0,135791
384	57	0,00544	0,01087	1,28831	7,936978	2584,21	2596,324	2743,853	0,109986	1,54993	5,728654	1,046615	1,04634	0,13970512
385	58	0,00493	0,00986	1,28861	7,929767	2560,322	2572,266	2743,692	0,119104	1,59552	5,567427	1,047115	1,046865	0,14377771
386	59	0,00445	0,0089	1,28891	7,922571	2536,797	2548,559	2741,154	0,128555	1,64277	5,404744	1,047565	1,04734	0,14800681
387	60	0,004	0,00799	1,28907	7,918739	2536,797	2536,797	2736,413	0,138334	1,69167	5,241573	1,04797	1,047767	0,15239037
388	61	0,00357	0,00714	1,28909	7,918261	2536,797	2536,797	2729,672	0,148437	1,74219	5,078896	1,048331	1,04815	0,15692628
389	62	0,00317	0,00635	1,2891	7,918021	2536,797	2536,797	2721,129	0,158859	1,7943	4,917561	1,048652	1,048491	0,16161236
390	63	0,0028	0,00561	1,28912	7,917543	2536,797	2536,797	2710,945	0,169596	1,84798	4,758219	1,048936	1,048794	0,16644635
391	64	0,00247	0,00493	1,28913	7,917304	2536,797	2536,797	2699,306	0,18064	1,9032	4,601497	1,049185	1,049061	0,17142593
392	65	0,00216	0,00431	1,28914	7,917064	2536,797	2536,797	2686,389	0,191989	1,95994	4,447893	1,049403	1,049294	0,17654873
393	66	0,00187	0,00375	1,28916	7,916586	2536,797	2536,797	2672,368	0,203635	2,01817	4,297848	1,049593	1,049498	0,18181229
394	67	0,00162	0,00324	1,28917	7,916347	2536,797	2536,797	2657,386	0,215574	2,07787	4,151663	1,049757	1,049675	0,18721409
395	68	0,00139	0,00279	1,28918	7,916108	2536,797	2536,797	2641,615	0,227799	2,139	4,00966	1,049898	1,049828	0,19275158
396	69	0,00119	0,00238	1,28919	7,915868	2536,797	2536,797	2625,168	0,240306	2,20153	3,872001	1,050019	1,049958	0,1984221
397	70	0,00101	0,00202	1,28919	7,915868	2536,797	2536,797	2608,178	0,253088	2,26544	3,738813	1,050121	1,05007	0,20422299
398	71	0,00086	0,00171	1,2892	7,915629	2536,797	2536,797	2590,777	0,266139	2,3307	3,610205	1,050208	1,050164	0,21015149
399	72	0,00072	0,00144	1,2892	7,915629	2536,797	2536,797	2573,075	0,279453	2,39727	3,486234	1,05028	1,050244	0,21620481
400	73	0,0006	0,0012	1,28921	7,91539	2536,797	2536,797	2555,149	0,293024	2,46512	3,366874	1,050341	1,050311	0,22238009
401	74	0,0005	0,001	1,28921	7,91539	2536,797	2536,797	2537,102	0,306845	2,53422	3,25211	1,050392	1,050366	0,22867445
402	75	0,00041	0,00082	1,28922	7,915151	2536,797	2536,797	2518,98	0,32091	2,60455	3,14183	1,050433	1,050412	0,23508493
403	76	0,00034	0,00067	1,28922	7,915151	2536,797	2536,797	2500,864	0,335212	2,67606	3,035992	1,050467	1,05045	0,24160855
404	77	0,00027	0,00055	1,28922	7,915151	2536,797	2536,797	2482,824	0,349745	2,74873	2,934492	1,050495	1,050481	0,24824226
405	78	0,00022	0,00044	1,28923	7,914912	2536,797	2536,797	2464,887	0,364502	2,82251	2,837207	1,050518	1,050506	0,254983
406	79	0,00018	0,00036	1,28923	7,914912	2536,797	2536,797	2447,12	0,379477	2,89738	2,744023	1,050536	1,050527	0,26182765
407	80	0,00014	0,00029	1,28923	7,914912	2536,797	2536,797	2429,546	0,394661	2,97331	2,654786	1,05055	1,050543	0,26877306

Таблица А5 - Результаты теплового расчета двигателя ВАЗ 21127 при $n = 6100 \text{ мин}^{-1}$

C	ϕ_1	x_{1-2}	ΔX_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	$T_{\text{предполаг}}$	T_{1-2}	T_2	σ	$\psi(\phi'2)$	P_2	μ_1	μ_{1-2}	Вс.т.
325	0	0	0			611,2829		611,2829	0,227799	2,138997	0,826893	1		
326	1	5,62E-06	1,12E-05	1,378497	6,284056	672,4275	641,8552	618,0668	0,215574	2,077869	0,860666	1,000001	1	0,212082
327	2	3,94E-05	7,87E-05	1,372266	6,372496	681,8821	677,1548	625,0661	0,203635	2,018175	0,89616	1,000005	1,000003	0,206021
328	3	0,000107	0,000214	1,370536	6,397582	693,4005	687,6413	632,5719	0,191989	1,959943	0,933874	1,000015	1,00001	0,200103
329	4	0,000208	0,000416	1,368456	6,42805	707,9603	700,6804	640,7853	0,18064	1,903202	0,974219	1,000036	1,000026	0,194329
330	5	0,000343	0,000685	1,365925	6,465598	726,4986	717,2295	649,8993	0,169596	1,847978	1,01763	1,000071	1,000054	0,188703
331	6	0,000511	0,001022	1,362881	6,511446	749,8894	738,194	660,0968	0,158859	1,794297	1,064566	1,000122	1,000097	0,183228
332	7	0,000712	0,001424	1,35931	6,56622	778,9185	764,404	671,5487	0,148437	1,742187	1,115498	1,000194	1,000158	0,177905
333	8	0,000946	0,001892	1,355247	6,629893	814,2592	796,5889	684,4125	0,138334	1,691671	1,170913	1,00029	1,000242	0,172738
334	9	0,001212	0,002424	1,350767	6,701787	856,4508	835,355	698,8317	0,128555	1,642774	1,231302	1,000412	1,000351	0,16773
335	10	0,001509	0,003019	1,345981	6,780659	905,8826	881,1667	714,9359	0,119104	1,595519	1,297163	1,000564	1,000488	0,162882
336	11	0,001837	0,003675	1,341015	6,86485	962,7823	934,3324	732,8418	0,109986	1,549929	1,368993	1,00075	1,000657	0,158196
337	12	0,002195	0,004389	1,335995	6,952472	1027,21	994,9963	752,6541	0,101205	1,506026	1,447284	1,000971	1,00086	0,153676
338	13	0,00258	0,00516	1,331038	7,041598	1099,058	1063,134	774,4667	0,092766	1,463832	1,532523	1,001231	1,001101	0,149323
339	14	0,002992	0,005984	1,326242	7,130416	1178,048	1138,553	798,3632	0,084673	1,423366	1,625179	1,001533	1,001382	0,145139
340	15	0,003429	0,006858	1,321681	7,217348	1263,739	1220,893	824,4169	0,07693	1,384649	1,725699	1,001879	1,001706	0,141127
341	16	0,003888	0,00776	1,317404	7,301109	1355,531	1309,635	852,6905	0,06954	1,347699	1,834494	1,002271	1,002075	0,137288
342	17	0,004368	0,008736	1,313444	7,380724	1452,674	1404,102	883,2355	0,062507	1,312534	1,95193	1,002712	1,002492	0,133625
343	18	0,004866	0,009731	1,309813	7,455514	1554,281	1503,478	916,0902	0,055834	1,279172	2,078306	1,003203	1,002958	0,130138
344	19	0,005378	0,010756	1,30651	7,525063	1659,341	1606,811	951,2789	0,049525	1,247627	2,213842	1,003746	1,003474	0,12683
345	20	0,005903	0,011806	1,303528	7,58917	1766,74	1713,04	988,8099	0,043583	1,217917	2,358658	1,004341	1,004043	0,123703
346	21	0,006436	0,012872	1,300851	7,647805	1875,288	1821,014	1028,674	0,038011	1,190055	2,512752	1,004991	1,004666	0,120757
347	22	0,006975	0,013949	1,29846	7,701062	1983,743	1929,515	1070,842	0,032811	1,164055	2,675983	1,005694	1,005342	0,117994
348	23	0,007515	0,015029	1,296335	7,749128	2090,847	2037,295	1115,265	0,027986	1,139929	2,848048	1,006452	1,006073	0,115416
349	24	0,008052	0,016104	1,294453	7,792248	2195,357	2143,102	1161,873	0,023538	1,11769	3,028469	1,007265	1,006858	0,113024
350	25	0,008583	0,017167	1,292796	7,830702	2296,08	2245,719	1210,572	0,01947	1,097348	3,216577	1,008131	1,007698	0,110819
351	26	0,009104	0,018208	1,291342	7,864787	2391,906	2343,993	1261,246	0,015783	1,078913	3,411502	1,009049	1,00859	0,108802

352	27	0,00961	0,01922	1,290073	7,894804	2481,84	2436,873	1313,757	0,012479	1,062394	3,612165	1,010019	1,009534	0,106975
353	28	0,010098	0,020195	1,288973	7,921052	2565,025	2523,432	1367,942	0,00956	1,0478	3,817289	1,011037	1,010528	0,105337
354	29	0,010562	0,021124	1,288026	7,943817	2640,767	2602,896	1423,617	0,007027	1,035137	4,025399	1,012103	1,01157	0,10389
355	30	0,010999	0,021999	1,287217	7,963375	2708,548	2674,657	1480,58	0,004882	1,024412	4,234845	1,013213	1,012658	0,102634
356	31	0,011406	0,022812	1,286534	7,979983	2768,029	2738,288	1538,607	0,003126	1,015629	4,443826	1,014363	1,013788	0,101571
357	32	0,011778	0,023555	1,285964	7,993886	2819,058	2793,543	1597,458	0,001759	1,008794	4,650421	1,015552	1,014958	0,1007
358	33	0,012111	0,024223	1,285498	8,005314	2861,655	2840,356	1656,88	0,000782	1,003909	4,85263	1,016774	1,016163	0,100022
359	34	0,012404	0,024807	1,285124	8,014482	2896,005	2878,83	1716,607	0,000195	1,000977	5,048421	1,018025	1,017399	0,099538
360	35	0,012652	0,025304	1,284836	8,021592	2922,435	2909,22	1776,368	0	1	5,235774	1,019301	1,018663	0,099247
361	36	0,012853	0,025707	1,284623	8,026835	2941,395	2931,915	1835,882	0,000195	1,000977	5,412735	1,020598	1,01995	0,09915
362	37	0,013006	0,026012	1,284479	8,030391	2953,43	2947,413	1894,871	0,000782	1,003909	5,577462	1,02191	1,021254	0,099247
363	38	0,013109	0,026218	1,284397	8,032429	2959,152	2956,291	1953,057	0,001759	1,008794	5,728272	1,023233	1,022572	0,099538
364	39	0,01316	0,02632	1,284369	8,033109	2959,219	2959,185	2010,167	0,003126	1,015629	5,863684	1,024561	1,023897	0,100022
365	40	0,013159	0,026319	1,284391	8,032583	2954,304	2956,761	2065,936	0,004882	1,024412	5,982447	1,025888	1,025224	0,1007
366	41	0,013107	0,026214	1,284455	8,030992	2945,077	2949,691	2120,113	0,007027	1,035137	6,083571	1,027211	1,026549	0,101571
367	42	0,013003	0,026007	1,284557	8,028466	2932,185	2938,631	2172,46	0,00956	1,0478	6,166341	1,028523	1,027867	0,102634
368	43	0,012849	0,025699	1,284692	8,025129	2916,234	2924,21	2222,754	0,012479	1,062394	6,230322	1,029819	1,029171	0,10389
369	44	0,012647	0,025294	1,284856	8,021092	2897,782	2907,008	2270,794	0,015783	1,078913	6,275359	1,031095	1,030457	0,105337
370	45	0,012398	0,024796	1,285044	8,016458	2877,329	2887,555	2316,399	0,01947	1,097348	6,301565	1,032346	1,03172	0,106975
371	46	0,012106	0,024211	1,285253	8,011317	2855,316	2866,323	2359,41	0,023538	1,11769	6,309304	1,033567	1,032956	0,108802
372	47	0,011772	0,023544	1,28548	8,005751	2832,124	2843,72	2399,692	0,027986	1,139929	6,299168	1,034755	1,034161	0,110819
373	48	0,011402	0,022803	1,285721	7,999831	2808,075	2820,1	2437,134	0,032811	1,164055	6,271944	1,035905	1,03533	0,113024
374	49	0,010998	0,021995	1,285975	7,993621	2783,437	2795,756	2471,65	0,038011	1,190055	6,228592	1,037015	1,03646	0,115416
375	50	0,010564	0,021129	1,286239	7,987174	2758,432	2770,935	2503,178	0,043583	1,217917	6,170202	1,03808	1,037547	0,117994
376	51	0,010106	0,020212	1,286511	7,980535	2733,236	2745,834	2531,68	0,049525	1,247627	6,097973	1,0391	1,03859	0,120757
377	52	0,009627	0,019254	1,28679	7,973745	2707,993	2720,614	2557,142	0,055834	1,279172	6,013173	1,040071	1,039586	0,123703
378	53	0,009132	0,018265	1,287074	7,966837	2682,813	2695,403	2579,572	0,062507	1,312534	5,917114	1,040993	1,040532	0,12683
379	54	0,008626	0,017252	1,287363	7,959838	2657,785	2670,299	2599,002	0,06954	1,347699	5,811126	1,041863	1,041428	0,130138
380	55	0,008113	0,016226	1,287655	7,952772	2632,976	2645,381	2615,481	0,07693	1,384649	5,696531	1,042681	1,042272	0,133625
381	56	0,007597	0,015194	1,28795	7,94566	2608,438	2620,707	2629,078	0,084673	1,423366	5,574623	1,043448	1,043065	0,137288

382	57	0,007083	0,014165	1,288246	7,938519	2584,21	2596,324	2639,88	0,092766	1,463832	5,446655	1,044162	1,043805	0,141127
383	58	0,006574	0,013148	1,288543	7,931364	2560,322	2572,266	2647,987	0,101205	1,506026	5,313818	1,044826	1,044494	0,145139
384	59	0,006075	0,012149	1,288842	7,924207	2536,797	2548,559	2653,513	0,109986	1,549929	5,177238	1,045439	1,045132	0,149323
385	60	0,005588	0,011175	1,289002	7,920376	2536,797	2536,797	2656,584	0,119104	1,595519	5,037959	1,046002	1,04572	0,153676
386	61	0,005116	0,010233	1,289021	7,919905	2536,797	2536,797	2657,334	0,128555	1,642774	4,89695	1,046518	1,04626	0,158196
387	62	0,004663	0,009326	1,28904	7,919452	2536,797	2536,797	2655,912	0,138334	1,691671	4,755101	1,046989	1,046754	0,162882
388	63	0,00423	0,008461	1,289058	7,919019	2536,797	2536,797	2652,468	0,148437	1,742187	4,613213	1,047416	1,047202	0,16773
389	64	0,00382	0,007639	1,289075	7,918609	2536,797	2536,797	2647,159	0,158859	1,794297	4,472002	1,047801	1,047608	0,172738
390	65	0,003432	0,006864	1,289092	7,918221	2536,797	2536,797	2640,14	0,169596	1,847978	4,332098	1,048147	1,047974	0,177905
391	66	0,003069	0,006138	1,289107	7,917859	2536,797	2536,797	2631,567	0,18064	1,903202	4,194049	1,048457	1,048302	0,183228
392	67	0,002731	0,005463	1,289121	7,917521	2536,797	2536,797	2621,594	0,191989	1,959943	4,058328	1,048733	1,048595	0,188703
393	68	0,002419	0,004837	1,289134	7,917209	2536,797	2536,797	2610,371	0,203635	2,018175	3,92533	1,048977	1,048855	0,194329
394	69	0,002131	0,004262	1,289146	7,916921	2536,797	2536,797	2598,044	0,215574	2,077869	3,795387	1,049192	1,049084	0,200103
395	70	0,001868	0,003736	1,289157	7,916659	2536,797	2536,797	2584,752	0,227799	2,138997	3,668765	1,04938	1,049286	0,206021
396	71	0,001629	0,003259	1,289167	7,91642	2536,797	2536,797	2570,63	0,240306	2,201531	3,545676	1,049544	1,049462	0,212082
397	72	0,001414	0,002828	1,289176	7,916205	2536,797	2536,797	2555,802	0,253088	2,26544	3,426276	1,049687	1,049616	0,218283
398	73	0,001221	0,002441	1,289184	7,916012	2536,797	2536,797	2540,387	0,266139	2,330695	3,31068	1,04981	1,049749	0,224619
399	74	0,001048	0,002096	1,289191	7,915839	2536,797	2536,797	2524,494	0,279453	2,397265	3,198957	1,049916	1,049863	0,231089
400	75	0,000895	0,00179	1,289198	7,915687	2536,797	2536,797	2508,223	0,293024	2,465119	3,091142	1,050006	1,049961	0,23769
401	76	0,00076	0,001521	1,289203	7,915552	2536,797	2536,797	2491,667	0,306845	2,534224	2,987241	1,050083	1,050045	0,244417
402	77	0,000642	0,001285	1,289208	7,915434	2536,797	2536,797	2474,91	0,32091	2,604549	2,88723	1,050148	1,050115	0,251269
403	78	0,00054	0,00108	1,289212	7,915332	2536,797	2536,797	2458,026	0,335212	2,67606	2,791063	1,050202	1,050175	0,258242
404	79	0,000451	0,000902	1,289216	7,915243	2536,797	2536,797	2441,082	0,349745	2,748726	2,698676	1,050248	1,050225	0,265332
405	80	0,000375	0,00075	1,289219	7,915167	2536,797	2536,797	2424,137	0,364502	2,822511	2,609988	1,050286	1,050267	0,272537
406	81	0,00031	0,000619	1,289222	7,915102	2536,797	2536,797	2407,243	0,379477	2,897383	2,524907	1,050317	1,050301	0,279853
407	82	0,000254	0,000509	1,289224	7,915047	2536,797	2536,797	2390,445	0,394661	2,973307	2,44333	1,050343	1,05033	0,287277
408	83	0,000208	0,000416	1,289226	7,915	2536,797	2536,797	2373,781	0,410049	3,050247	2,365148	1,050363	1,050353	0,294804
409	84	0,000169	0,000337	1,289228	7,914961	2536,797	2536,797	2357,283	0,425634	3,12817	2,290245	1,05038	1,050372	0,302433
410	85	0,000136	0,000272	1,289229	7,914929	2536,797	2536,797	2340,979	0,441408	3,20704	2,218503	1,050394	1,050387	0,310159

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

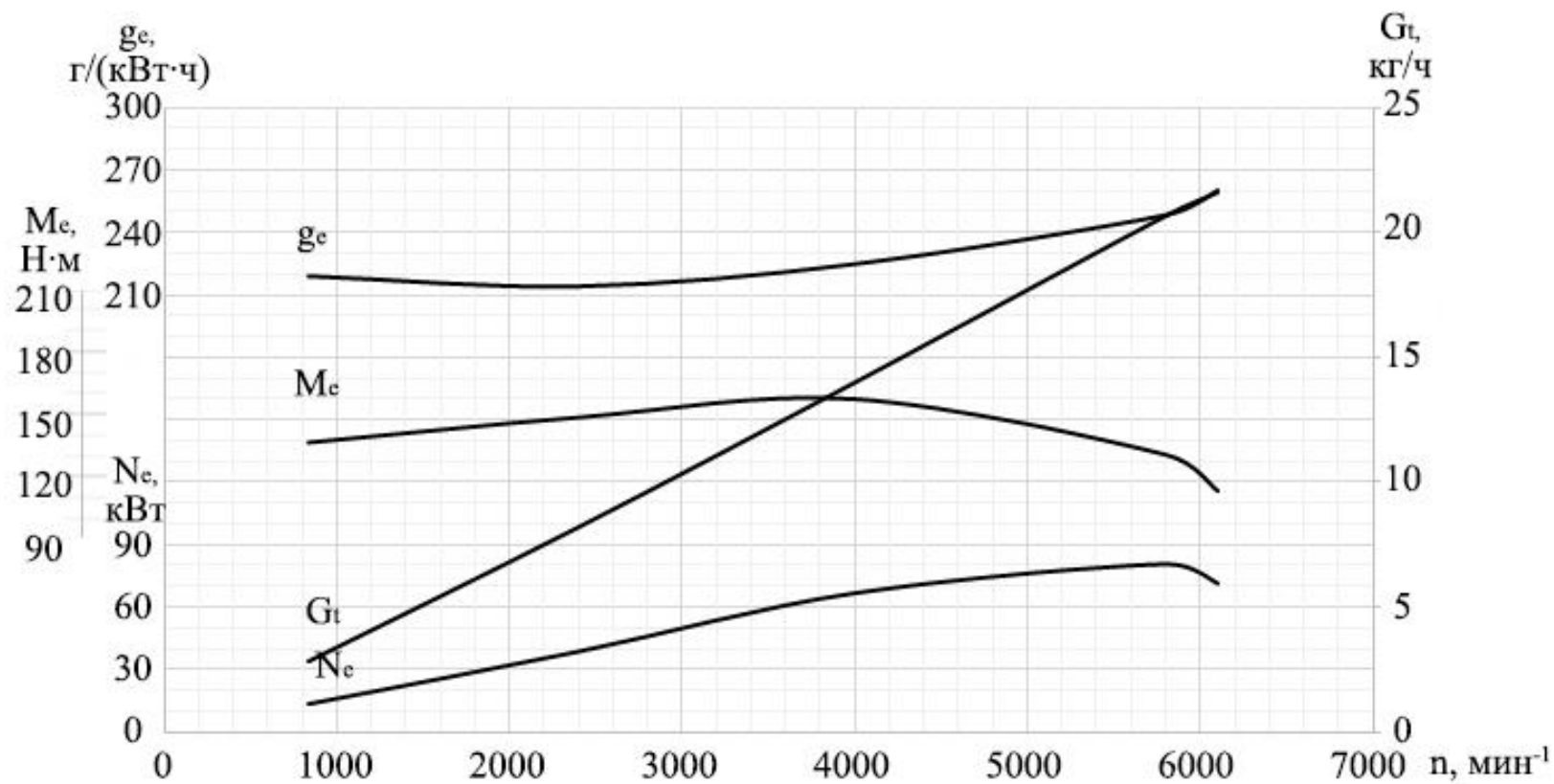


Рисунок Б1 – Диаграмма ВСХ

Ниже, представлены индикаторные диаграммы двигателя ВАЗ 21127

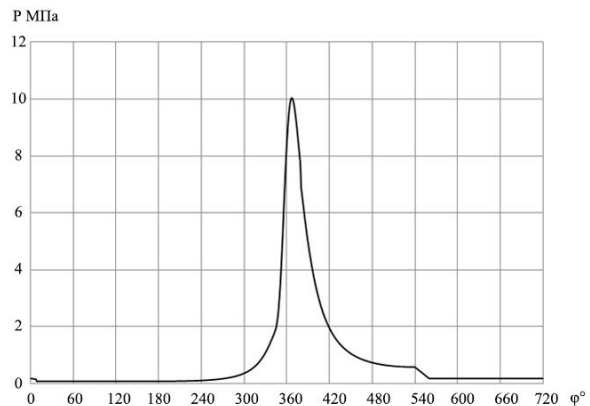


Рисунок Б2 – 840 об/мин⁻¹

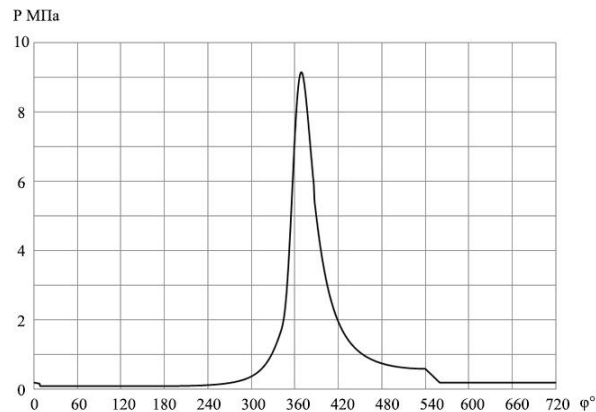


Рисунок Б3 – 2400 об/мин⁻¹

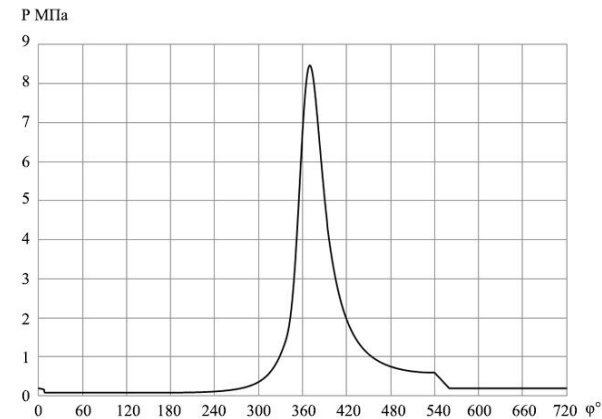


Рисунок Б4 – 4000 об/мин⁻¹

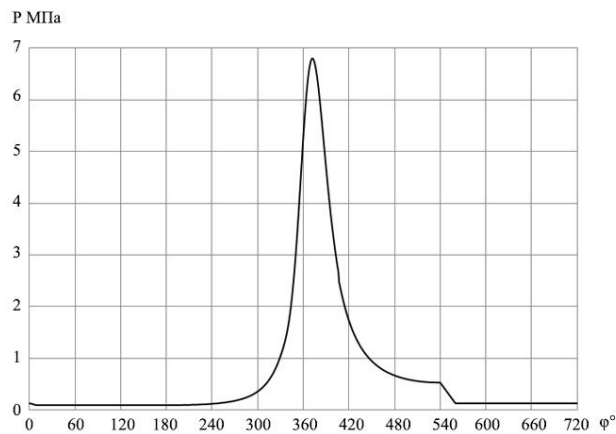


Рисунок Б5 – 5800 об/мин⁻¹

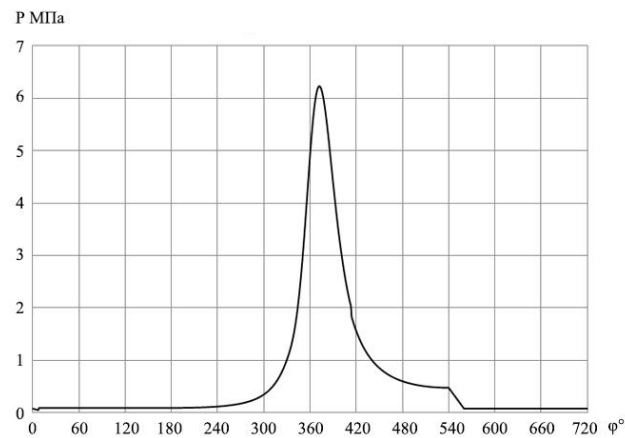


Рисунок Б6 – 6100 об/мин⁻¹

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1 – Результаты расчета кинематики двигателя при $n = 5800 \text{ мин}^{-1}$

φ	S_x	$S_{\pi 1}$	$S_{\pi 2}$	V_x	V_{x1}	V_{x2}	j	$j_{\pi 1}$	$j_{\pi 2}$
0	0	0	0	0	0	0	17905	13945	3960
10	0,7361	0,574	0,1619	5,102	3,987	1,115	17454	13733	3721
20	2,9075	2,28	0,6279	9,948	7,852	2,0956	16137	13104	3034
30	6,4061	5,064	1,3419	14,303	11,479	2,8234	14056	12076	1980
40	11,0613	8,844	2,2178	17,968	14,758	3,2106	11370	10682	688
50	16,6525	13,503	3,1498	20,798	17,587	3,2106	8276	8963	-688
60	22,9257	18,9	4,0257	22,706	19,883	2,8234	4992	6972	-1980
70	29,6113	24,872	4,7397	23,67	21,574	2,0956	1736	4769	-3034
80	36,4418	31,236	5,2057	23,725	22,61	1,115	-1300	2421	-3721
90	43,1676	37,8	5,3676	22,959	22,959	0	-3960	0	-3960
100	49,5696	44,364	5,2057	21,495	22,61	-1,115	-6143	-2421	-3721
110	55,4681	50,728	4,7397	19,479	21,574	-2,0956	-7803	-4769	-3034
120	60,7257	56,7	4,0257	17,06	19,883	-2,8234	-8952	-6972	-1980
130	65,2472	62,097	3,1498	14,377	17,587	-3,2106	-9651	-8963	-688
140	68,9742	66,756	2,2178	11,547	14,758	-3,2106	-9994	-10682	688
150	71,8777	70,536	1,3419	8,656	11,479	-2,8234	-10096	-12076	1980
160	73,9483	73,32	0,6279	5,757	7,852	-2,0956	-10070	-13104	3034
170	75,1876	75,026	0,1619	2,872	3,987	-1,115	-10011	-13733	3721
180	75,6	75,6	0	0	0	0	-9984	-13945	3960
190	75,1876	75,026	0,1619	-2,872	-3,987	1,115	-10011	-13733	3721
200	73,9483	73,32	0,6279	-5,757	-7,852	2,0956	-10070	-13104	3034
210	71,8777	70,536	1,3419	-8,656	-11,479	2,8234	-10096	-12076	1980
220	68,9742	66,756	2,2178	-11,547	-14,758	3,2106	-9994	-10682	688
230	65,2472	62,097	3,1498	-14,377	-17,587	3,2106	-9651	-8963	-688
240	60,7257	56,7	4,0257	-17,06	-19,883	2,8234	-8952	-6972	-1980
250	55,4681	50,728	4,7397	-19,479	-21,574	2,0956	-7803	-4769	-3034
260	49,5696	44,364	5,2057	-21,495	-22,61	1,115	-6143	-2421	-3721
270	43,1676	37,8	5,3676	-22,959	-22,959	0	-3960	0	-3960
280	36,4418	31,236	5,2057	-23,725	-22,61	-1,115	-1300	2421	-3721
290	29,6113	24,872	4,7397	-23,67	-21,574	-2,0956	1736	4769	-3034
300	22,9257	18,9	4,0257	-22,706	-19,883	-2,8234	4992	6972	-1980
310	16,6525	13,503	3,1498	-20,798	-17,587	-3,2106	8276	8963	-688
320	11,0613	8,844	2,2178	-17,968	-14,758	-3,2106	11370	10682	688
330	6,4061	5,064	1,3419	-14,303	-11,479	-2,8234	14056	12076	1980
340	2,9075	2,28	0,6279	-9,948	-7,852	-2,0956	16137	13104	3034
350	0,7361	0,574	0,1619	-5,102	-3,987	-1,115	17454	13733	3721
360	0	0	0	0	0	0	17905	13945	3960
370	0,7361	0,574	0,1619	5,102	3,987	1,115	17454	13733	3721
380	2,9075	2,28	0,6279	9,948	7,852	2,0956	16137	13104	3034
390	6,4061	5,064	1,3419	14,303	11,479	2,8234	14056	12076	1980
400	11,0613	8,844	2,2178	17,968	14,758	3,2106	11370	10682	688
410	16,6525	13,503	3,1498	20,798	17,587	3,2106	8276	8963	-688
420	22,9257	18,9	4,0257	22,706	19,883	2,8234	4992	6972	-1980
430	29,6113	24,872	4,7397	23,67	21,574	2,0956	1736	4769	-3034
440	36,4418	31,236	5,2057	23,725	22,61	1,115	-1300	2421	-3721
450	43,1676	37,8	5,3676	22,959	22,959	0	-3960	0	-3960
460	49,5696	44,364	5,2057	21,495	22,61	-1,115	-6143	-2421	-3721
470	55,4681	50,728	4,7397	19,479	21,574	-2,0956	-7803	-4769	-3034
480	60,7257	56,7	4,0257	17,06	19,883	-2,8234	-8952	-6972	-1980

490	65,2472	62,097	3,1498	14,377	17,587	-3,2106	-9651	-8963	-688
500	68,9742	66,756	2,2178	11,547	14,758	-3,2106	-9994	-10682	688
510	71,8777	70,536	1,3419	8,656	11,479	-2,8234	-10096	-12076	1980
520	73,9483	73,32	0,6279	5,757	7,852	-2,0956	-10070	-13104	3034
530	75,1876	75,026	0,1619	2,872	3,987	-1,115	-10011	-13733	3721
540	75,6	75,6	0	0	0	0	-9984	-13945	3960
550	75,1876	75,026	0,1619	-2,872	-3,987	1,115	-10011	-13733	3721
560	73,9483	73,32	0,6279	-5,757	-7,852	2,0956	-10070	-13104	3034
570	71,8777	70,536	1,3419	-8,656	-11,479	2,8234	-10096	-12076	1980
580	68,9742	66,756	2,2178	-11,547	-14,758	3,2106	-9994	-10682	688
590	65,2472	62,097	3,1498	-14,377	-17,587	3,2106	-9651	-8963	-688
600	60,7257	56,7	4,0257	-17,06	-19,883	2,8234	-8952	-6972	-1980
610	55,4681	50,728	4,7397	-19,479	-21,574	2,0956	-7803	-4769	-3034
620	49,5696	44,364	5,2057	-21,495	-22,61	1,115	-6143	-2421	-3721
630	43,1676	37,8	5,3676	-22,959	-22,959	0	-3960	0	-3960
640	36,4418	31,236	5,2057	-23,725	-22,61	-1,115	-1300	2421	-3721
650	29,6113	24,872	4,7397	-23,67	-21,574	-2,0956	1736	4769	-3034
660	22,9257	18,9	4,0257	-22,706	-19,883	-2,8234	4992	6972	-1980
670	16,6525	13,503	3,1498	-20,798	-17,587	-3,2106	8276	8963	-688
680	11,0613	8,844	2,2178	-17,968	-14,758	-3,2106	11370	10682	688
690	6,4061	5,064	1,3419	-14,303	-11,479	-2,8234	14056	12076	1980
700	2,9075	2,28	0,6279	-9,948	-7,852	-2,0956	16137	13104	3034
710	0,7361	0,574	0,1619	-5,102	-3,987	-1,115	17454	13733	3721
720	0	0	0	0	0	0	17905	13945	3960

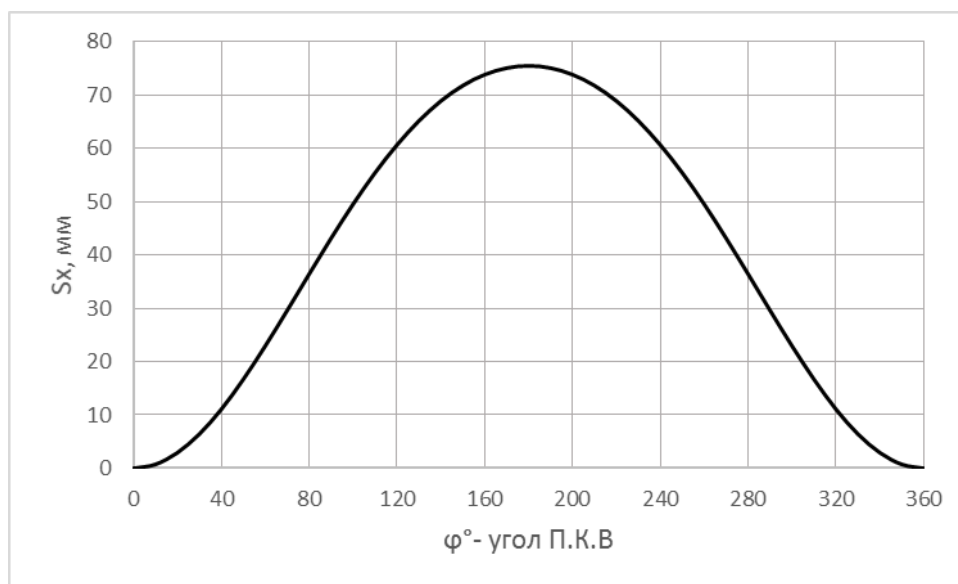


Рисунок В1 – Перемещение поршня

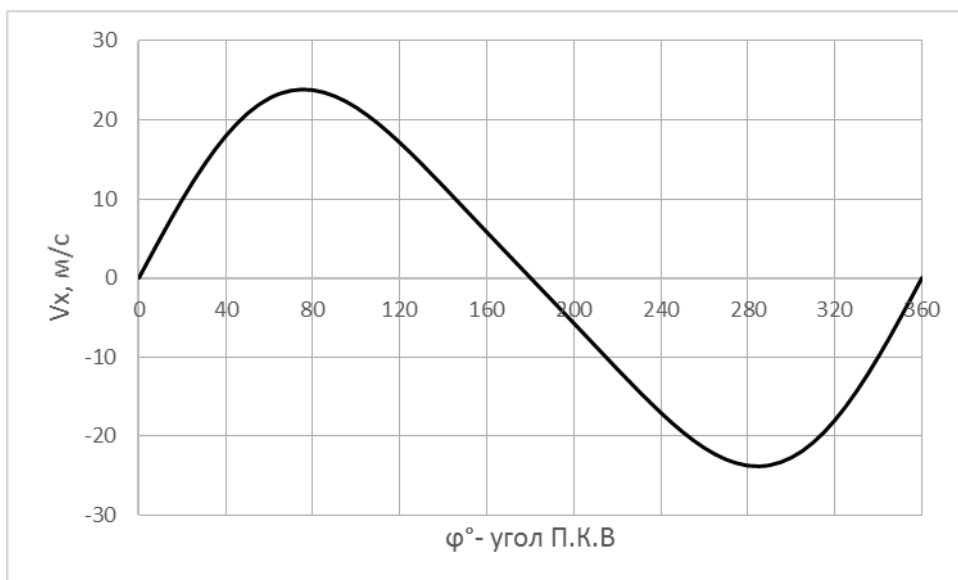


Рисунок 2В – Скорость поршня

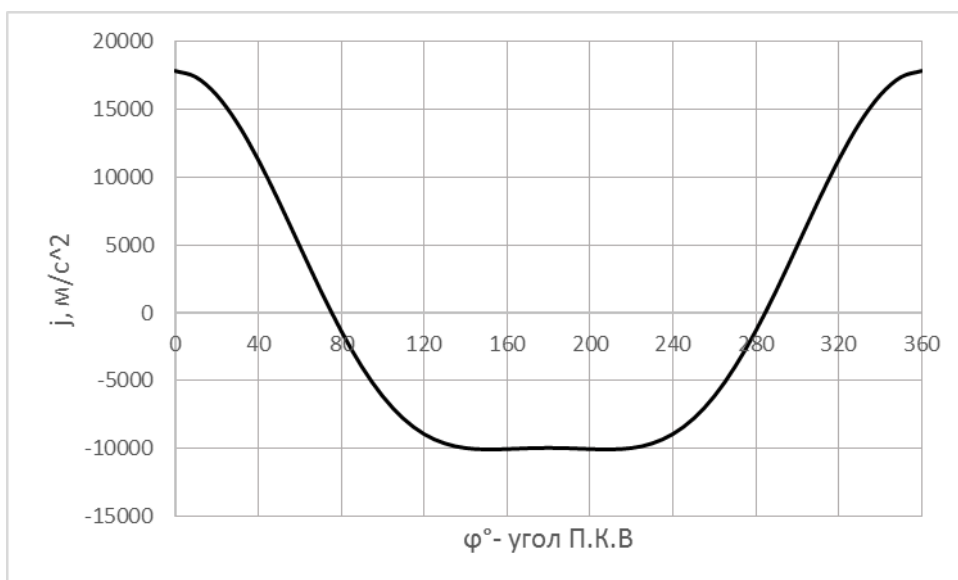


Рисунок 3В – Ускорение поршня

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г1 – Результаты расчета кинематики двигателя при $n = 5800 \text{ мин}^{-1}$

φ	P_r	P_j	P_l	N	K	Z	T	$R_{ш.ш.}$
0	0,087825	-12,8361	-12,7482	0	-12,7482	-12,7482	0	32,208
10	-0,05673	-12,5127	-12,5695	-0,6159	-12,5569	-12,2678	-2,77785	31,84894
20	-0,05673	-11,5693	-11,626	-1,1161	-11,5682	-10,5448	-5,02245	30,42203
30	-0,05673	-10,0767	-10,1335	-1,42882	-10,0331	-8,05609	-6,30301	28,22854
40	-0,05673	-8,15113	-8,20786	-1,49383	-8,07861	-5,3269	-6,41855	25,60423
50	-0,05673	-5,93233	-5,98906	-1,30562	-5,8487	-2,85079	-5,42609	22,96091
60	-0,05673	-3,57876	-3,63549	-0,9016	-3,5296	-1,03611	-3,59913	20,80949
70	-0,05673	-1,24382	-1,30055	-0,35115	-1,25536	-0,11445	-1,34217	19,62018
80	-0,05673	0,931968	0,875235	0,248567	0,841572	-0,09277	0,904993	19,57347
90	-0,05673	2,838916	2,782184	0,804051	2,672607	-0,80405	2,782184	20,45392
100	-0,05673	4,403188	4,346455	1,234393	4,179284	-1,96894	4,068282	21,81148
110	-0,05673	5,593956	5,537223	1,500587	5,34481	-3,30018	4,690028	23,23815
120	-0,05673	6,417672	6,360939	1,577513	6,175669	-4,54807	4,719817	24,46738
130	-0,05673	6,918783	6,862051	1,495927	6,701221	-5,55826	4,295644	25,38413
140	-0,05673	7,16468	7,107947	1,293646	6,996011	-6,27632	3,575297	25,98324
150	-0,05673	7,237803	7,18107	1,012531	7,109971	-6,72866	2,714445	26,32873
160	-0,05673	7,219164	7,162431	0,687593	7,126797	-6,96905	1,804933	26,49037
170	-0,05673	7,177584	7,120851	0,348922	7,113737	-7,071	0,897227	26,54594
180	-0,05673	7,158227	7,101495	0	7,101495	-7,10149	0	26,56126
190	-0,05349	7,177584	7,12409	-0,34908	7,116973	-7,07422	-1,57442	26,58066
200	-0,04353	7,219164	7,175631	-0,68886	7,139931	-6,98189	-3,09987	26,62274
210	-0,02609	7,237803	7,211711	-1,01685	7,140308	-6,75737	-4,48568	26,59812
220	0,000218	7,16468	7,164897	-1,30401	7,052064	-6,3266	-5,60295	26,38806
230	0,037616	6,918783	6,9564	-1,5165	6,793359	-5,63468	-6,3025	25,87379
240	0,08952	6,417672	6,507192	-1,61378	6,317662	-4,65264	-6,44212	24,95815
250	0,161143	5,593956	5,755099	-1,55388	5,555115	-3,43004	-5,93926	23,64779
260	0,260527	4,403188	4,663715	-1,32449	4,484341	-2,11266	-4,82228	22,10484
270	0,400319	2,838916	3,239235	-0,93614	3,111657	-0,93614	-3,23924	20,65153
280	0,600939	0,931968	1,532906	-0,43535	1,473949	-0,16249	-1,4348	19,67464
290	0,896302	-1,24382	-0,34752	0,094177	-0,33544	-0,03058	0,294346	19,49257
300	1,344258	-3,57876	-2,2345	0,554155	-2,16941	-0,63683	1,657997	20,16487
310	2,044977	-5,93233	-3,88736	0,847443	-3,79625	-1,85038	2,433484	21,44864
320	3,168461	-8,15113	-4,98267	0,906846	-4,9042	-3,23375	2,506283	22,8315
330	4,968792	-10,0767	-5,10793	0,720218	-5,05735	-4,0608	1,930797	23,59968
340	6,835898	-11,5693	-4,7334	0,454407	-4,70985	-4,2932	1,192818	23,78289
350	12,31294	-12,5127	-0,1998	0,00979	-0,1996	-0,195	0,025174	19,65478
360	22,85484	-12,8361	10,01878	0	10,01878	10,01878	0	9,440984
370	32,70544	-12,5127	20,1927	0,989442	20,17253	19,70808	4,462588	4,469491
380	33,22733	-11,5693	21,65803	2,07917	21,55027	19,64383	9,356267	9,358077
390	22,07228	-10,0767	11,99556	1,691374	11,87679	9,536472	7,46124	12,41539
400	15,53357	-8,15113	7,382437	1,343604	7,266178	4,791202	5,773066	15,76373
410	11,23048	-5,93233	5,298145	1,154996	5,17397	2,521917	4,800119	17,60488
420	8,415564	-3,57876	4,836809	1,199529	4,695931	1,37849	4,78844	18,70459
430	6,539878	-1,24382	5,29606	1,429936	5,112027	0,466053	5,465534	19,76444
440	5,258513	0,931968	6,19048	1,758096	5,952385	-0,65619	6,400957	21,10981
450	4,361691	2,838916	7,200608	2,080976	6,91701	-2,08098	7,200608	22,71238
460	3,720897	4,403188	8,124085	2,30724	7,81162	-3,68021	7,604143	24,35737
470	3,255744	5,593956	8,849699	2,398269	8,542181	-5,27442	7,495695	25,84503
480	2,914743	6,417672	9,332415	2,314439	9,060597	-6,67268	6,924652	27,03434

490	2,664194	6,918783	9,582978	2,089089	9,358377	-7,76221	5,998944	27,87514
500	2,481684	7,16468	9,646363	1,755638	9,494452	-8,51774	4,852121	28,39514
510	2,352216	7,237803	9,590019	1,352193	9,495069	-8,98585	3,625027	28,67566
520	2,265868	7,219164	9,485032	0,910563	9,437842	-9,22894	2,390228	28,7881
530	2,216363	7,177584	9,393947	0,460303	9,384562	-9,32819	1,183637	28,81228
540	2,200232	7,158227	9,358459	0	9,358459	-9,35846	0	28,81823
550	1,144028	7,177584	8,321612	-0,40776	8,313299	-8,26336	-1,83908	27,78406
560	0,087825	7,219164	7,306989	-0,70147	7,270636	-7,1097	-3,15662	26,75632
570	0,087825	7,237803	7,325628	-1,03291	7,253097	-6,86411	-4,55654	26,71533
580	0,087825	7,16468	7,252505	-1,31996	7,138292	-6,40396	-5,67146	26,47825
590	0,087825	6,918783	7,006609	-1,52744	6,842391	-5,67535	-6,34799	25,92433
600	0,087825	6,417672	6,505497	-1,61336	6,316016	-4,65143	-6,44044	24,95654
610	0,087825	5,593956	5,681781	-1,53408	5,484344	-3,38634	-5,8636	23,58657
620	0,087825	4,403188	4,491013	-1,27545	4,318282	-2,03443	-4,64371	21,9901
630	0,087825	2,838916	2,926741	-0,84583	2,811471	-0,84583	-2,92674	20,51543
640	0,087825	0,931968	1,019793	-0,28962	0,98057	-0,1081	-0,95453	19,59113
650	0,087825	-1,24382	-1,15599	0,313274	-1,11582	-0,10173	0,979126	19,58598
660	0,087825	-3,57876	-3,49093	0,865751	-3,38925	-0,99492	2,59027	20,61804
670	0,087825	-5,93233	-5,84451	1,274102	-5,70753	-2,78199	3,658661	22,54066
680	0,087825	-8,15113	-8,06331	1,467522	-7,93633	-5,23309	4,055843	25,02372
690	0,087825	-10,0767	-9,98889	1,408434	-9,88999	-7,94117	3,775802	27,65986
700	0,087825	-11,5693	-11,4815	1,102222	-11,4244	-10,4137	2,893332	30,01325
710	0,087825	-12,5127	-12,4249	0,608821	-12,4125	-12,1267	1,565539	31,62525
720	0,087825	-12,8361	-12,7482	0	-12,7482	-12,7482	0	32,208

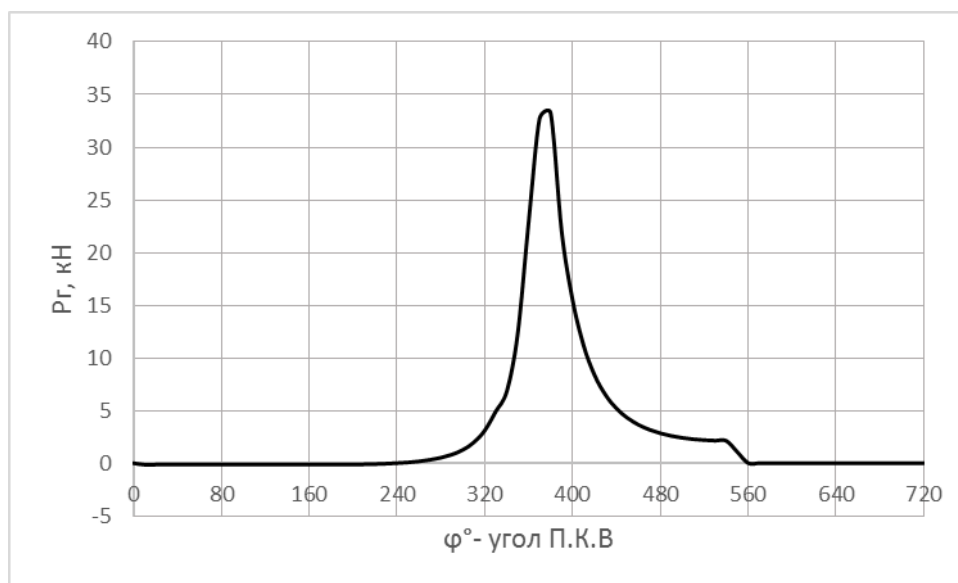


Рисунок Г1 – Силы давления газов

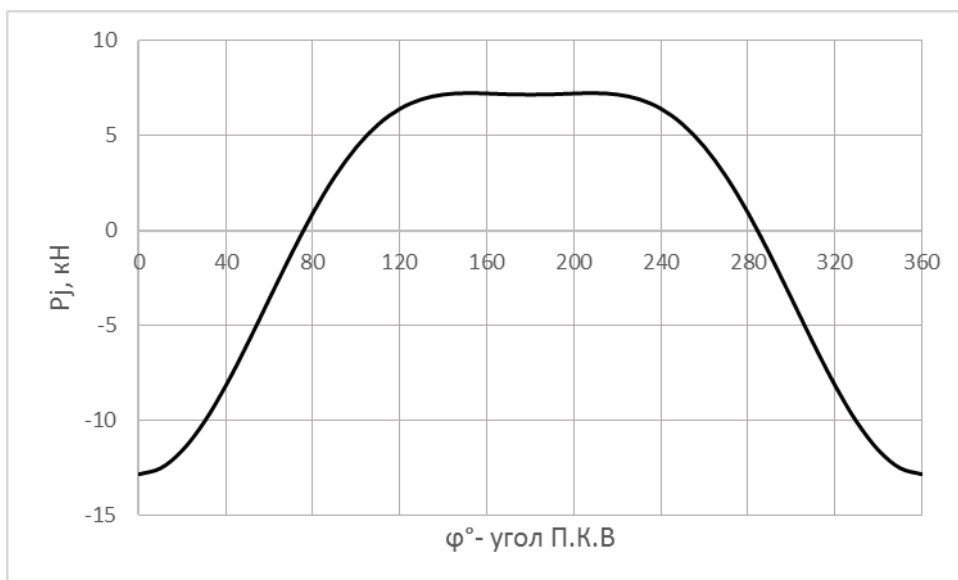


Рисунок Г2 – Силы инерции

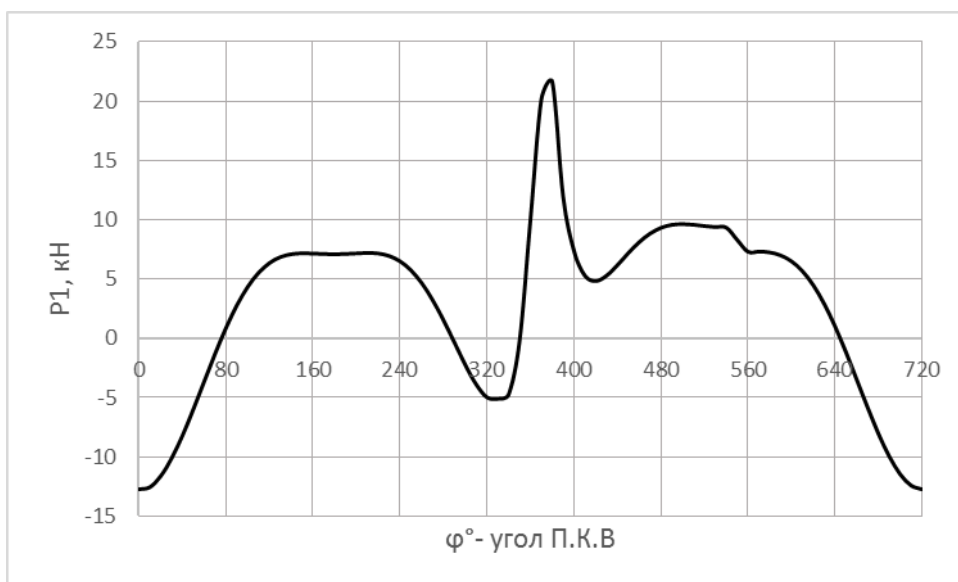


Рисунок Г3 – Суммарные силы действующие в КШМ

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д1 – Пргорев стандартного катализатора до 150°

Таблица Д2 – Пргорев стандартного катализатора до 250°

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м ² *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	150,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	1,5	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	3,800E-06	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	2500,000	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	850,000	Дж/(кг*К)
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м ²
14	Объём тела	$V=$	0,000	м ³
15	Масса тела	$G=$	0,994	кг
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,044	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,223	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,854	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,191	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\omega}=$	0,008	1/с
22		$m_{cp}=$	0,002	
23		$\Delta=$	438,333	%
24	Время нагрева	$t=$	25,285	с

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м ² *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	250,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	1,5	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	3,800E-06	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	2500,000	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	850,000	Дж/(кг*К)
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м ²
14	Объём тела	$V=$	0,000	м ³
15	Масса тела	$G=$	0,994	кг
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,044	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,223	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,854	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,191	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\omega}=$	0,008	1/с
22		$m_{cp}=$	0,002	
23		$\Delta=$	438,333	%
24	Время нагрева	$t=$	45,426	с

Таблица Д3 – Прогрева стандартного катализатора до 350°

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м ² *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	350,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	1,5	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	3,800E-06	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	2500,000	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	850,000	Дж/(кг*К)
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м ²
14	Объём тела	$V=$	0,000	м ³
15	Масса тела	$G=$	0,994	кг
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,556	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,223	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,854	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,191	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\omega}=$	0,008	1/с
22		$m_{cp}=$	0,002	
23		$\Delta=$	438,333	%
24	Время нагрева	$t=$	68,616	с

Таблица Д4 – Прогрева модерн. катализатора до 150°

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м ² *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	150,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	16	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	4,800E-05	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	7700,000	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	500,000	Дж/(кг*К)
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м ²
14	Объём тела	$V=$	0,000	м ³
15	Масса тела	$G=$	3,062	кг
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,556	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,21	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,985	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,21	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\omega}=$	0,011	1/с
22		$m_{cp}=$	0,001	
23		$\Delta=$	1055	%
24	Время нагрева	$t=$	17,716	с

Таблица Д5 – Прогрева модерн. катализатора до 250°

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м ² *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	250,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	16	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	4,800E-05	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	7700,000	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	500,000	Дж/(кг*К)
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м ²
14	Объём тела	$V=$	0,000	м ³
15	Масса тела	$G=$	3,062	кг
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,556	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,21	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,985	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,21	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\alpha\lambda}=$	0,011	1/с
22		$m_{cp}=$	0,001	
23		$\Delta=$	1055	%
24	Время нагрева	$t=$	33,236	с

Таблица Д6 – Прогрева модерн. катализатора до 350°

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м ² *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	350,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	16	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	4,800E-05	м ² /с
7	Плотность тела	$\rho=$	7700,000	кг/м ³
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	500,000	Дж/(кг*К)
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м ²
14	Объём тела	$V=$	0,000	м ³
15	Масса тела	$G=$	3,062	кг
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,556	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,21	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,985	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,21	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\alpha\lambda}=$	0,011	1/с
22		$m_{cp}=$	0,001	
23		$\Delta=$	1055	%
24	Время нагрева	$t=$	50,359	с