

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

Институт машиностроения

(институт, факультет)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Двигатель адаптированный для работы на низкокалорийном
топливе получаемого при переработке бытовых отходов

Студент

В.С. Аладинский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Смоленский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

М.И. Фесина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

С.А. Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Целью бакалаврской работы является оценка возможностей эффективного применения низкокалорийного топлива получаемого при переработке бытовых органических отходов.

В бакалаврской работе представлены результаты проектирования двигателя с искровым зажиганием с системой питания рассчитанной на рабу на спиртовом топливе. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обзор источников по оценке возможностей эффективного применения низкокалорийного топлива получаемого при переработке бытовых органических отходов.
- Тепловой расчет и тепловой баланс двигателя, где проведен расчет основных параметров проектируемого двигателя.
- Кинематический расчет показывает изменение кинематических параметров поршневой группы.
- Динамический расчет, где определяются силы и нагрузки действующие в кривошипно-шатунном механизме, а также условия для уравнивания двигателя.
- В разделе специальной части, проведен анализ возможностей эффективного применения низкокалорийного топлива получаемого при переработке бытовых органических отходов.
- Проведена оценка безопасности и экологичности объекта проектирования.

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

ABSTRACT

The aim of the bachelor's work is to assess the possibilities of effective application of low-calorific fuel produced during processing of domestic organic waste.

This bachelor's work presents the results of designing a spark-ignition engine with a power system designed for a slave on alcohol fuel. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note consists of the following sections:

- A review of sources to assess the feasibility of the effective use of low-calorific fuels from domestic organic waste.
- Thermal calculation and heat balance of the engine, where the calculation of the main parameters of the engine being designed.
- Kinematic calculation shows the change in the kinematic parameters of the piston group.
- Dynamic calculation, which determines the forces and loads acting in the crank mechanism, as well as the conditions for balancing the engine.
- In the section of the special section, an analysis was made of the possibilities for the efficient use of low-calorific fuel produced during processing of domestic organic waste.
- The safety and ecological compatibility of the design object was assessed.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Обзор источников по оценке возможностей эффективного применения низкокалорийного топлива получаемого при переработке бытовых органических отходов	7
1.1 Спирт как перспективное низкокалорийное топливо, получаемое при переработке бытовых органических отходов	7
1.2 Снижение токсичности отработавших газов за счет применения каталитических нейтрализаторов.....	9
1.3 Факторы снижающие эффективность нейтрализатора.....	16
2 Тепловой расчет двигателя на низкокалорийном топливе	19
3 Расчет кинематики	31
4 Динамический расчет	32
5 Специальная часть	38
5.1 Особенности применения спирта как моторное топливо	40
6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы	43
6.1 Оценка безопасности и экологичности объекта разработки бакалаврской работы	43
6.1.1 Оценка взрыво-пожаробезопасности объекта разработки бакалаврской работы	43
6.1.2 Снижение токсичности по несгоревшим углеводородам в проектируемом двигателе	43
6.1.3 Оценка экологичности, по шуму, объекта разработки бакалаврской работы	45
6.2 Выводы по разделу	45
Заключение	46
Список используемых источников.....	47
Приложение А	50
Приложение Б	59

ВВЕДЕНИЕ

Биотопливо - это топливо из биологического сырья, получаемое, как правило, в результате переработки органических удобрений. Существуют даже проекты разной степени проработанности, направленные на получение биотоплива из целлюлозы и сахарного тростника, но эти технологии находятся в ранней стадии коммерциализации. Различают жидкое биотопливо (для двигателей внутреннего сгорания, к примеру этанол, метанол, биодизель), твердое биотопливо (дрова, солома) и газообразное (биогаз, водород).

1 Обзор источников по оценке возможностей эффективного применения низкокалорийного топлива получаемого при переработке бытовых органических отходов

1.1 Спирт как перспективное низкокалорийное топливо получаемое при переработке бытовых органических отходов

Биоэтанол - обычный этанол, получаемый в процессе переработки растительного сырья для использования в качестве биотоплива. Мировое производство биоэтанола в 2010 году составило 44,3 млрд литров, из которых 45% пришлось на Бразилию и 44,7% - на США [1-2]. По Российской Федерации обработанных статистических данных нет.

Этанол в Бразилии производится преимущественно из сахарного тростника, а в США - из кукурузы. Производство этанола из тростника экономически более выгодно, чем из кукурузы. Интересно, что правительство США предоставляет производителям этанола налоговый кредит (но не субсидии) до \$0,51 за галлон этанола. Бразильский этанол дешевле из-за низких заработных плат у сборщиков сахарного тростника [3-4]

Среди различных спиртов и их смесей наибольшее распространение в качестве моторного топлива получили метанол и этанол. Их основными недостатками являются пониженная теплота сгорания, высокая теплота испарения и низкое давление насыщенных паров, но в целом по моторным свойствам этанол лучше метанола [5].

Высокие антидетонационные качества определяют преимущественное использование спиртов в двигателях внутреннего сгорания с принудительным (искровым) зажиганием. При этом основные мероприятия по переводу автомобилей на работу на чистых спиртах сводятся к увеличению вместимости топливного бака (в случае необходимости сохранения беззаправочного пробега), увеличению степени сжатия двигателя до 12 - 14 с целью полного использования детонационной стойкости топлива и перерегулировки

карбюратора на более высокие его расходы (в соответствии со стехиометрическим коэффициентом) и большую степень обеднения смеси. Низкое давление насыщенных паров и высокая теплота испарения спиртов делают практически невозможным запуск карбюраторных двигателей уже при температурах ниже $+10^{\circ}\text{C}$. Для улучшения пусковых качеств в спирты добавляют 4 - 6% изопентана или 6 - 8% диметилового эфира, что обеспечивает нормальный пуск двигателя при температуре окружающего воздуха от -20 до -25°C . Для этой же цели спиртовые двигатели оборудуются специальными пусковыми подогревателями. При неустойчивой работе двигателя на повышенных нагрузках из-за плохого испарения спиртов требуется дополнительный подогрев топливной смеси с помощью, например, отработавших газов [6].

С энергетической точки зрения преимущества спиртов заключаются главным образом в высоком к. п. д. рабочего процесса и высокой детонационной стойкости. Величина к. п. д. спиртового двигателя выше бензинового во всем диапазоне рабочих смесей, благодаря чему удельный расход энергии на единицу мощности снижается [7].

При использовании спиртовых топлив снижается содержание контролируемых вредных компонентов отработавших газов автомобиля. Благодаря низким температурам горения спиртов на единицу расходуемой энергии и топлива выделяется значительно меньше, чем у бензина оксидов азота. Одновременно вследствие улучшения полноты сгорания спиртовых смесей выбросы CO и CH^* также уменьшаются. Выбросы канцерогенных ароматических углеводородов также на порядок ниже, чем при работе двигателя на бензине [8].

Наряду с положительной экологической эффективностью использования спиртовых топлив следует отметить и такие негативные явления, как повышенные выбросы альдегидов и испарения углеводородных соединений. Содержание альдегидов растет с увеличением концентрации спиртов в топливной смеси. Для метанола характерны выбросы формальдегида, в то

время как при сгорании этанола образуется преимущественно ацетальдегид. Минимальные выбросы альдегидов соответствуют стехиометрическому составу топливной смеси и возрастают при ее обеднении или обогащении. В среднем выбросы альдегидов при работе на спиртах примерно в 2 - 4 раза выше, чем при работе двигателя на бензине. Их снижения добиваются при добавке к спиртам воды (до 5%) и присадок к топливу до 0,8% анилина, подогреве воздуха на входе в двигатель [9].

Эксплуатационные свойства метанольного топлива, и в первую очередь энергетические показатели и пусковые качества, улучшаются при дополнительном вводе высших спиртов и эфиров. Такие топлива получили название смесевых спиртовых топлив. Испытания одной из композиций смесевых топлив показали увеличение мощности двигателя на 4 - 7% и улучшение топливной экономичности (в сравнении с чистым метанолом) - на 10 - 15%, при этом содержание в отработавших газах оксидов азота снижается на 25 - 30% в сравнении с работой на бензине [10].

1.2 Снижение токсичности отработавших газов за счет применения каталитических нейтрализаторов

Для снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, были введены требования. В результате этого было сконструировано устройство, которое имеет научное название каталитический нейтрализатор [11].

В качестве катализатора в автомобильных нейтрализаторах используются благородные (или драгоценные) металлы, такие как платина, палладий и родий.

Благородные металлы - очень дорогие, следовательно, они используются в производстве нейтрализаторов минимально.

Инженерные задачи в проектировании и развитии автомобильного каталитического нейтрализатора следующие:

- 1) распространить благородные металлы на как можно большей поверхности каталитического блока, защищая от температурной деактивации и

ядов;

2) оптимизация загрузки драгоценных металлов;

3) оптимизация и обеспечение безотказности конструкции нейтрализатора.

Керамический нейтрализатор (рисунок 1.1) имеет два полукорпуса из листового металла, которые покрывают каталитический блок. Блок закрепляется в корпусе нейтрализатора терморасширяющейся прокладкой, который называется *мат*. Изоляция часто устанавливается поверх кожуха и удерживается на месте изоляционной крышкой. Перфорированный нижний экран, защищающий предметы (например сухую траву) от воздействия высоких температур и предотвращающий от пожара, завершает сборку. Поток отработавших газов направлен от передней части к задней [12].

Основной недостаток керамического катализатора – хрупкость блока-носителя.

На автомобилях используются как катколлекторы (когда нейтрализатор установлен непосредственно за двигателем), так и нейтрализаторы, установленные под днищем автомобиля.

Функция автомобильного каталитического нейтрализатора это химическое преобразование отработавших газов двигателя в безопасные для окружающей среды газы (рисунок 1.2).

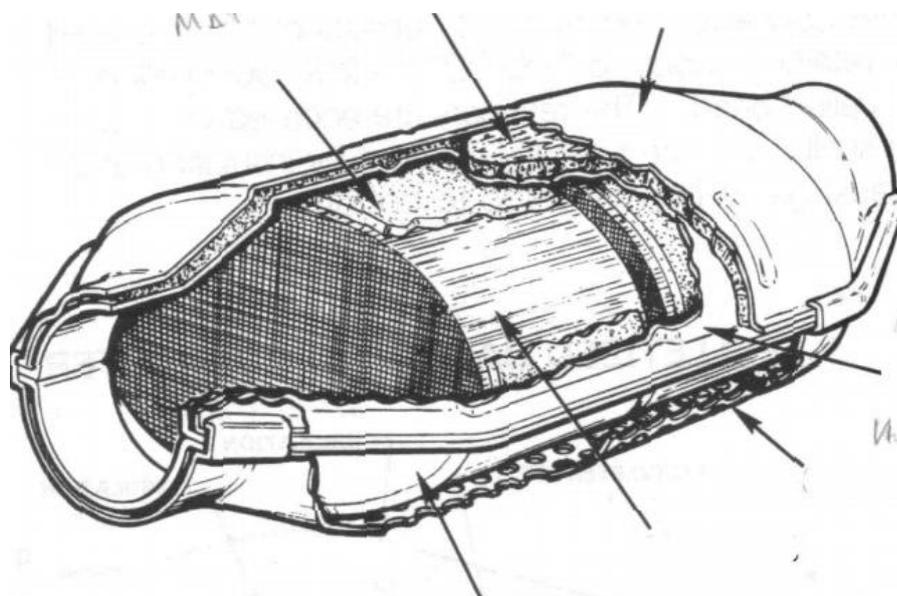


Рисунок 1.1 - Конструкция нейтрализатора с керамическим блоком-носителем

Температурный диапазон оптимальной работы нейтрализатора составляет 250 °С и 850 °С.

Катализатор способствует реакции окисления углеводородов (НС) и угарного газа (СО), превращая их в водяные пары и двуокись углерода, одновременно восстанавливая окислы азота [12].

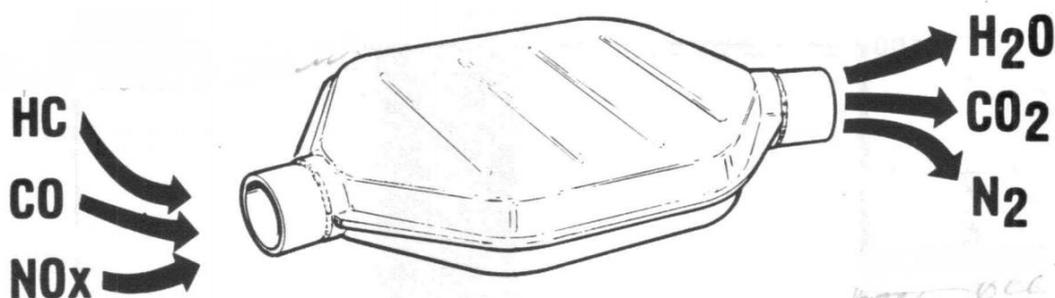


Рисунок 1.2 - Реакция в катализаторе

Основные выхлопные газы двигателя:

- Углеводороды HC
- Угарный газ CO
- Кислород O₂
- Азот N₂
- Пары воды H₂O
- Окислы азота NO_x
- Водород H₂
- Двуокись серы SO₂

Современные стандарты по токсичности отработавших газов автомобильных двигателей регламентируют выбросы следующих газов: углеводороды (метановые (HC) и неметановые (NMHC)), угарный газ (CO) и

окислы азота (NO_x) [13].

Для того что бы обеспечить эффективную работу каталитического нейтрализатора диапазон изменения состава воздушно-топливной смеси должен составлять $\Delta A/F = 14,6 \pm 0,3$. Этот диапазон называется «окном бифункциональности нейтрализатора» в котором происходит оптимальное преобразование токсичных компонентов отработавших газов

Точка, при которой воздушно-топливная смесь химически сбалансирована, называется *стехиометрия*.

Заштрихованная область на рисунке 1.3 — зона «стехиометрической» смеси, по оси абсцисс отображено отношение воздушно-топливной смеси, по оси ординат - эффективность работы нейтрализатора.

Зависимость концентрации вышеуказанных газов в отработавших газов двигателя от соотношения воздух-топливо приведена на рисунке 1.4. Как показано на рисунке, концентрация HC и CO в О.Г. двигателя значительно больше при БОГАТОЙ воздушно-топливной смеси, чем при БЕДНОЙ, в то время как максимальная концентрация NO_x — рядом с точкой стехиометрии. [14]

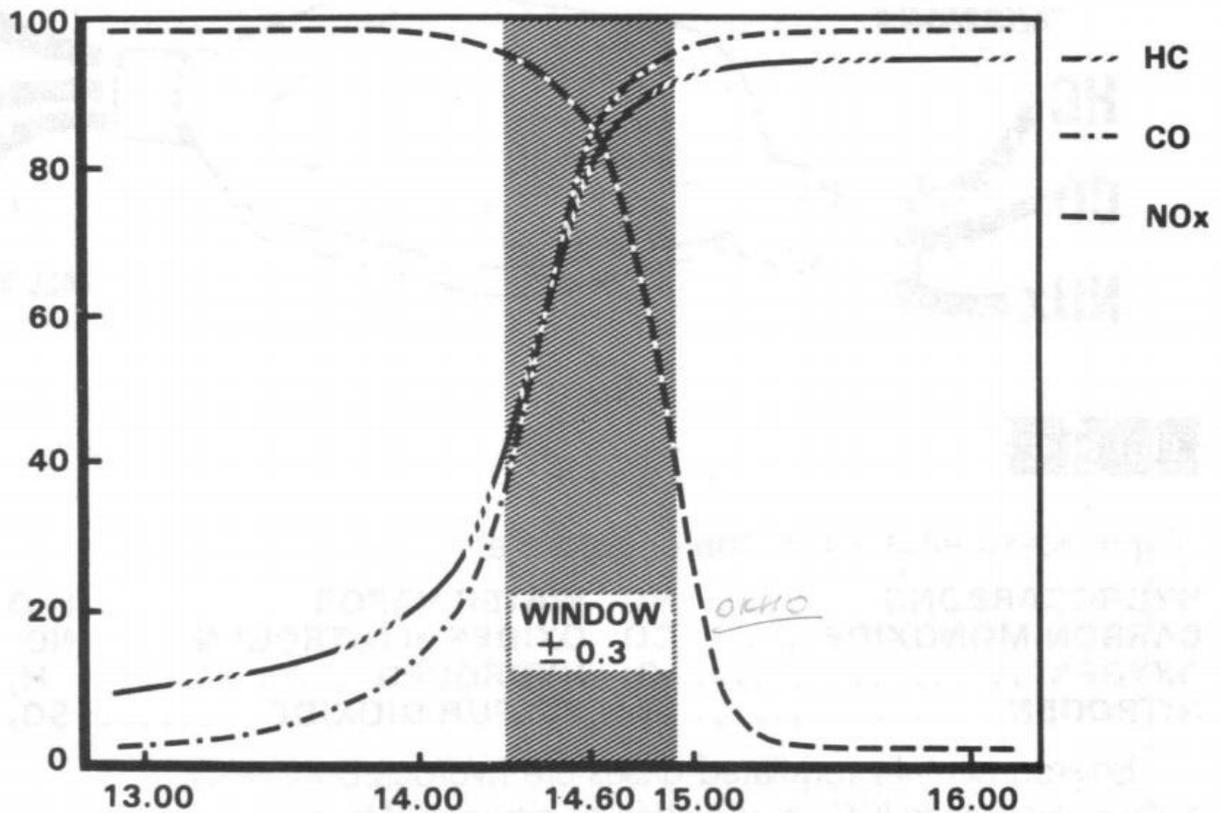


Рисунок 1.3 - Эффективная зона работы нейтрализатора

Оптимальный температурный диапазон работы нейтрализатора – 250 °С и 850 °С. Скорость прогрева катализатора определяется параметром «Light-off» - температура, при которой преобразование токсичного компонента достигает 50 %. Этот параметр имеет свое значение для каждого токсичного компонента [15].

Химические преобразования в каталитическом нейтрализаторе— это реакции окисления и восстановления (таблица 1.1). При окислении молекулы кислорода соединяются с молекулами HC и CO, а при восстановлении двухатомные молекулы кислорода «забираются» из NOx во время реакции с H₂O и HC [16].

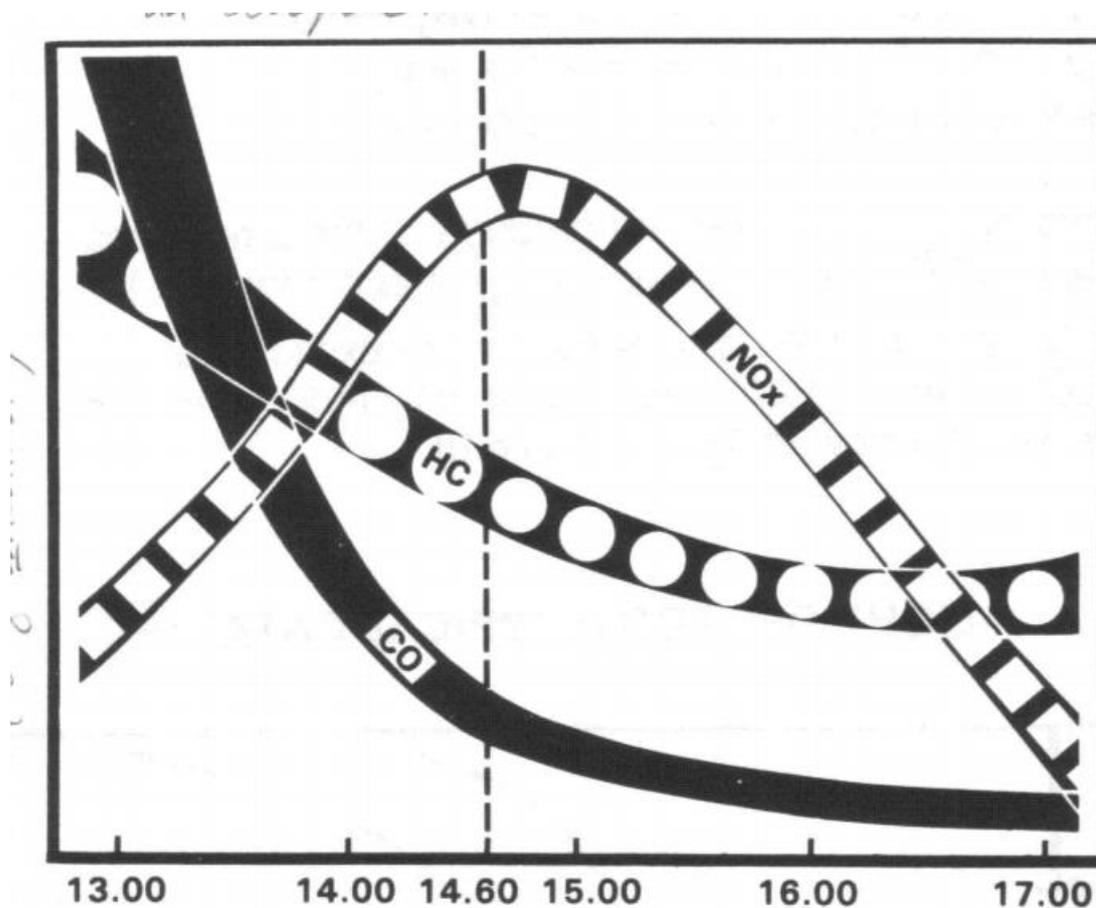


Рисунок 1.4 - Зависимость соотношения воздушно-топливной смеси на выбросы отработавших газов

Таблица 1.1 - Некоторые уравнения преобразований

$\text{HC} + \text{NO} = \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$;	$\text{CO} + 1/2\text{O}_2 = \text{CO}_2$;
$\text{NO} + 5/2\text{H}_2 = \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$;	$\text{HC} + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$;
$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$;	$\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$;
$\text{HC} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2$.	$\text{NO} + \text{CO} = 1/2\text{N}_2 + \text{CO}_2$;

Как отмечалось выше, ожидаемыми продуктами этих реакций являются водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2) и азот (N_2).

HC и CO эффективно окисляются, когда в отработавших газах содержится избыток кислорода («бедная» смесь). NOx эффективно восстанавливается, когда кислорода мало («богатая» смесь) (смотри рисунок 1.3).

Неблагородные металлы (в виде оксидов) играют важную роль термостабилизаторов и компонентов, накапливающих кислород. Как термические стабилизаторы они поддерживают микропористость при повышении температуры. Как компоненты, накапливающие кислород, они свободно поглощают молекулы кислорода при его избытке (работа на «бедных» смесях) и свободно отдают молекулы кислорода, когда нет избытка кислорода (работа на «богатых» смесях). В результате расширяется оптимальное рабочее «окно» стереометрического состава т/в смеси (рисунок 1.3) [17].

Нейтрализаторы разрабатываются и подбираются в зависимости от функции их очистительной работы. Существует три основных типа.

1. Окислительный нейтрализатор — работает при «бедной» т/в смеси. В состав катализатора обычно входит платина или палладий. Этот тип нейтрализатора обеспечивает окисление HC и CO, а NOx контролируются методом рециркуляции отработавших газов.

2. Трехкомпонентный нейтрализатор обычно содержит платину, родий и, иногда, палладий. Для трехкомпонентного нейтрализатора необходимо контролировать соотношение воздух-топливо в пределах «окна» с помощью сложной системы управления двигателем для одновременно высокой конверсии всех токсичных компонентов.

3. Двухосновный нейтрализатор сочетает функции окислительного и трехкомпонентного нейтрализаторов. Двигатель работает около стехиометрии или при чуть «богатой» смеси. Отработавший газ сначала проходит через секцию трехкомпонентного катализатора (обычно это одна вторая объема катализатора), где окисляются HC и CO, а NOx эффективно восстанавливаются, затем подается добавочный воздух, обедняя отработавший газ. Затем этот газ проходит через окислительный катализатор, где доокисляются HC и CO [18].

1.3 Факторы снижающие эффективность нейтрализатора

В эксплуатации может снизиться эффективность нейтрализатора. Существуют три основные причины:

- повышение температуры
- яды (отравления) и
- неисправность системы контроля смесеобразования.

При высоких температурах, как правило, происходит необратимое окисление родия (Rh), отражающееся на преобразовании HC, CO и NOx. Благородные металлы начинают спекаться друг с другом или с другими ближайшими металлами при высоких температурах. Такая окалина существенно снижает количество мест катализатора. Таблица 1.2 иллюстрирует термическое разрушение каталитической поры.

Таблица 1.2 - Процесс снижения активности катализатора

1300 °C	фаза кордиерита переходит в муллит
1200 °C	гамма фаза окиси алюминия переходит в альфа фазу
1150 °C	образуется сплав платины и родия при окислении в/т
900 °C	образуется сплав платины и палладия при окислении в/т
950 °C	окись алюминия переходит в окалину
850 °C	образуются сплавы платина-палладий и платина-родий восстановлении в/т
700 °C	платина переходит в окалину
650 °C	реакция родия и окиси алюминия при окислении в/т
500 °C	оптимальная температура для нейтрализатора

В то время как высокие температуры ускоряют окисление и переход в окалину каталитических материалов, низкие температуры способствуют отравлению или загрязнению каталитических материалов (рисунок 1.5), загрязнения скапливаются на поверхности катализатора, тем самым физически

ограничивая диффузию (проникновение газов в поры блока, где расположены металлы) отработавших газов к зонам активных катализаторов и обратно. Также может произойти химическое или физическое взаимодействие с зонами катализаторов. Гидрокарбонаты в первую очередь подвержены воздействию загрязнений, так как их молекулы больше молекул CO или NOx.

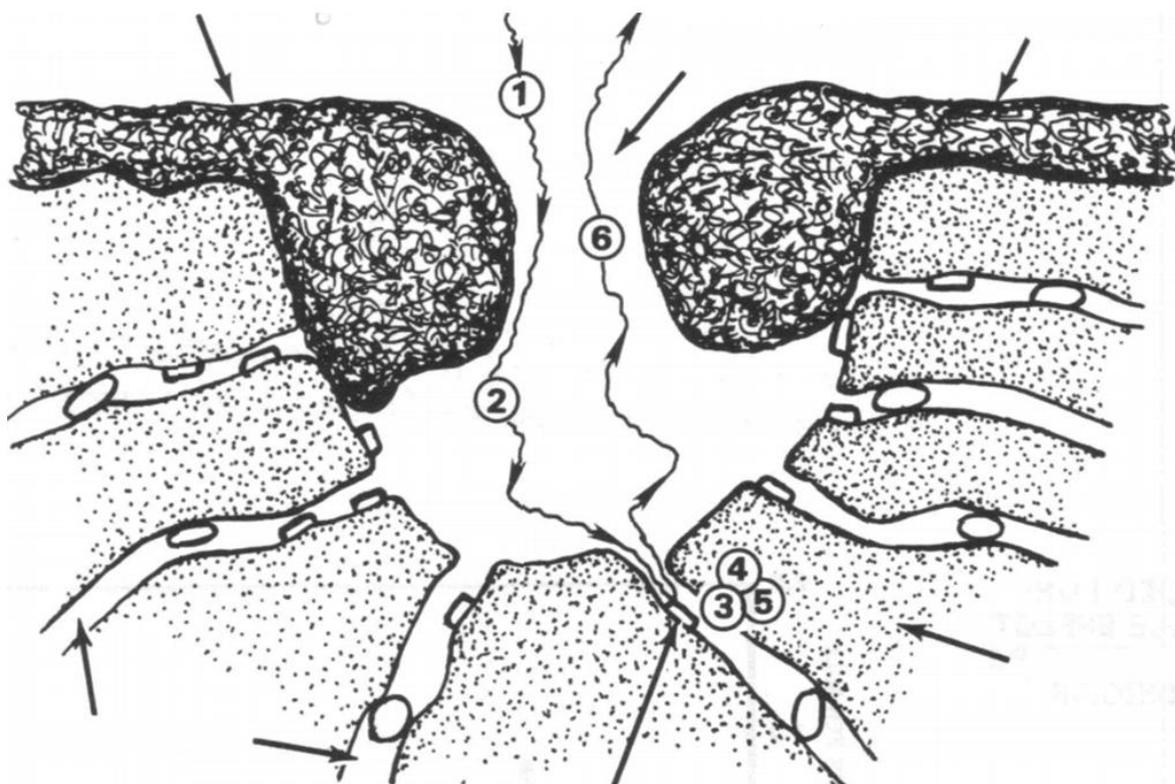


Рисунок 1.5 – Отравление катализатора

- Молекула «А» должна проникнуть на поверхность окиси алюминия
- Диффузия внутри окиси алюминия (отравители затрудняют диффузию)
- Абсорбирование «А» в активной зоне
- Реакция преобразования «А» в «В»
- Молекула «В» выпускается
- «В» пробирается через поры к выходу (отравители также затрудняют эту диффузию)

Таблица 1.3 - Наиболее распространенные загрязнения

Загрязнитель	Наиболее уязвимое соединение	Основной источник
Свинец (Pb)	HC	топливо
Фосфор (P)	HC, CO	масло
Кремний (Si)	HC, CO NO _x	топливо
Сера (S)	HC, CO NO _x	топливо

Свинец — самый распространенный каталитический яд (таблица 1.3). Обычно он попадает туда из топлива. Значительное количество свинца, скопившееся на поверхности катализатора, сильно ухудшает работу нейтрализатора.

Другой распространенный каталитический яд — это фосфор. Он попадает в нейтрализатор из моторного масла.

Как было представлено, эффективность каталитического нейтрализатора определяется несколькими параметрами (например объем, загрузка драгоценными металлами, температура и наличие каталитических ядов). Перечисленные параметры управляются системой контроля с помощью датчиков. Развитие системы контроля за автомобильной токсичностью — это оптимизация всех перечисленных параметров [19].

Температура отработавших газов в нейтрализаторе должна поддерживаться между 375 °C и 700 °C. При этом максимальная температура газов не должна превышать 950 °C.

При разработке системы контроля важно учитывать, чтобы объем катализатора был достаточно большой для принятия температур и токсичных выбросов. Нейтрализатор должен располагаться как можно ближе к двигателю, при этом рабочая температура не должна превышать вышеуказанных параметров [20].

2 Тепловой расчет двигателя на низкокалорийном топливе

Исходные данные: $n_N = 5600 \text{ мин}^{-1}$; $\tau = 4$ – тактность; $\varepsilon = 10,5$

Расчет производится на следующих скоростных режимах:

$n_{\min} = 900 \text{ мин}^{-1}$, $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; $n_M = 2600 \text{ мин}^{-1}$; $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$; $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$;
 $n_N = 5600 \text{ мин}^{-1}$.

В качестве топлива применяется спирт этиловый – $\text{CH}_3(\text{OH})$.

Средний элементарный состав и молекулярная масса топлива:

$C = 0,4117$; $H = 0,1176$, $O = 0,4706$ и $m_T = 34 \text{ кг/кмоль}$.

Низшая теплота сгорания топлива:

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

$$H_u = 33,91 \cdot 0,4117 + 125,6 \cdot 0,1176 - 10,89 \cdot 0,4706 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,1176 = 20957,1 \text{ кДж/кг}.$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,4117}{12} + \frac{0,1176}{4} - \frac{0,4706}{32} \right) = 0,2356 \frac{\text{кмоль возд}}{\text{кг топл}}; \quad (2.2)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,4117 + 8 \cdot 0,1176 - 0,4706 \right) = 6,82 \frac{\text{кг возд}}{\text{кг топл}}. \quad (2.3)$$

Примем $\alpha = 1$ на всех режимах.

Количество горючей смеси:

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

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

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

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

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0; \text{ кмоль H}_2\text{O/кг топл}; \quad (2.7)$$

$$M_{H_2} = 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0; \text{ кмоль H}_2\text{/кг топл}; \quad (2.8)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0; \text{ кмоль N}_2\text{/кг топл}. \quad (2.9)$$

Общее количество продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2}; \text{ кмоль пр.сг/кг топл}. \quad (2.10)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

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

Сведем результаты в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Параметры рабочего тела

M_{H_2} , кмоль H_2 /кг топл.	M_{N_2} , кмоль N_2 /кг топл.	M_2 , кмоль пр.сг./кг топл.	μ_0	n , мин ⁻¹	α	M_1 , кмоль гор.см./кг топл.	M_{CO_2} , кмоль CO_2 /кг топл.	M_{CO} , кмоль СО/кг топл.	M_{H_2O} , кмоль H_2O /кг топл.
0	0,18665	0,2797	1.055	900	1	0,2651	0,03431	0	0,05882

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

Давление остаточных газов:

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

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

В таблице 2.2 приведены результаты расчета параметров окружающей среды и остаточных газов.

Таблица 2.2 - Параметры окружающей среды и остаточных газов

p_r , Мпа	n , мин ⁻¹	ρ_k , кг/м ³	T_k , К	p_k , Мпа	T_r , К
0,103834	900	1,189	293	0,1	1100
0,105349	1500	1,189	293	0,1	1135
0,109164	2600	1,189	293	0,1	1185
0,118	5000	1,189	293	0,1	1280
0,121274	5600	1,189	293	0,1	1320

Принимается $\Delta T_N = 10^\circ\text{C}$, тогда, $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$, следовательно ΔT :

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

Плотность заряда на впуске: $\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k)$; кг/м³.

Потери давления на впуске.

$$\Delta p_a = \left(\frac{v}{A} \right)^2 + \xi_{вп} \frac{\rho_k}{2} \cdot 10^{-6} / 2 \text{ МПа}. \quad (2.14)$$

Давление в конце впуска:

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

Коэффициент остаточных газов:

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

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

Температура в конце впуска:

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

Коэффициент наполнения:

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

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения

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

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Расчет процесса впуска

γ_r	$T_a, \text{ К}$	η_v	$V_a, \text{ К}$	$n, \text{ мин}^{-1}$	$\Delta T, \text{ }^\circ\text{С}$	$\Delta p_a, \text{ Мпа}$	$p_a, \text{ Мпа}$	$\varphi_{оч}$	$\varphi_{доз}$
0,0318	323,2104	0,859	0,942	900	44,71875	0,00599	0,094	1,08	1
0,0293	320,799	0,917	0,984	1500	38,25	0,01012	0,0898	1,02	1,05
0,0276	321,4435	0,940	1,007	2600	16,5625	0,01202	0,0879	0,98	1,1
0,0277	326,3013	0,877	1,079	5000	10	0,01664	0,0833	0,96	1,15
0,0305	330,92	0,8806	1,168	5600	8,125	0,02201	0,0779	0,94	1,2

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

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

Значение показателя политропы сжатия

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

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

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

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

Удельный объём, давление и температура рабочего тела, при УОЗ = Θ ,

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

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

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

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

п, мин ⁻¹	μ	n ₁	P _c , МПа	T _c , К	Θ°ПКВ	V _y , м ³ /кг	P _y , МПа	T _y , К
900	1,0508	1,3756	2,7055	808,878	15	0,1008	2,033	748,24
1500	1,0184	1,37545	2,5855	802,549	22	0,1204	1,616	705,99
2600	1,0184	1,37603	2,5345	805,302	26	0,1472	1,241	662,584
5000	1,0184	1,3756	2,3988	816,614	29	0,1892	0,914	627,63
5600	1,0282	1,3756	2,2443	828,173	32	0,2239	0,756	615,408

Коэффициент выделения теплоты δ, учитывающий неполное сгорание топлива;

$$\delta = \frac{H_u - 119950(-\alpha \underline{L}_o)}{H_u}, \quad (2.26)$$

Коэффициент эффективности сгорания топлива ξ :

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

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

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

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

Давление газов в процессе сгорания

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

где $\psi \varphi'_1 = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \varphi' + \frac{1}{\lambda} \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi'} \right) \right]; \quad (2.31)$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

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

Среднее значение доли топлива сгоревшего на участке 1-2;

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

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

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

Фактор теплоёмкостей K_{1-2}

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

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

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

Температура T_2 газов в процессе сгорания:

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

где:

$$\overline{\psi \phi'_2} = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (2.38)$$

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

средний на рассматриваемом участке коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси,

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

Доля выгоревшего топлива χ рассчитывается по уравнению выгорания:

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

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

qz, кДж/кг	E2, МПа	φ_z , град, пкв	m	n, мин-1	δ	Ψ	ξ
2454,616	59,88841	35	2,5	900	1	0,92	0,92
2180,775	50,93971	45	2,6	1500	1	0,94	0,94
2207,782	50,37929	48	2,7	2600	1	0,95	0,95
2231,183	47,5213	55	2,8	5000	1	0,96	0,96
2149,469	42,31184	62	2,9	5600	1	0,97	0,97

Степень последующего расширения при V_z

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

Средний показатель политропы расширения:

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

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

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

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

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры в процессе расширения:

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

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

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

Произведём проверку выбора значения температуры отработавших газов

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

погрешность расчёта Δ :

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

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

n, мин ⁻¹	V _z , м ³	T _z , К	P _z , МПа	δ	n ₂	P _b , МПа	T _b , К	T _r , К	Δ, %
900	0,1178	3357,56	7,925	8,687	1,168	0,6349	2337,02	1290,866	0,8489
1500	0,1442	3156,08	6,048	7,273	1,173	0,5907	2241,572	1276,149	2,915
2600	0,1498	3150,69	5,808	7,073	1,173	0,5859	2248,466	1299,048	3,923
5000	0,1763	3082,31	4,831	6,317	1,174	0,5553	2238,257	1328,065	4,08
5600	0,1894	3142,67	4,615	5,965	1,171	0,5701	2315,608	1369,725	3,767

Теоретическая индикаторная работа цикла:

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

n , мин ⁻¹	L_i , кДж	P_i , МПа	N_i , кВт	η_i	g_i , г/кВт*ч
900	1,026639	1,204571	12,49185	0,221439	779,8689
1500	1,043952	1,172603	24,27765	0,201899	744,1937
2600	1,062583	1,16627	47,05012	0,192218	695,5366
3500	1,082988	1,159871	64,44167	0,185759	691,5813
5000	1,135628	1,16327	91,92533	0,207763	687,8053
5600	1,209031	1,14409	97,53989	0,217589	723,1133

Давление механических потерь при $S/D = 79/90 = 0.877$, если средняя

скорость поршня: $v_n = \frac{Sn}{30}$, м/с

Среднее давление механических потерь

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

Среднее эффективное давление

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

Механический К.П.Д.

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

Эффективный К.П.Д.

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

Удельный эффективный расход топлива

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

Эффективная мощность

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

Часовой расход топлива

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

Крутящий момент

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

Расчет эффективных показателей двигателя приведен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Эффективные показатели двигателя

$V_{\text{п.ср}},$ м/с	$p_m,$ Мпа	$p_e,$ Мпа	η_m	η_e	$g_e,$ г/(кВт.ч)	$N_e,$ кВт	$M_e,$ Н.м	$G_T,$ кг/ч	$n,$ мин ⁻¹
2,13	0,0671	1,137471	0,94428	0,2091	825,87382	11,796	119,4	6,9285	900
3,55	0,08586	1,086743	0,9267	0,1871	802,99001	22,5	134,6	14,34	1500
6,153	0,120224	1,046046	0,8969	0,1724	775,47589	42,2	147,07	24,375	2600
8,283	0,14834	1,011531	0,8721	0,162	793,001	56,2	145,2	35,6	3500
11,833	0,1952	0,96807	0,8322	0,1729	826,49322	76,5	128	50,006	5000
13,253	0,213944	0,930146	0,813	0,1769	889,43744	81,3	117,8	56,401	5600

3 Расчет кинематики

Премещение поршня

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

Скорость поршня

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

Ускорения поршня

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

4 Динамический расчет

Определим массу подвижных элементов кривошипно-шатунного механизма:

- масса поршневой группы (для поршня из алюминиевого сплава $m_{\text{п}}=100 \text{ кг/м}^2$)

$$m_n = m_n \cdot F_n = 100 \cdot 0,005282 = 0,528 \text{ кг}; \quad (4.1)$$

- масса шатуна (для стального кованного шатуна $m_{\text{ш}}=150 \text{ кг/м}^2$)

$$m_{\text{ш}} = m_{\text{ш}} \cdot F_n = 150 \cdot 0,0052783 = 0,792 \text{ кг}; \quad (4.2)$$

- масса неуравновешенных частей одного колена вала без противовесов

$$m_k = m_k \cdot F_n = 140 \cdot 0,0052783 = 0,739 \text{ кг}. \quad (4.3)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$m_{\text{ш.п.}} = 0,275 \cdot m_{\text{ш}} = 0,275 \cdot 0,792 = 0,218 \text{ кг}. \quad (4.4)$$

Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа

$$m_{\text{ш.к.}} = 0,725 \cdot m_{\text{ш}} = 0,725 \cdot 0,792 = 0,574 \text{ кг}. \quad (4.5)$$

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение

$$m_j = m_n + m_{\text{ш.п.}} = 0,528 + 0,218 = 0,746 \text{ кг}. \quad (4.6)$$

Массы, совершающие вращательное движение

$$m_R = m_k + m_{ш.к} = 0,739 + 0,574 = 1,313 \text{ кг.} \quad (4.7)$$

Определяем значения силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс

$$P_j = -m_j j = 0,746 * j \quad (4.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна одного цилиндра

$$K_{Rш} = -m_{ш.к} \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,574 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -6,9974 \text{ кН.} \quad (4.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа

$$K_{Rк} = -m_k \cdot R \cdot \omega^2 \cdot 10^{-3} = -0,739 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -9,0088 \text{ кН.} \quad (4.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2 = -1,0313 \cdot 0,0355 \cdot 586^2 \cdot 10^{-3} = -16,0062 \text{ кН.} \quad (4.11)$$

Сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца

$$P = \Delta P_\Gamma + P_j \text{ (кН)} \quad (4.12)$$

Нормальная сила

$$N = P \operatorname{tg} \beta \quad (\text{кН}) \quad (4.13)$$

Сила, действующая вдоль шатуна

$$S = P * \frac{1}{\cos \beta} \quad (\text{кН}) \quad (4.14)$$

Сила, действующая по радиусу кривошипа

$$K = P * \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \quad (\text{кН}) \quad (4.15)$$

Полная тангенциальная сила

$$T = \frac{p \sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \quad (\text{кН}) \quad (4.16)$$

Результаты динамического расчета графически представлены на плакате.

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = T \cdot R \quad (4.17)$$

Средний крутящий момент двигателя:

- по данным теплового расчета

$$M_{кр.ц.} = M_i = \frac{M_e}{\eta_M} = \frac{145}{0,86} = 168 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (4.18)$$

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

$$M_{кр.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{M_{кр.i} + M_{кр.i+1}}{2} \right) \cdot 10^\circ}{360^\circ} = 155 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.19)$$

Ошибка расчета:

$$\Delta = (168-161) \cdot 100 / 168 = 4,2\% \quad (4.20)$$

Максимальный и минимальный крутящие моменты:

$$M_{кр.макс} = 409,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.21)$$

$$M_{кр.мин} = - 57,0 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (4.22)$$

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{Rш} = (K - 5108) \text{ Н}. \quad (4.23)$$

Среднее значение $R_{ш.ш.}$ определяется по развернутой диаграмме

$$R_{ш.ш.ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{ш.ш.i} + R_{ш.ш.i+1}) / 2) \cdot 10^\circ / 720^\circ = 9342 \text{ Н} \quad (4.24)$$

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа

$$K_{P_k} = P_k + K_{Rk} = (P_k - 15324), \text{ Н} \quad (4.28)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала

$$R_k = \sqrt{R_{u.u}^2 + K_{Rk}^2} \quad (4.29)$$

Сила, действующая на первую коренную шейку

$$R_{к.ш.1} = -0,5 * R_{k1} \quad (4.30)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку

$$R_{к.ш.2} = \sqrt{T_{k2}^2 + K_{k2}^2} \quad (4.31)$$

где:

$$T_{k2} = -0.5 * (T_1 + T_2 * \cos \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \sin \gamma_{k(1-2)}) = -0.5 * (T_1 + T_2 * \cos 180^\circ - K_{pk2} * \sin 180^\circ) = -0.5 * (T_1 - T_2); \quad (4.32)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk1} + T_2 * \sin \gamma_{k(1-2)} - K_{pk2} * \cos \gamma_{k(1-2)}) = -0.5 * (T_1 + T_2 * \sin 180^\circ - K_{pk2} * \cos 180^\circ) = -0.5 * (K_{pk1} - K_{pk2}). \quad (4.33)$$

Сила, действующая на третью коренную шейку

$$R_{к.ш.3} = \sqrt{T_{k3}^2 + K_{k3}^2} \quad (4.34)$$

где:

$$T_{k3} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \sin \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (T_2 + T_3 * \cos 0^\circ - K_{pk3} * \sin 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (T_2 + T_3); \quad (4.35)$$

$$K_{k2} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin \gamma_{k(2-3)} - K_{pk3} * \cos \gamma_{k(2-3)}) \cos \gamma_{k(1-2)} = -0.5 * (K_{pk2} + T_3 * \sin 0^\circ - K_{pk3} * \cos 0^\circ) * \cos 180^\circ = 0.5 * (K_{pk2} - K_{pk3}). \quad (4.36)$$

Диаграммы $R_{к.ш1}$, $R_{к.ш2}$, $R_{к.ш3}$, перестроены в прямоугольные координаты.

По этим диаграммам определяем:

- для 1 (5)-й коренной шейки:

$$R_{к.ш1ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{к.ш1i} + R_{к.ш1i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 9325 \text{ H} , \quad (4.36)$$

- для 2 (4)-й коренной шейки:

$$R_{к.ш2ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{к.ш2i} + R_{к.ш2i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 3350 \text{ H} , \quad (4.37)$$

- для 3-й коренной шейки:

$$R_{к.ш3ср} = \sum_{i=1}^n ((R_{к.ш3i} + R_{к.ш3i+1}) / 2) * 10^\circ / 720^\circ = 18058 \text{ H} , \quad (4.38)$$

Равномерность крутящего момента

$$\mu = \frac{M_{кр.мах} - M_{кр.мин}}{M_{кр.ср.}} = \frac{199,87 - (201,57 - 147,93)}{147,93} = 4,74 . \quad (4.49)$$

Избыточная работа крутящего момента

$$L_{изб} = A * 4 * \pi / (4 * 90) = 16961 * 4 * \pi / 360 = 592,05 \text{ Дж} , \quad (4.50)$$

где $L_{изб}$ - площадь над прямой среднего крутящего момента.

Равномерность хода двигателя принимаем $\delta = 0,015$.

Момент инерции движущихся масс двигателя, приведенных к оси коленчатого вала

$$I_0 = L_{изб} / (\delta * \omega^2) = 592,02 / (0,015 * 586^2) = 0,115 \text{ кг} * \text{м}^2 . \quad (4.51)$$

5 Специальная часть

Для сравнительного анализа основные показатели спроектированного двигателя сведены в таблицу 5.1.

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

n , мин ⁻¹	$V_{п.ср}$, м/с	p_m , МПа	p_e , МПа	η_m	η_e	g_e , г/(кВт.ч)	N_e , кВт	M_e , Н.м	G_t , кг/ч
900	2,13	0,0671	1,137471	0,94428	0,2091	825,8738	11,796	119,4	6,9285
1500	3,55	0,08586	1,086743	0,9267	0,1871	802,99	22,5	134,6	14,34
2600	6,153	0,120224	1,046046	0,8969	0,1724	775,4759	42,2	147,07	24,375
3500	8,283	0,14834	1,011531	0,8721	0,162	793,001	56,2	145,2	35,6
5000	11,833	0,1952	0,96807	0,8322	0,1729	826,4932	76,5	128	50,006
5600	13,253	0,213944	0,930146	0,813	0,1769	889,4374	81,3	117,8	56,401

5.1 Особенности применения спирта как моторное топливо

Спирт обладает целым рядом преимуществ по сравнению с нефтяным топливом, и только большая стоимость, малая теплопроводность, высокая гигроскопичность и повышенное содержание альдегидов препятствуют его массовому применению в качестве топлива для ДВС. А достоинства спирта следующие:

– Высокие антидетонационные свойства (октановое число – более 100). Введение этанола в бензин обеспечивает повышение октанового числа. Каждые 3% этанола в смеси с бензином обеспечивают повышение октанового числа горючего в среднем на 1 единицу. То есть спирт может быть использован в качестве высокооктановой добавки к топливу. Он повышает и детонационную стойкость горючего, так как температура самовоспламенения чистого бензина составляет 290°C, а его смеси с этанолом – 425°C.

– Процесс испарения начинается во впускном трубопроводе и заканчивается в цилиндре при ходе сжатия, обеспечивая охлаждение деталей двигателя – поршней и клапанов – и более полное наполнение цилиндров

свежим зарядом (компрессорный эффект с 5-процентным увеличением мощности).

– Надежное воспламенение от электрической искры при значительных изменениях состава горючей смеси (диапазон воспламеняемости по коэффициенту избытка воздуха для спирта составляет примерно 0,4...1,7).

– КПД двигателя, работающего на чистом спирте, выше, чем при использовании бензина.

– Меньшая токсичность отработавших газов.

Теплотворностью топлива называется количество тепла, выделяемое при сгорании одного килограмма его. Теплотворность измеряется в килокалориях на 1 кг топлива. Килокалория равна количеству тепла, необходимого для нагревания одного килограмма воды на 1°. Теплотворность различных топлив составляет:

– бензина 10 200—11 000 ккал/кг,

– бензола 9700—10 000 ккал/кг,

– спирта 6000—6400 ккал/кг, чем меньше теплотворность топлива, тем больше его необходимо израсходовать для получения требуемой мощности.

Спирт в качестве топлива для двигателей мотоциклов можно применять древесный (метиловый) и винный (этиловый). Спирт позволяет повысить мощность двигателя как за счет повышения степени сжатия, так и за счет увеличения наполнения двигателя горючей смесью. Наиболее часто спирт применяют не в чистом виде, а в смеси с бензином и бензолом в соотношении по 1/3 каждого компонента. Такая смесь хорошо испаряется, способствует лучшему и устойчивому растворению каждой составляющей.

При применении спирта следует учитывать его большую способность поглощать воду (гигроскопичность). Спирт с примесью воды плохо растворяется, смесь расслаивается, т. е. получается неоднородной, что нарушает нормальную работу двигателя.

Большой расход спиртовых смесей вызывает необходимость увеличения пропускной способности жиклеров. Качество топлива обычно проверяется по основным показателям в лаборатории на заводе или на нефтебазе, после чего на этот сорт топлива выдается специальный паспорт. В том случае, когда неизвестно когда и откуда получено топливо, некоторые его качества проверяют и более простым способом.

Этанол и бензино-этанольные топлива

Несмотря на более высокую стоимость по сравнению с метиловым спиртом, этанол используется в качестве моторного топлива в значительно больших объемах чем метанол. Это обстоятельство обусловлено такими преимуществами этанола:

- более высокая теплотворная способность - на 35% выше таковой для метанола;
- лучшая растворимость в бензине;
- меньшая коррозионная агрессивность по отношению к резинотехническим изделиям и металлам;
- значительно меньшая токсичность;
- бензины, содержащие этанол, характеризуются лучшими антидетонационными свойствами.

Генри Форд был первым, кто начал использовать этанола в качестве моторного топлива, который в 1880 г. создал первый автомобиль, работавший на этаноле. В 1902 г. на конкурсе в Париже были выставлены более 70 карбюраторных двигателей, работающих на этаноле и смесях этанола с бензином.

Однако широкое применение этанола в качестве горючего началось в 70-х и особенно в 80 — 90-е гг. прошлого столетия, что было обусловлено нефтяными кризисами.

Этанол получают такими способами:

- методом прямой или сернокислотной гидратации этилена — синтетический этанол;

- гидролизом непищевого растительного сырья - гидролизный этанол;
- ферментативной переработкой пищевого растительного сырья - пищевой этанол.

При производстве этанола методом прямой гидратации этилена используются фосфорнокислотные катализаторы на твердом носителе; процесс протекает при температуре 260 — 280 °С и давлении 7 — 8 МПа.

Сбраживанием продуктов гидролиза древесины получают гидролизный этанол. Необходимые для сбраживания сахара получают гидролизом древесного сырья - опилки, щепы и другие отходы деревообработки. Целлюлозу, содержащую полисахариды, обрабатывают 0,5%-ным раствором серной кислоты при 180 °С и 1 - 1,5 МПа, что приводит к образованию глюкозы, которую затем подвергают спиртовому брожению.

При получении этанола из пищевого сырья используются такие растительные продукты, как зерно, картофель, сахарный тростник, кукуруза и др., содержащие крахмал или углеводы. Сущность метода заключается в сбраживании этих продуктов при помощи бактерий, перерабатывающих углеводы в этанол.

Синтетический этанол является наиболее дешевым продуктом по сравнению с этиловым спиртом, полученным другими процессами.

Чистый этанол используется в качестве моторного топлива в сравнительно небольших объемах, широко применяются различные смеси бензина с этанолом.

Наиболее широко этанол в качестве моторного топлива используется в Бразилии. Более 90% автомобилей в Бразилии используют моторное топливо, содержащее этанол.

Новая топливная система – FFV (flexible fuel vehicle - автомобиль с гибкой топливной системой) использует бензино-этанольное топливо E 85 (85% этанола и 15% бензина). Автомобили с FFV обладают такими характеристиками:

- они имеют единый топливный бак для любого вида горючего и систему автоматической перенастройки и поддержания необходимого соотношения топливо-воздух в зависимости от состава топлива;

- резинотехнические изделия являются устойчивыми по отношению к спирту и бензину;

- хорошие энергетические характеристики;

- используют каталитические нейтрализаторы отработавших газов.

Трансатлантический концерн “General Motors” в 1993 г. выпустил 320 автомобилей Chevrolet Lumina Variable Fuel Vehicles (VFS).

В 1994 г. компания Ford построила несколько автомобилей, использующих топливо E 85, Taurus FFV.

В 2002 г. компания Daimler Chrysler продала миллионный автомобиль, использующий в качестве топлива E 85.

Исследования, проведенные в Канаде, показали, что использование топлива E 85 позволяет снизить выбросы газов, вызывающих парниковый эффект, на 37% (для E 10 только на 4%). Содержание токсичных веществ в отработавших газах снижается: оксида углерода на 25 – 39%, оксидов азота на 30%, канцерогенных ароматических углеводородов на 50%, летучих органических соединений на 30%.

6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

6.1 Оценка безопасности и экологичности объекта разработки бакалаврской работы

В бакалаврской работе проведена модернизация двигателя ВАЗ с целью снижения токсичности по углеводородам за счет реализации с учетом его компоновки, системы непосредственного впрыска топлива с расслоение горючего и окислителя в зоне свечи зажигания на частичных и низких нагрузках.

6.1.1 Оценка взрыво-пожаробезопасности объекта разработки бакалаврской работы

Пожаро- и взрыво-безопасность проектируемого двигателя не измениться так как вид топлива в ходе модернизации не поменялся, а следовательно и условий для изменения параметров пожаро- взрыво-безопасности автомобиля в целом не поменялись. Можно лишь отметить наличие насоса высокого давления обеспечивающего подачу топлива с давлением в 120 атмосфер, следовательно требуется более внимательно, на техническом обслуживании, проверять состояние топливопроводов высокого давления.

6.1.2 Снижение токсичности по несгоревшим углеводородам в проектируемом двигателе

Состав выхлопных газов в нашем случае будет сильно зависеть от режима работы двигателя, разделим наши режимы на два основных вида, это режим гомогенного стехиометрического сгорания, и режим обедненной работы при расслоении смеси.

- Для углеводородов в первом случае будет классическая ситуация, как и до модернизации, существенного изменения их концентрации на режиме максимальной мощности не наблюдается, для второго случая режимы с расслоением горючего и окислителя, там будет заметное снижение выбросов углеводородов, причем при уменьшении нагрузки их количество будет стремиться к нулю, так как основной источник углеводородов это пристеночный слой и зоны гашения, а в них концентрация топлива будет минимальна, а на третьем режиме работы и совсем равна нулю.
- Для монооксида углерода его содержание также будет на мощностном режиме примерно таким же как на базовом, а при обеднении смеси будет уменьшаться.
- Для оксидов азота ситуация не столь хорошая, хотя их количество не будет заметно превышать то, которое образуется при работе базового двигателя, но они, за исключением режима максимальной мощности, не смогут восстанавливаться на катализаторе из-за недостатка несгоревших углеводородов в продуктах сгорания, следовательно для их нейтрализации придется применять специальный нейтрализатор накопительного типа, который вылавливает их из потока выхлопных газов и накапливает в отстойнике, а при включении специального режима обогащения смеси он их восстанавливает за счет энергии дожигания продуктов неполного сгорания.
- По твердым частицам все не так хорошо как с остальными видами токсичных компонентов, ведь не секрет, что именно массовое распространение двигателей с непосредственным впрыском топлива вынудило европейские власти, а также Японию и США ввести нормирование на выбросы твердых частиц бензиновыми двигателями. Это происходит в том случае когда в зоне обогащения смеси у свечи зажигания при расслоении заряда, происходит неполное сгорание в связи с недостатком кислорода, и атомы углерода при высоком давлении

начинают образовывать частички сажи, как на дизельном двигателе, а при перемешивании с воздухом эти частички сажи по какойто причине не всегда доокисляются до продуктов полного сгорания.

6.1.3 Оценка экологичности, по шуму, объекта разработки бакалаврской работы

Увеличение шама от работы двигателя будет связано с наличием дополнительного агрегата, а именно насоса высокого давления, работа которого может несколько сказаться на общем шуме двигателя, в остальном шум принципиально изменится не должен инаходится в тех же пределах как и для базового двигателя.

6.2 Выводы по разделу

1. Пожаробезопасность не изменится.
2. Шум двигателя на основных режимах работы не изменится.
3. Токсичность по продуктам неполного сгорания и углекислому газу снизится, для выполнения норм токсичности ЕВРО-6 требуется установка катализатора дожигателя продуктов неполного сгорания, после катализатора накопителя оксидов азота.
4. Для выполнения норм по токсичности оксидами азота, следует устанавливать каталитический нейтрализатор накопительного типа.
5. В целом двигатель удовлетворяет современным требованиям по экологичности, но требуется существенной модернизации системы нейтрализации отработавших газов установкой двух нейтрализаторов, один для оксидов азота, а второй для продуктов неполного сгорания, и совсем на выпуске сажеуловителя, для уменьшения вбросов твердых частиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе спроектирован новый автомобильный двигатель с искровым зажиганием работающий на спирте (этаноле), выполняющий нормы ЕВРО-4. Проведены основные расчеты двигателя, а именно, тепловой, кинематический, динамический, основных деталей и систем двигателя, проведена оценка влияния спирта как моторного топлива на эффективность процесса сгорания и токсичность отработавших газов.

Получено в двигателе на альтернативном топливе (спирте) следующие основные показатели:

- минимальный удельный эффективный расход топлива $775 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$;
- максимальную мощность при номинальных оборотах $n=5600 \text{ мин}^{-1}$ - 81 кВт ;
- снижение токсичности в отработавших газах по несгоревшим углеводородам (СН), оксидам углерода (СО) и оксидам азота, также произойдет.

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 Peters, N. Laminar flamelet concepts in turbulent combustion [Text] / N. Peters // In: 21st Symposium (international) on combustion: 1986. - p. 1231-50.
- 3 Hegedus, L.L. Computer-Controlled Catalytic Converters [Text] / L.L. Hegedus, J.J. Gumbleton // GM Research Laboratories PC-126, July 18. 1979. - p. 126-142.
- 4 Taylor, K.C. Automotive Catalytic Converters [Text] / K.C.Taylor // GM Research Laboratories. PCP-192, GMR-4190, October 8, 1982. - p.362-412
- 5 Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями [Текст]/ Под ред. Д. Хиллиарда, Дж.С. Спрингера; Пер. с англ. А.М. Васильева; Под ред. А. В. Кострова. — М.: Машиностроение, 1988. — 504 с.
- 6 Heinz, C. Investigation of a Novel Pre-Chamber-Concept for Lean Premixed Combustion in Large Bore Gas Motors [Text] / C. Heinz, F. Mittermayer, T. Sattelmayer // Projektplakat. Technische Universität München. 2005 – p. 152-191
- 7 Au, M. Hydrogen storage properties of magnesium based nanostructured composite materials [Text] / M. Au // Materials Science and Engineering. - 2005. - Т. 117. - №1. - p. 37-44.
- 8 Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
- 9 Кузнецов, Ю.М. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта [Текст]/ Ю.М. Кузнецов // Транспорт, М.: 1986 - 272 с.
- 10 Луканин, В.Н. Промышленная транспортная экология [Текст]/ В.Н. Луканин // Высшая школа, М.: 2001 - 273 с.

- 11 Долин, П.А. Справочник по технике безопасности [Текст]/ П.А. Долин // Энергоатомиздат, М.: 1985 - 824 с.
- 12 Duranti, A. Ethnography of Speaking: Toward a Linguistics of praxis [Text] / A. Duranti // Linguistics: The Cambridge Survey. – Cambridge, 1988. – pp. 210-228.
- 13 Beran, R. Entwicklung des H17/24G - Dem ersten koreanischen Gasmotor [Text] / R. Beran, T. Baufeld, H. Philipp, J. T. Kim, J. S. Kim // in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007. – pp. 55-68.
- 14 Bonnevie-Svendsen, A. Double-Vibe-Model for heat release in lean burn gas engines with prechamber ignition [Text] / Bonnevie-Svendsen, A., Boulouchos, K., Lämmle, Ch., Vlakos, I. // in: 6. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau-Roßlau. 2009. - pp. 173-208.
- 15 Chmela, F., Dimitrov, D. Simulation der Verbrennung bei Vorkammer-Großgasmotoren [Text] / F. Chmela, D. Dimitrov // in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007. - pp. 613-645.
- 16 Chmela, F. Konsistente Methodik zur Vorausrechnung der Verbrennung in Kolbenkraftmaschinen [Text] / F. Chmela, D. Dimitrov, G. Pirker, A. Wimmer // MTZ Motortechnische Zeitschrift 67. 2006. - pp. 6-25.
- 17 Dobski, T. Combustion of Low Calorific Natural gases in Gas Engines in Pipeline Gas Transportation Systems [Text] / T. Dobski, J. Wawrzyniak, B. Jancy // in: 5. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau. 2007. - pp. 266-305.
- 18 Haslacher, R. Einsatz optischer Messmethoden bei der Entwicklung von Brennverfahren für Wasserstoff-Erdgas-Gemische [Text] / R. Haslacher, Ch. Skalla, Th. Jauk, H. Eichlseder // in 6. Dessauer Gasmotorenkonferenz. Dessau-Roßlau. 2009. - pp. 702-722.
- 19 Heinz, C. Investigation of a Novel Pre-Chamber-Concept for Lean Premixed Combustion in Large Bore Gas Motors [Text] / C. Heinz, F. Mittermayer, T. Sattelmayer // Projektplakat. Technische Universität München. 2005. - pp. 135-147.

20 Defu, Z., Qingping, Z. Investigation on the Combustion Characteristics of the Compression Ignition Divided Chamber Combustion System of the Natural Gas Engine [Text] / Z. Defu, Z. Qingping // in: CIMAC Congress. Wien. 2007.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Исходные данные для теплового расчета

Угол опережения зажигания	Продолжительность процесса сгорания	Коэффициент избытка воздуха	Степень сжатия	Коэффициент молекулярного изменения смеси	P_y	T_y	V_a	Полнота сгорания топлива	E_2	Коэффициент остаточных газов	λ	Частота вращения КВ
14	32	1	10,5	1,055477	1,876482	779,09	1,0407	0,87	45,51205	0,033677	0,293388	900
17	40	1	10,5	1,055477	1,706174	752,485	1,0311	0,87	46,03534	0,031463	0,293388	1500
18	42	1	10,5	1,055477	1,651547	738,0093	1,019059	0,87	46,60101	0,031005	0,29339	2600
19	46	1	10,5	1,055477	1,594123	724,4123	1,010148	0,87	47,00698	0,031117	0,29339	3500
23	54	1	10,5	1,055477	1,37467	694,8	1,0089	0,87	46,81844	0,036589	0,293388	5000
26	60	1	10,5	1,055477	1,223856	674,5445	1,01099	0,87	46,56919	0,039944	0,29339	5600

Таблица А2 - Результаты теплового расчета при $n = 900 \text{ мин}^{-1}$

Текущий угол ПКВ	Угол ПКВ от ИЗ	$T_{пр}$	$T_{расч}$	T_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	p	$\psi(\phi')$	μ_1	μ_{1-2}	σ	X_{1-2}	ΔX_{1-2}	X
346	0	779,0932	779,09321		1,357112	6,600476	1,876482	1,18193	1	1	0,0383	3,29E-06	6,59E-06	0
347	1	784,3859	785,32044	781,7396	1,356346	6,612516	1,932165	1,15704	1	1	0,0331	4,94E-05	9,88E-05	6,59E-06
348	2	791,2869	792,20485	787,8364	1,35538	6,627778	1,988803	1,13395	1	1	0,0282	0,000214	0,000428	0,000105
349	3	799,9365	800,83025	795,6117	1,354124	6,647743	2,04895	1,11266	1	1,00002	0,0237	0,000576	0,001152	0,000533
350	4	811,8521	812,70201	805,8943	1,3524	6,675362	2,116451	1,09319	1,0001	1,00006	0,0196	0,001212	0,002424	0,001685
351	5	828,9464	829,70621	820,3993	1,35003	6,713795	2,196396	1,07554	1,0002	1,00016	0,0159	0,002196	0,004393	0,004109
352	6	853,4676	854,03499	841,207	1,346866	6,765914	2,294953	1,05973	1,0005	1,00034	0,0126	0,003596	0,007192	0,008502

Продолжени таблиц А2

353	7	887,8971	888,06665	870,6824	1,342837	6,833677	2,419035	1,04576	1,0008	1,00065	0,0096	0,005465	0,01093	0,015693
354	8	934,7992	934,19842	911,3482	1,33811	6,915228	2,575789	1,03364	1,0014	1,00114	0,0071	0,00784	0,015679	0,026624
355	9	993,4455	994,6646	964,1223	1,332761	7,010316	2,771997	1,02337	1,0023	1,00185	0,0049	0,010727	0,021454	0,042303
356	10	1069,907	1071,2899	1031,676	1,32694	7,117338	3,013266	1,01496	1,0034	1,00285	0,0031	0,014096	0,028192	0,063757
357	11	1163,623	1165,2472	1116,765	1,320997	7,230593	3,303194	1,00842	1,0049	1,00418	0,0018	0,01787	0,035739	0,091949
358	12	1274,922	1276,8854	1219,273	1,357112	6,600476	3,642736	1,00374	1,0069	1,00589	0,0008	0,021915	0,043829	0,127688
359	13	1403,124	1405,5398	1474,773	1,315199	7,345207	4,029544	1,00094	1,0092	1,00803	0,0002	0,02604	0,05208	0,171517
360	14	1546,422	1549,4045	1624,127	1,30976	7,456608	4,457498	1	1,012	1,0106	0	0,030001	0,060003	0,223597
361	15	1701,832	1705,4808	1784,626	1,30483	7,561031	4,916518	1,00094	1,0152	1,01361	0,0002	0,033514	0,067028	0,2836
362	16	1867,419	1869,619	1950,901	1,300467	7,656312	5,392696	1,00374	1,0188	1,01702	0,0008	0,036279	0,072557	0,350628
363	17	2034,384	2036,7435	2116,532	1,29673	7,740129	5,869042	1,00842	1,0227	1,02076	0,0018	0,038015	0,07603	0,423186
364	18	2198,68	2201,1938	2276,6	1,293632	7,811241	6,326644	1,01496	1,0268	1,02475	0,0031	0,038505	0,077009	0,499216
365	19	2354,52	2357,1761	2425,532	1,29112	7,870019	6,746236	1,02337	1,0309	1,02886	0,0049	0,037631	0,075261	0,576225
366	20	2496,543	2499,3264	2558,455	1,289143	7,916982	7,110144	1,03364	1,035	1,03295	0,0071	0,03541	0,07082	0,651486
367	21	2620,367	2623,2594	2671,702	1,287642	7,953081	7,404201	1,04576	1,0388	1,03687	0,0096	0,032007	0,064013	0,722307
368	22	2723,036	2726,0167	2763,157	1,28655	7,979574	7,619296	1,05973	1,0422	1,04048	0,0126	0,027716	0,055432	0,78632
369	23	2803,279	2806,3268	2832,402	1,2858	7,997897	7,752254	1,07554	1,0452	1,04369	0,0159	0,022927	0,045854	0,841751
370	24	2861,526	2864,6223	2880,604	1,285325	8,009557	7,805826	1,09319	1,0476	1,04641	0,0196	0,018061	0,036122	0,887605
371	25	2899,681	2902,8075	2910,185	1,285062	8,016018	7,787789	1,11266	1,0496	1,04861	0,0237	0,013504	0,027009	0,923727
372	26	2920,689	2923,8308	2924,35	1,284957	8,018614	7,709366	1,13395	1,051	1,0503	0,0282	0,009551	0,019101	0,950735
373	27	2928,011	2931,1568	2926,561	1,284962	8,018479	7,583351	1,15704	1,0521	1,05154	0,0331	0,006365	0,01273	0,969837
374	28	2925,112	2928,2531	2920,087	1,285042	8,016514	7,422344	1,18193	1,0527	1,05239	0,0383	0,003982	0,007963	0,982566
375	29	2915,062	2918,1935	2907,688	1,285169	8,013384	7,237445	1,2086	1,0532	1,05295	0,0439	0,002328	0,004657	0,990529
376	30	2900,313	2903,4303	2891,477	1,285325	8,009541	7,037559	1,23703	1,0534	1,05329	0,0499	0,001268	0,002535	0,995186
377	31	2882,64	2885,7408	2872,929	1,2855	8,005266	6,829283	1,26723	1,0535	1,05348	0,0563	0,000639	0,001279	0,997721
378	32	2863,219	2866,3017	2852,993	1,285685	8,000716	6,617198	1,29916	1,0536	1,05358	0,063	0,000298	0,000595	0,999

Таблица А3 - Результаты теплового расчета при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$

Текущий угол ПКВ	Угол ПКВ от ИЗ	Объем рабочего тела	σ	$\psi(\phi')$	X_{1-2}	T_{np}	$T_{расч}$	T_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	ΔX_{1-2}	P	μ_1	μ_{1-2}	X
343	0	0,1244	0,0563	1,267225	1,35E-06	752,4847	752,48471	755,834			2,7E-06	1,706174	1	1	0
344	1	0,1215	0,0499	1,237034	2,02E-05	759,1832	759,17247	762,6369	1,360476	6,548212	4,05E-05	1,76335	1	1	2,7E-06

Продолжени таблиц АЗ

345	2	0,1187	0,0439	1,208596	8,77E-05	766,0905	766,05489	769,8622	1,359568	6,562223	0,000175	1,821205	1	1	4,32E-05
346	3	0,1161	0,0383	1,181928	0,000236	773,6338	773,56718	778,0314	1,358618	6,576957	0,000472	1,880571	1,00001	1	0,000219
347	4	0,1136	0,0331	1,157041	0,000497	782,429	782,32278	787,8487	1,357562	6,593441	0,000995	1,942798	1,00004	1	0,000691
348	5	0,1114	0,0282	1,133948	0,000903	793,2685	793,10583	800,1882	1,356316	6,612988	0,001806	2,009766	1,00009	1,0001	0,001685
349	6	0,1093	0,0237	1,11266	0,001483	807,108	806,8571	816,0777	1,354791	6,637118	0,002967	2,083888	1,00019	1,0001	0,003491
350	7	0,1074	0,0196	1,093188	0,002267	825,0474	824,65047	836,6743	1,352893	6,667447	0,004534	2,168058	1,00035	1,0003	0,006458
351	8	0,1056	0,0159	1,075541	0,003278	848,3012	847,65783	863,2291	1,350537	6,70553	0,006557	2,265567	1,00059	1,0005	0,010992
352	9	0,1041	0,0126	1,059729	0,004537	878,1571	877,10117	896,1749	1,347665	6,752664	0,009075	2,37995	1,00094	1,0008	0,017549
353	10	0,1027	0,0096	1,045758	0,006057	914,1927	914,20171	937,1293	1,344336	6,808286	0,012114	2,514815	1,00143	1,0012	0,026624
354	11	0,1015	0,0071	1,033636	0,00784	960,0659	960,10169	987,8835	1,340521	6,873346	0,015681	2,673572	1,00208	1,0018	0,038738
355	12	0,1005	0,0049	1,023369	0,009878	1015,701	1015,7839	1048,776	1,336232	6,948277	0,019757	2,859139	1,00293	1,0025	0,054418
356	13	0,0997	0,0031	1,014962	0,012148	1081,852	1082,0115	1120,413	1,33163	7,030825	0,024296	3,073698	1,00399	1,0035	0,074175
357	14	0,099	0,0018	1,008418	0,014609	1158,973	1159,2514	1203,067	1,326851	7,118993	0,029217	3,318396	1,0053	1,0046	0,098471
358	15	0,0986	0,0008	1,003742	0,017201	1247,16	1247,6082	1296,625	1,32204	7,210411	0,034402	3,593097	1,00687	1,0061	0,127688
359	16	0,0983	0,0002	1,000936	0,019847	1346,09	1346,7674	1400,536	1,317329	7,302603	0,039694	3,896165	1,00872	1,0078	0,16209
360	17	0,0982	0	1	0,02245	1454,982	1455,9523	1513,779	1,312831	7,393219	0,0449	4,224311	1,01085	1,0098	0,201784
361	18	0,0983	0,0002	1,000936	0,024899	1572,575	1573,8982	1634,85	1,308632	7,480209	0,049798	4,572529	1,01327	1,0121	0,246685
362	19	0,0986	0,0008	1,003742	0,027073	1697,124	1698,8529	1762,867	1,304789	7,561927	0,054145	4,934135	1,01595	1,0146	0,296483
363	20	0,099	0,0018	1,008418	0,028847	1828,61	1828,5976	1894,593	1,301307	7,63775	0,057695	5,300901	1,01886	1,0174	0,350628
364	21	0,0997	0,0031	1,014962	0,030108	1960,577	1960,5416	2026,234	1,298229	7,706264	0,060216	5,663445	1,02196	1,0204	0,408323
365	22	0,1005	0,0049	1,023369	0,030757	2091,891	2091,831	2155,726	1,295571	7,766568	0,061513	6,011683	1,0252	1,0236	0,468539
366	23	0,1015	0,0071	1,033636	0,030727	2219,56	2219,4751	2280,1	1,293298	7,81901	0,061453	6,335356	1,02851	1,0269	0,530052
367	24	0,1027	0,0096	1,045758	0,02999	2340,639	2340,5298	2396,527	1,291387	7,86372	0,059981	6,624723	1,03181	1,0302	0,591505
368	25	0,1041	0,0126	1,059729	0,028566	2452,415	2452,2835	2502,502	1,289812	7,901025	0,057132	6,871243	1,03504	1,0334	0,651486
369	26	0,1056	0,0159	1,075541	0,026521	2552,588	2552,4363	2596,005	1,288542	7,931405	0,053042	7,068198	1,03811	1,0366	0,708618
370	27	0,1074	0,0196	1,093188	0,023968	2639,422	2639,2526	2675,636	1,287544	7,95545	0,047936	7,211184	1,04097	1,0395	0,761661
371	28	0,1093	0,0237	1,11266	0,021054	2711,85	2711,667	2740,688	1,286787	7,973828	0,042109	7,298395	1,04354	1,0423	0,809597
372	29	0,1114	0,0282	1,133948	0,01795	2769,525	2769,3308	2791,159	1,286236	7,987248	0,0359	7,33066	1,04581	1,0447	0,851705
373	30	0,1136	0,0331	1,157041	0,014828	2812,792	2812,5904	2827,701	1,28586	7,996431	0,029656	7,311228	1,04774	1,0468	0,887605
374	31	0,1161	0,0383	1,181928	0,011849	2842,609	2842,4026	2851,508	1,285629	8,002081	0,023698	7,245327	1,04933	1,0485	0,917261
375	32	0,1187	0,0439	1,208596	0,009142	2860,406	2860,1962	2864,159	1,285516	8,004861	0,018285	7,139564	1,05061	1,05	0,940959
376	33	0,1215	0,0499	1,237034	0,006799	2867,913	2867,7028	2867,45	1,285495	8,005374	0,013597	7,001265	1,05159	1,0511	0,959243
377	34	0,1244	0,0563	1,267225	0,004863	2866,987	2866,7783	2863,216	1,285545	8,004143	0,009726	6,837829	1,05232	1,052	0,97284

Продолжени таблиц А3

378	35	0,1276	0,063	1,299157	0,003339	2859,446	2859,2405	2853,195	1,285649	8,001612	0,006678	6,656193	1,05285	1,0526	0,982566
379	36	0,1309	0,0701	1,332813	0,002196	2846,943	2846,7413	2838,913	1,28579	7,998137	0,004393	6,462457	1,05321	1,053	0,989245
380	37	0,1344	0,0775	1,368176	0,001381	2830,884	2830,6857	2821,637	1,28596	7,993993	0,002762	6,261686	1,05344	1,0533	0,993637
381	38	0,138	0,0853	1,40523	0,000828	2812,39	2812,1965	2802,349	1,286148	7,989385	0,001656	6,057861	1,05359	1,0535	0,996399
382	39	0,1418	0,0935	1,443955	0,000472	2792,308	2792,1206	2781,777	1,28635	7,984456	0,000945	5,853967	1,05368	1,0536	0,998055
383	40	0,1458	0,102	1,484334	0,000256	2771,245	2771,0627	2760,429	1,286562	7,979302	0,000512	5,652146	1,05373	1,0537	0,999

Таблица А4 - Результаты теплового расчета при $n = 2600 \text{ мин}^{-1}$

Тек. угол ПКВ	Угол ПКВ от ИЗ	Объем рабочего тела	σ	$\psi(\phi')$	X_{1-2}	T_{np}	$T_{расч}$	T_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	ΔX_{1-2}	P	μ_1	μ_{1-2}	X
342	0	0,1261	0,06298	1,299157	1,11E-06	738,0093	738,0093	741,4083			2,22E-06	1,651547	1	1	0
343	1	0,123	0,05626	1,267225	1,66E-05	744,8072	744,7945	748,2909	1,362451	6,51799	3,33E-05	1,708729	1	1	2,22E-06
344	2	0,1201	0,0499	1,237034	7,21E-05	751,7745	751,7354	755,516	1,361497	6,53255	0,000144	1,766748	1	1,000001	3,55E-05
345	3	0,1173	0,04392	1,208596	0,000194	759,2575	759,1888	763,5107	1,360512	6,54767	0,000388	1,826256	1	1,000006	0,00018
346	4	0,1147	0,0383	1,181928	0,000409	767,764	767,659	772,8556	1,35944	6,56421	0,000818	1,888326	1	1,00002	0,000568
347	5	0,1123	0,03306	1,157041	0,000743	777,9472	777,7927	784,2724	1,358212	6,58329	0,001486	1,954469	1,0001	1,000053	0,001387
348	6	0,1101	0,0282	1,133948	0,001222	790,5976	790,3687	798,6134	1,356747	6,60621	0,002443	2,026643	1,0002	1,000115	0,002873
349	7	0,108	0,02372	1,11266	0,001868	806,6293	806,2818	816,8447	1,354964	6,63437	0,003736	2,107225	1,0003	1,00022	0,005316
350	8	0,1061	0,01962	1,093188	0,002704	827,0602	826,5178	840,0213	1,352786	6,66915	0,005408	2,198953	1,0005	1,000387	0,009052
351	9	0,1044	0,0159	1,075541	0,003748	852,9825	852,119	869,2529	1,350152	6,7118	0,007496	2,304828	1,0008	1,000633	0,01446
352	10	0,1029	0,01257	1,059729	0,005013	885,5234	884,1408	904,5616	1,34703	6,7632	0,010025	2,427967	1,0012	1,00098	0,021956
353	11	0,1015	0,00963	1,045758	0,006505	923,5998	923,6118	947,5088	1,343524	6,82202	0,01301	2,571454	1,0017	1,001451	0,031981
354	12	0,1003	0,00708	1,033636	0,008223	971,4178	971,464	999,8904	1,339609	6,88913	0,016447	2,738093	1,0024	1,002071	0,044991
355	13	0,0993	0,00492	1,023369	0,010156	1028,363	1028,466	1061,678	1,335288	6,96502	0,020311	2,930151	1,0033	1,002863	0,061437
356	14	0,0985	0,00315	1,014962	0,012277	1094,993	1095,184	1133,297	1,330735	7,04713	0,024554	3,149182	1,0044	1,003852	0,081748
357	15	0,0979	0,00177	1,008418	0,01455	1171,6	1171,921	1214,884	1,326075	7,13355	0,029099	3,395784	1,0057	1,005059	0,106303
358	16	0,0974	0,00079	1,003742	0,01692	1258,168	1258,668	1306,247	1,321431	7,22217	0,033841	3,669398	1,0073	1,006503	0,135402
359	17	0,0971	0,0002	1,000936	0,019321	1354,326	1355,062	1406,823	1,316915	7,31084	0,038642	3,968155	1,0091	1,008196	0,169243
360	18	0,0971	0	1	0,021669	1459,321	1460,35	1515,662	1,312619	7,39756	0,043339	4,288762	1,0112	1,010146	0,207884
361	19	0,0971	0,0002	1,000936	0,023873	1572,003	1573,381	1632,302	1,308612	7,48063	0,047745	4,626472	1,0135	1,012352	0,251223
362	20	0,0974	0,00079	1,003742	0,02583	1692,601	1692,591	1754,344	1,304913	7,55924	0,05166	4,975102	1,0161	1,014802	0,298968

363	21	0,0979	0,00177	1,008418	0,027441	1816,086	1816,055	1878,841	1,301577	7,63181	0,054881	5,327255	1,0189	1,017477	0,350628
364	22	0,0985	0,00315	1,014962	0,028609	1941,597	1941,543	2004,131	1,298631	7,69724	0,057218	5,674587	1,0218	1,020343	0,40551
365	23	0,0993	0,00492	1,023369	0,029254	2066,664	2066,586	2127,685	1,296051	7,75559	0,058508	6,008141	1,0249	1,023359	0,462728
366	24	0,1003	0,00708	1,033636	0,029317	2188,705	2188,603	2246,93	1,293826	7,80676	0,058635	6,31884	1,028	1,026473	0,521235
367	25	0,1015	0,00963	1,045758	0,028772	2305,154	2305,028	2359,383	1,291935	7,85085	0,057543	6,598034	1,0312	1,029624	0,57987
368	26	0,1029	0,01257	1,059729	0,027624	2413,611	2413,463	2462,798	1,290355	7,88811	0,055248	6,838045	1,0343	1,03275	0,637413
369	27	0,1044	0,0159	1,075541	0,025921	2511,984	2511,816	2555,298	1,289061	7,91895	0,051841	7,03268	1,0373	1,035784	0,692661
370	28	0,1061	0,01962	1,093188	0,023744	2598,613	2598,428	2635,492	1,288024	7,94386	0,047488	7,177651	1,0401	1,038666	0,744503
371	29	0,108	0,02372	1,11266	0,021207	2672,371	2672,171	2702,542	1,287217	7,96338	0,042414	7,270835	1,0426	1,041338	0,791991
372	30	0,1101	0,0282	1,133948	0,018445	2732,714	2732,502	2756,199	1,28661	7,97812	0,03689	7,312359	1,0449	1,043757	0,834405
373	31	0,1123	0,03306	1,157041	0,0156	2779,684	2779,464	2796,777	1,286176	7,9887	0,031201	7,30448	1,0469	1,04589	0,871294
374	32	0,1147	0,0383	1,181928	0,012813	2813,87	2813,644	2825,091	1,285889	7,99572	0,025625	7,251287	1,0486	1,047722	0,902495
375	33	0,1173	0,04392	1,208596	0,010203	2836,311	2836,082	2842,346	1,285723	7,99978	0,020406	7,158263	1,0499	1,049251	0,92812
376	34	0,1201	0,0499	1,237034	0,007865	2848,381	2848,151	2850,013	1,285656	8,00143	0,015731	7,031758	1,051	1,050489	0,948526
377	35	0,123	0,05626	1,267225	0,00586	2851,644	2851,414	2849,682	1,285667	8,00115	0,01172	6,87845	1,0519	1,051462	0,964257
378	36	0,1261	0,06298	1,299157	0,004213	2847,72	2847,492	2842,942	1,285739	7,99939	0,008425	6,704865	1,0525	1,0522	0,975978
379	37	0,1294	0,07007	1,332813	0,002917	2838,164	2837,94	2831,269	1,285857	7,9965	0,005833	6,516987	1,053	1,052742	0,984403
380	38	0,1328	0,07751	1,368176	0,001941	2824,374	2824,153	2815,953	1,286009	7,99278	0,003882	6,320003	1,0533	1,053126	0,990236
381	39	0,1364	0,08531	1,40523	0,00124	2807,533	2807,317	2798,062	1,286186	7,98847	0,002479	6,11819	1,0535	1,053387	0,994118
382	40	0,1401	0,09346	1,443955	0,000758	2788,591	2788,38	2778,431	1,28638	7,98372	0,001516	5,914902	1,0536	1,053558	0,996597
383	41	0,1441	0,10197	1,484334	0,000443	2768,271	2768,066	2757,684	1,286587	7,97868	0,000886	5,712659	1,0537	1,053666	0,998114
384	42	0,1481	0,11081	1,526347	0,000247	2747,097	2746,897	2736,265	1,286803	7,97343	0,000494	5,513273	1,0538	1,053731	0,999

Таблица А5 - Результаты теплового расчета при $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$

Тек. угол ПКВ	Угол ПКВ от ИЗ	Объем рабочего тела	σ	$\psi(\phi')$	X_{1-2}	T_{np}	$T_{расч}$	T_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	ΔX_{1-2}	P	μ_1	μ_{1-2}	X
341	0	0,1282	0,07007	1,332813	7,71E-07	724,4123	724,4123	727,8445			1,54E-06	1,594123	1	1	0
342	1	0,125	0,06298	1,299157	1,16E-05	731,2767	731,2639	734,7582	1,364379	6,48879	2,31E-05	1,650888	1	1	1,54E-06
343	2	0,1219	0,05626	1,267225	5,01E-05	738,2398	738,2008	741,8862	1,363386	6,50379	0,0001	1,708544	1	1,000001	2,47E-05
344	3	0,119	0,0499	1,237034	0,000135	745,5327	745,4656	749,5182	1,36238	6,51907	0,00027	1,767474	1	1,000004	0,000125
345	4	0,1163	0,04392	1,208596	0,000284	753,5038	753,4039	758,0535	1,361321	6,53525	0,000569	1,828344	1	1,000014	0,000395
346	5	0,1137	0,0383	1,181928	0,000517	762,6033	762,462	767,9914	1,360159	6,5531	0,001034	1,892119	1,0001	1,000037	0,000964
347	6	0,1113	0,03306	1,157041	0,00085	773,3795	773,1813	779,9258	1,358836	6,57358	0,0017	1,960074	1,0001	1,00008	0,001998
348	7	0,1091	0,0282	1,133948	0,001301	786,4721	786,1903	794,537	1,357289	6,59771	0,002602	2,033791	1,0002	1,000153	0,003698

349	8	0,107	0,02372	1,11266	0,001886	802,6019	802,1914	812,5787	1,355456	6,62657	0,003772	2,115132	1,0003	1,000269	0,0063
350	9	0,1052	0,01962	1,093188	0,002619	822,5556	821,9433	834,3966	1,353283	6,66119	0,005238	2,206193	1,0005	1,00044	0,010072
351	10	0,1035	0,0159	1,075541	0,003513	846,2375	846,2411	861,0533	1,350778	6,70162	0,007026	2,309238	1,0008	1,000683	0,01531
352	11	0,102	0,01257	1,059729	0,004575	875,8691	875,8831	893,7365	1,347888	6,74898	0,00915	2,426589	1,0012	1,001013	0,022336
353	12	0,1006	0,00963	1,045758	0,005811	911,6038	911,6359	932,873	1,344579	6,80418	0,011622	2,560494	1,0017	1,001448	0,031486
354	13	0,0994	0,00708	1,033636	0,00722	954,1422	954,2041	979,1121	1,340921	6,86647	0,014439	2,712998	1,0023	1,002007	0,043108
355	14	0,0985	0,00492	1,023369	0,008793	1004,082	1004,192	1032,982	1,336972	6,93521	0,017586	2,885784	1,0031	1,002708	0,057547
356	15	0,0976	0,00315	1,014962	0,010517	1061,883	1062,064	1094,856	1,332815	7,00934	0,021034	3,08002	1,004	1,003569	0,075134
357	16	0,097	0,00177	1,008418	0,012367	1127,83	1128,115	1164,917	1,328542	7,0875	0,024735	3,296207	1,0052	1,004608	0,096168
358	17	0,0966	0,00079	1,003742	0,014312	1202,004	1202,432	1243,129	1,324248	7,16812	0,028623	3,534045	1,0065	1,005839	0,120903
359	18	0,0963	0,0002	1,000936	0,016307	1284,253	1284,869	1329,213	1,320022	7,24957	0,032615	3,792326	1,008	1,007275	0,149526
360	19	0,0962	0	1	0,018303	1374,172	1375,022	1422,628	1,315943	7,33026	0,036605	4,068859	1,0098	1,008922	0,18214
361	20	0,0963	0,0002	1,000936	0,020238	1471,084	1472,216	1522,559	1,312073	7,40876	0,040476	4,360428	1,0118	1,010784	0,218746
362	21	0,0966	0,00079	1,003742	0,022046	1574,035	1575,494	1628,829	1,308458	7,48386	0,044092	4,662815	1,0139	1,012858	0,259221
363	22	0,097	0,00177	1,008418	0,023657	1683,624	1683,614	1739,373	1,305104	7,55514	0,047315	4,970842	1,0163	1,015133	0,303313
364	23	0,0976	0,00315	1,014962	0,025001	1795,122	1795,093	1851,705	1,302055	7,62131	0,050002	5,278568	1,0189	1,017592	0,350628
365	24	0,0985	0,00492	1,023369	0,026011	1908,288	1908,238	1964,773	1,299337	7,68143	0,052022	5,579494	1,0216	1,02021	0,400631
366	25	0,0994	0,00708	1,033636	0,026629	2021,258	2021,186	2076,669	1,296927	7,73566	0,053259	5,866782	1,0244	1,022954	0,452653
367	26	0,1006	0,00963	1,045758	0,026813	2132,079	2131,985	2185,434	1,294816	7,7839	0,053625	6,133594	1,0272	1,025787	0,505912
368	27	0,102	0,01257	1,059729	0,026535	2238,789	2238,672	2289,149	1,292989	7,8262	0,05307	6,373437	1,0301	1,028662	0,559537
369	28	0,1035	0,0159	1,075541	0,025793	2339,508	2339,371	2386,021	1,291429	7,86273	0,051587	6,580515	1,033	1,031532	0,612607
370	29	0,1052	0,01962	1,093188	0,024608	2432,533	2432,376	2474,476	1,290118	7,89374	0,049215	6,750058	1,0357	1,034347	0,664194
371	30	0,107	0,02372	1,11266	0,023022	2516,419	2516,245	2553,239	1,289035	7,91957	0,046045	6,878588	1,0384	1,037059	0,713409
372	31	0,1091	0,0282	1,133948	0,021104	2590,059	2589,871	2621,394	1,288159	7,94062	0,042208	6,96411	1,0409	1,039622	0,759454
373	32	0,1113	0,03306	1,157041	0,018937	2652,729	2652,528	2678,422	1,287468	7,95729	0,037874	7,0062	1,0431	1,041996	0,801663
374	33	0,1137	0,0383	1,181928	0,016617	2704,115	2703,904	2724,214	1,286942	7,97005	0,033233	7,005975	1,0452	1,04415	0,839536
375	34	0,1163	0,04392	1,208596	0,014243	2744,312	2744,094	2759,052	1,28656	7,97935	0,028487	6,965957	1,047	1,046063	0,872769
376	35	0,119	0,0499	1,237034	0,011914	2773,791	2773,568	2783,564	1,286302	7,98564	0,023827	6,889839	1,0485	1,047723	0,901256
377	36	0,1219	0,05626	1,267225	0,009713	2793,338	2793,112	2798,66	1,286149	7,98937	0,019425	6,782179	1,0498	1,049131	0,925083
378	37	0,125	0,06298	1,299157	0,007709	2803,983	2803,757	2805,447	1,286084	7,99096	0,015417	6,648058	1,0508	1,050294	0,944509
379	38	0,1282	0,07007	1,332813	0,005949	2806,911	2806,685	2805,139	1,286091	7,99078	0,011897	6,492741	1,0516	1,051232	0,959926
380	39	0,1316	0,07751	1,368176	0,004458	2803,368	2803,145	2798,978	1,286156	7,98918	0,008915	6,321361	1,0523	1,051966	0,971824
381	40	0,1352	0,08531	1,40523	0,003239	2794,588	2794,368	2788,152	1,286267	7,98647	0,006479	6,138671	1,0528	1,052526	0,980739
382	41	0,1389	0,09346	1,443955	0,00228	2781,717	2781,501	2773,744	1,286414	7,9829	0,004559	5,948868	1,0531	1,05294	0,987218

383	42	0,1428	0,10197	1,484334	0,001552	2765,772	2765,56	2756,69	1,286587	7,97868	0,003103	5,755496	1,0534	1,053237	0,991777
384	43	0,1468	0,11081	1,526347	0,00102	2747,609	2747,402	2737,765	1,286781	7,97397	0,002039	5,561417	1,0535	1,053443	0,99488
385	44	0,151	0,11999	1,569972	0,000646	2727,921	2727,72	2717,581	1,286989	7,96892	0,001292	5,368848	1,0536	1,053582	0,99692
386	45	0,1554	0,12951	1,61519	0,000394	2707,242	2707,046	2696,605	1,287207	7,96361	0,000788	5,179436	1,0537	1,053671	0,998212
387	46	0,1599	0,13936	1,661977	0,000231	2685,968	2685,777	2675,175	1,287434	7,95813	0,000462	4,994345	1,0537	1,053727	0,999

Таблица А6 - Результаты теплового расчета при $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$

Тек. угол ПКВ	Угол ПКВ от ИЗ	Объем рабочего тела	σ	$\psi(\phi')$	X_{1-2}	T_{np}	$T_{расч}$	T_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	ΔX_{1-2}	P	μ_1	μ_{1-2}	X
337	0	0,1426	0,101965	1,484334	4,06E-07	694,822	694,8219	698,4008			8,12E-07	1,374674	1	1	0
338	1	0,1387	0,093464	1,443955	6,09E-06	701,98	701,9633	705,6008	1,368822	6,422669	1,22E-05	1,42764	1	1	8,12E-07
339	2	0,135	0,085312	1,40523	2,64E-05	709,222	709,1721	712,9386	1,367701	6,439208	5,28E-05	1,482049	1,000001	1	1,3E-05
340	3	0,1315	0,077511	1,368176	7,11E-05	716,655	716,5707	720,5567	1,36658	6,455835	0,000142	1,53807	1,000004	1,000002	6,58E-05
341	4	0,1281	0,070066	1,332813	0,00015	724,458	724,3358	728,6599	1,365439	6,472865	0,0003	1,595997	1,000011	1,000007	0,000208
342	5	0,1248	0,06298	1,299157	0,000272	732,862	732,6968	737,5065	1,364251	6,490727	0,000545	1,656262	1,000027	1,000019	0,000508
343	6	0,1218	0,056258	1,267225	0,000448	742,151	741,9351	747,4062	1,362981	6,509936	0,000896	1,719445	1,000056	1,000042	0,001052
344	7	0,1189	0,049902	1,237034	0,000687	752,661	752,3806	758,7178	1,361593	6,531076	0,001373	1,786278	1,000104	1,00008	0,001949
345	8	0,1161	0,043915	1,208596	0,000997	764,774	764,4083	771,8452	1,360051	6,554776	0,001994	1,857648	1,000178	1,000141	0,003322
346	9	0,1136	0,038301	1,181928	0,001388	778,916	778,4325	787,2321	1,358315	6,58168	0,002775	1,934588	1,000285	1,000231	0,005316
347	10	0,1112	0,033061	1,157041	0,001866	795,548	794,8995	805,3547	1,356353	6,612412	0,003733	2,018262	1,000433	1,000359	0,008091
348	11	0,109	0,028199	1,133948	0,002441	815,161	814,2776	826,7126	1,354137	6,647534	0,004881	2,109935	1,000633	1,000533	0,011824
349	12	0,1069	0,023718	1,11266	0,003116	838,264	837,046	850,9725	1,351649	6,687497	0,006231	2,210938	1,000894	1,000763	0,016705
350	13	0,105	0,019618	1,093188	0,003896	863,681	863,6879	879,1609	1,348971	6,73113	0,007791	2,322633	1,001228	1,001061	0,022936
351	14	0,1033	0,015903	1,075541	0,004783	894,641	894,6659	912,4956	1,346045	6,779601	0,009566	2,446331	1,001644	1,001436	0,030728
352	15	0,1018	0,012574	1,059729	0,005778	930,35	930,4024	950,7669	1,342816	6,834028	0,011556	2,583205	1,002156	1,0019	0,040294
353	16	0,1005	0,009633	1,045758	0,006876	971,183	971,2751	994,3158	1,339387	6,892973	0,013753	2,734253	1,002775	1,002466	0,05185
354	17	0,0993	0,007081	1,033636	0,008073	1017,45	1017,596	1043,409	1,335804	6,95585	0,016146	2,900203	1,003511	1,003143	0,065603
355	18	0,0983	0,00492	1,023369	0,009357	1069,37	1069,593	1098,222	1,332121	7,021893	0,018714	3,081439	1,004375	1,003943	0,081748
356	19	0,0975	0,00315	1,014962	0,010715	1127,07	1127,401	1158,828	1,328396	7,090208	0,02143	3,277928	1,005377	1,004876	0,100463
357	20	0,0969	0,001772	1,008418	0,012128	1190,58	1191,04	1225,183	1,324684	7,159827	0,024257	3,489154	1,006523	1,00595	0,121892
358	21	0,0964	0,000788	1,003742	0,013575	1259,78	1260,407	1297,115	1,321039	7,229765	0,02715	3,714075	1,007822	1,007173	0,146149
359	22	0,0962	0,000197	1,000936	0,015028	1334,45	1335,266	1374,315	1,317507	7,299074	0,030056	3,951086	1,009275	1,008548	0,1733
360	23	0,0961	0	1	0,016457	1414,18	1415,239	1456,332	1,314126	7,366879	0,032913	4,198007	1,010883	1,010079	0,203355

361	24	0,0962	0,000197	1,000936	0,017827	1498,48	1499,8	1543,38	1,310925	7,432416	0,035655	4,452096	1,012645	1,011764	0,236269
362	25	0,0964	0,000788	1,003742	0,019104	1588,28	1588,273	1634,075	1,307901	7,49559	0,038208	4,710066	1,014553	1,013599	0,271923
363	26	0,0969	0,001772	1,008418	0,020249	1679,87	1679,846	1726,748	1,305095	7,555338	0,040497	4,968197	1,016598	1,015575	0,310131
364	27	0,0975	0,00315	1,014962	0,021225	1773,63	1773,587	1821,067	1,302535	7,610812	0,04245	5,222432	1,018765	1,017681	0,350628
365	28	0,0983	0,00492	1,023369	0,021997	1868,51	1868,448	1915,939	1,300202	7,662192	0,043995	5,468457	1,021037	1,019901	0,393078
366	29	0,0993	0,007081	1,033636	0,022535	1963,37	1963,292	2010,199	1,298093	7,709311	0,04507	5,701869	1,023391	1,022214	0,437073
367	30	0,1005	0,009633	1,045758	0,022812	2057,03	2056,93	2102,647	1,296204	7,7521	0,045624	5,918336	1,025803	1,024597	0,482143
368	31	0,1018	0,012574	1,059729	0,02281	2148,27	2148,149	2192,081	1,294526	7,790565	0,045621	6,113763	1,028245	1,027024	0,527766
369	32	0,1033	0,015903	1,075541	0,022521	2235,89	2235,759	2277,338	1,29305	7,824777	0,045042	6,284461	1,030687	1,029466	0,573387
370	33	0,105	0,019618	1,093188	0,021946	2318,78	2318,628	2357,34	1,291764	7,854862	0,043891	6,427303	1,033097	1,031892	0,618429
371	34	0,1069	0,023718	1,11266	0,021096	2395,9	2395,728	2431,124	1,290656	7,880986	0,042192	6,539851	1,035446	1,034272	0,66232
372	35	0,109	0,028199	1,133948	0,019995	2466,35	2466,167	2497,889	1,289714	7,903352	0,03999	6,620465	1,037704	1,036575	0,704512
373	36	0,1112	0,033061	1,157041	0,018676	2529,43	2529,229	2557,013	1,288926	7,922187	0,037352	6,668357	1,039845	1,038774	0,744503
374	37	0,1136	0,038301	1,181928	0,017181	2584,6	2584,392	2608,082	1,288278	7,937738	0,034361	6,683611	1,041844	1,040844	0,781855
375	38	0,1161	0,043915	1,208596	0,015557	2631,57	2631,348	2650,899	1,287759	7,950266	0,031113	6,667159	1,043683	1,042763	0,816216
376	39	0,1189	0,049902	1,237034	0,013857	2670,23	2670,009	2685,479	1,287355	7,960038	0,027713	6,620702	1,045348	1,044515	0,847329
377	40	0,1218	0,056258	1,267225	0,012133	2700,72	2700,496	2712,042	1,287054	7,967327	0,024266	6,54661	1,046831	1,046089	0,875042
378	41	0,1248	0,06298	1,299157	0,010436	2723,36	2723,126	2730,99	1,286845	7,9724	0,020872	6,447777	1,048129	1,04748	0,899308
379	42	0,1281	0,070066	1,332813	0,008812	2738,62	2738,386	2742,876	1,286717	7,975522	0,017625	6,327468	1,049247	1,048688	0,92018
380	43	0,1315	0,077511	1,368176	0,007299	2747,13	2746,898	2748,373	1,286658	7,976946	0,014599	6,189155	1,05019	1,049718	0,937805
381	44	0,135	0,085312	1,40523	0,005927	2749,61	2749,38	2748,225	1,28666	7,976911	0,011853	6,036356	1,050971	1,05058	0,952404
382	45	0,1387	0,093464	1,443955	0,004713	2746,84	2746,606	2743,217	1,286712	7,975641	0,009426	5,872493	1,051605	1,051288	0,964257
383	46	0,1426	0,101965	1,484334	0,003668	2739,6	2739,369	2734,132	1,286807	7,97334	0,007336	5,700775	1,05211	1,051858	0,973683
384	47	0,1467	0,11081	1,526347	0,002791	2728,67	2728,442	2721,719	1,286936	7,970192	0,005583	5,524103	1,052503	1,052306	0,981019
385	48	0,1508	0,119994	1,569972	0,002075	2714,77	2714,552	2706,671	1,287094	7,966359	0,004151	5,345016	1,052801	1,052652	0,986602
386	49	0,1552	0,129514	1,61519	0,001506	2698,57	2698,354	2689,602	1,287274	7,961983	0,003013	5,16566	1,053023	1,052912	0,990753
387	50	0,1597	0,139364	1,661977	0,001066	2680,63	2680,424	2671,043	1,287473	7,957183	0,002132	4,987788	1,053185	1,053104	0,993765
388	51	0,1643	0,149539	1,710311	0,000735	2661,45	2661,247	2651,434	1,287685	7,952057	0,001471	4,812782	1,053299	1,053242	0,995897
389	52	0,1691	0,160036	1,760169	0,000494	2641,42	2641,218	2631,132	1,287907	7,946685	0,000987	4,641687	1,053378	1,053338	0,997368
390	53	0,1741	0,170848	1,811526	0,000322	2620,85	2620,653	2610,415	1,288137	7,941131	0,000645	4,475257	1,05343	1,053404	0,998356
391	54	0,1791	0,18197	1,864358	0,000204	2599,98	2599,794	2589,495	1,288374	7,935444	0,000409	4,314006	1,053465	1,053448	0,999

Таблица А7 - Результаты теплового расчета при $n = 5600 \text{ мин}^{-1}$

Тек.угол ПКВ	Угол ПКВ от ИЗ	Объем рабочего тела	σ	$\psi(\phi')$	X_{1-2}	T_{np}	$T_{расч}$	T_{1-2}	k_{1-2}	K_{1-2}	ΔX_{1-2}	P	μ_1	μ_{1-2}	X
334	0	0,155518	0,129514	1,61519	2,67E-07	674,5445	674,5445	678,1486			5,33E-07	1,223856	1	1	0
335	1	0,151164	0,119994	1,569972	4E-06	681,7527	681,7345	685,4046	1,372102	6,37487	8E-06	1,272526	1	1	5,33E-07
336	2	0,146964	0,11081	1,526347	1,73E-05	689,0566	689,0017	692,7869	1,370904	6,39223	3,46E-05	1,322849	1	1	8,53E-06
337	3	0,142919	0,101965	1,484334	4,66E-05	696,5173	696,4244	700,3834	1,36971	6,40964	9,33E-05	1,374947	1	1	4,32E-05
338	4	0,139031	0,093464	1,443955	9,83E-05	704,2496	704,1164	708,3265	1,368507	6,4273	0,000197	1,429013	1,00001	1	0,000136
339	5	0,135302	0,085312	1,40523	0,000179	712,4034	712,2263	716,7834	1,367276	6,4455	0,000357	1,485318	1,00002	1	0,000333
340	6	0,131735	0,077511	1,368176	0,000294	721,1634	720,9365	725,9555	1,365994	6,46457	0,000588	1,544224	1,00004	1	0,000691
341	7	0,12833	0,070066	1,332813	0,000451	730,7476	730,462	736,0769	1,364635	6,48493	0,000902	1,606181	1,00007	1,0001	0,001279
342	8	0,125089	0,06298	1,299157	0,000655	741,4063	741,0487	747,4129	1,363174	6,507	0,00131	1,671739	1,00012	1,0001	0,002181
343	9	0,122015	0,056258	1,267225	0,000912	753,4196	752,9703	760,2572	1,361583	6,53123	0,001825	1,741538	1,00019	1,0002	0,003491
344	10	0,119108	0,049902	1,237034	0,001229	767,0948	766,5255	774,9286	1,359836	6,55808	0,002458	1,816312	1,00028	1,0002	0,005316
345	11	0,116369	0,043915	1,208596	0,001609	782,7625	782,033	791,7671	1,357911	6,58799	0,003218	1,896875	1,00041	1,0003	0,007774
346	12	0,113802	0,038301	1,181928	0,002058	800,7717	799,8256	811,1277	1,355787	6,62134	0,004116	1,984106	1,00059	1,0005	0,010992
347	13	0,111405	0,033061	1,157041	0,00258	821,4838	820,2442	832,5567	1,353453	6,65846	0,00516	2,078931	1,00081	1,0007	0,015108
348	14	0,109182	0,028199	1,133948	0,003178	843,6296	843,6357	856,9719	1,350995	6,69809	0,006355	2,182302	1,00108	1,0009	0,020268
349	15	0,107132	0,023718	1,11266	0,003853	870,3142	870,3357	885,4633	1,348342	6,74148	0,007706	2,295147	1,00142	1,0013	0,026624
350	16	0,105257	0,019618	1,093188	0,004607	900,6125	900,656	917,7123	1,345431	6,78987	0,009213	2,418315	1,00183	1,0016	0,034329
351	17	0,103558	0,015903	1,075541	0,005438	934,8122	934,8865	953,9881	1,342353	6,84193	0,010876	2,552562	1,00232	1,0021	0,043542
352	18	0,102036	0,012574	1,059729	0,006344	973,1639	973,2805	994,5181	1,339137	6,89732	0,012688	2,698484	1,0029	1,0026	0,054418
353	19	0,100691	0,009633	1,045758	0,007321	1015,872	1016,046	1039,479	1,33582	6,95558	0,014642	2,856477	1,00358	1,0032	0,067107
354	20	0,099523	0,007081	1,033636	0,008361	1063,086	1063,334	1088,988	1,332441	7,01611	0,016723	3,026677	1,00436	1,004	0,081748
355	21	0,098535	0,00492	1,023369	0,009456	1114,89	1115,233	1143,094	1,32904	7,07828	0,018912	3,208924	1,00525	1,0048	0,098471
356	22	0,097725	0,00315	1,014962	0,010594	1171,298	1171,76	1201,77	1,325659	7,14139	0,021187	3,402714	1,00626	1,0058	0,117383
357	23	0,097095	0,001772	1,008418	0,01176	1232,242	1232,849	1264,906	1,322334	7,20473	0,02352	3,607174	1,00739	1,0068	0,138571
358	24	0,096645	0,000788	1,003742	0,012938	1297,571	1298,35	1332,307	1,3191	7,26763	0,025876	3,821042	1,00865	1,008	0,16209
359	25	0,096375	0,000197	1,000936	0,014109	1367,043	1368,023	1403,684	1,315983	7,32945	0,028217	4,042654	1,01003	1,0093	0,187966
360	26	0,096285	0	1	0,015251	1440,324	1441,53	1479,383	1,313008	7,38961	0,030502	4,269958	1,01153	1,0108	0,216183
361	27	0,096375	0,000197	1,000936	0,016342	1518,442	1518,436	1558,338	1,310166	7,44816	0,032684	4,500518	1,01316	1,0123	0,246685
362	28	0,096645	0,000788	1,003742	0,017357	1598,234	1598,214	1639,263	1,307497	7,50413	0,034715	4,731593	1,0149	1,014	0,279368
363	29	0,097095	0,001772	1,008418	0,018273	1680,292	1680,257	1722,105	1,305029	7,55676	0,036546	4,960195	1,01675	1,0158	0,314083

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

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

$W_x, \text{ м/с}^2$	$j_{кв}, \text{ рад}$	$j_{кв}, \text{ град}$	$S_x, \text{ мм}$	$V_x, \text{ м/с}$
12587,94	0	0	0,000	-0,230
12268,24	0,1745	10	0,620	3,933
11333,69	0,3491	20	2,600	7,894
9857,42	0,5236	30	5,838	11,456
7952,85	0,6981	40	10,174	14,457
5761,95	0,8727	50	15,400	16,776
3440,76	1,0472	60	21,275	18,344
1143,92	1,2217	70	27,543	19,141
-990,23	1,3963	80	33,953	19,198
-2852,10	1,5708	90	40,268	18,588
-4369,57	1,7453	100	46,282	17,413
-5512,05	1,9199	110	51,827	15,793
-6289,56	2,0944	120	56,775	13,851
-6747,01	2,2689	130	61,038	11,702
-6954,57	2,4435	140	64,563	9,439
-6995,40	2,618	150	67,326	7,132
-6952,33	2,7925	160	69,318	4,821
-6895,21	2,9671	170	70,541	2,522
-6870,50	3,1416	180	71,000	0,230
-6894,48	3,3161	190	70,694	-2,068
-6950,87	3,4907	200	69,619	-4,388
-6993,20	3,6652	210	67,766	-6,733
-6951,63	3,8397	220	65,129	-9,086
-6743,34	4,0143	230	61,712	-11,406
-6285,16	4,1888	240	57,537	-13,621
-5506,91	4,3633	250	52,654	-15,635
-4363,70	4,5379	260	47,149	-17,333
-2845,50	4,7124	270	41,148	-18,588
-982,89	4,8869	280	34,820	-19,278
1151,99	5,0615	290	28,370	-19,298
3449,57	5,236	300	22,037	-18,574
5771,49	5,4105	310	16,074	-17,072
7963,13	5,5851	320	10,740	-14,810
9868,43	5,7596	330	6,278	-11,855
11345,43	5,9341	340	2,901	-8,327
12280,71	6,1087	350	0,773	-4,387
12601,14	6,2832	360	0,000	-0,230
12281,45	6,4577	370	0,620	3,933
11346,89	6,6323	380	2,600	7,894
9870,62	6,8068	390	5,838	11,456
7966,05	6,9813	400	10,174	14,457
5775,14	7,1558	410	15,400	16,776
3453,95	7,3304	420	21,275	18,344
1157,11	7,5049	430	27,543	19,141
-977,05	7,6794	440	33,953	19,198
-2838,92	7,854	450	40,268	18,588
-4356,39	8,0285	460	46,282	17,413
-5498,88	8,203	470	51,827	15,793

-6276,39	8,3776	480	56,775	13,851
-6733,84	8,5521	490	61,038	11,702
-6941,41	8,7266	500	64,563	9,439
-6982,24	8,9012	510	67,326	7,132
-6939,18	9,0757	520	69,318	4,821
-6882,06	9,2502	530	70,541	2,522
-6857,36	9,4248	540	71,000	0,230
-6881,34	9,5993	550	70,694	-2,068
-6937,73	9,7738	560	69,619	-4,388
-6980,07	9,9484	570	67,766	-6,733
-6938,51	10,123	580	65,129	-9,086
-6730,22	10,297	590	61,712	-11,406
-6272,04	10,472	600	57,537	-13,621
-5493,80	10,647	610	52,654	-15,635
-4350,59	10,821	620	47,149	-17,333
-2832,40	10,996	630	41,148	-18,588
-969,80	11,17	640	34,820	-19,278
1165,08	11,345	650	28,370	-19,298
3462,65	11,519	660	22,037	-18,574
5784,56	11,694	670	16,074	-17,072
7976,20	11,868	680	10,740	-14,810
9881,49	12,043	690	6,278	-11,855
11358,49	12,217	700	2,901	-8,327
12293,77	12,392	710	0,773	-4,387
12614,19	12,566	720	0,000	-0,230

Таблица Б2 - Сводная таблица динамического расчета двигателя с шагом в 10 град ПКВ

Угол бетта, рад	Опрокидывающая сила, Н	Сила вдоль оси шатуна, Н	Сила изгибающая колено вала, Н	Тангенциальная сила, Н	Крутящий момент 1-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 2-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 4-го цилиндра, Н*м	Крутящий момент 3-го цилиндра, Н*м	Суммарный крутящий момент, Н*м	Сила инерции, Н	Сила давления газов, Н	Суммарная сила приложенная к оси поршневого пальца, Н
0	0	-7100,3	-7100,325	0	0	2E-14	6,3E-14	-6E-14	0	-7129,98	29,6514	-7100,32
0,051	-355,3	-6974,1	-6797,486	-1559,36	-55,36	-16,92	-20,679	117,3	24,351	-6948,69	-16,3086	-6965
0,1005	-653,7	-6514,3	-5866,96	-2831,02	-100,5	-34,25	-40,905	282,54	106,88	-6419,14	-62,2686	-6481,41
0,1472	-838,5	-5716	-4477,436	-3553,28	-126,1	-51,92	-60,579	311,97	73,334	-5582,75	-71,4606	-5654,21
0,1897	-881,2	-4672,9	-2948,943	-3624,83	-128,7	-69,01	-78,786	263,66	-12,81	-4503,77	-85,2486	-4589,02
0,2267	-775,4	-3449,9	-1566,861	-3073,56	-109,1	-83,51	-93,594	223,11	-63,1	-3262,6	-99,0366	-3361,64
0,2569	-541,3	-2130,4	-561,4626	-2055,07	-72,95	-93,59	-102,14	201,78	-66,9	-1947,65	-112,825	-2060,47
0,2793	-221,7	-804,26	-56,05404	-802,301	-28,48	-95,69	-101,1	196,35	-28,92	-646,475	-126,613	-773,088
0,2931	128,79	445,753	-52,73244	442,623	15,713	-87,12	-89,058	198,53	38,065	562,546	-135,805	426,742
0,2978	454,67	1549,74	-454,6749	1481,54	52,595	-66,73	-63,363	200,25	122,76	1617,34	-135,805	1481,54
0,2931	720,64	2494,16	-1124,327	2226,37	79,036	-36,04	-25,19	196,07	213,88	2477,06	-89,2791	2387,78
0,2793	870,5	3157,48	-1856,071	2554,34	90,679	0,1667	21,0315	183,78	295,66	3124,39	-89,2791	3035,11
0,2569	913,08	3593,64	-2528,604	2553,51	90,65	34,153	67,9102	163,89	356,61	3564,99	-89,2791	3475,71
0,2267	861,48	3833,08	-3060,758	2307,44	81,914	56,773	104,934	138,54	382,16	3824,3	-89,2791	3735,02
0,1897	740,74	3927,87	-3431,073	1912,04	67,877	60,208	125,46	110,33	363,87	3942,07	-84,6831	3857,39
0,1472	576,19	3927,81	-3652,881	1443,67	51,25	42,199	123,886	76,948	294,28	3965,41	-80,0871	3885,32
0,1005	389,87	3885,34	-3765,946	955,797	33,931	11,796	99,076	46,956	191,76	3941,22	-75,4911	3865,73
0,051	196,03	3847,78	-3818,44	474,24	16,836	-12,35	54,9921	23,095	82,575	3909,08	-66,2991	3842,78
4E-17	1E-13	3838,18	-3838,184	4,7E-13	2E-14	-6E-14	1,2E-13	6E-14	1E-13	3895,29	-57,1071	3838,18
-0,051	-197	3866,18	-3836,707	-476,508	-16,92	117,3	-55,357	-20,679	24,351	3909,08	-47,9151	3861,16
-0,101	-393,6	3922,3	-3801,765	-964,888	-34,25	282,54	-100,5	-40,905	106,88	3941,22	-38,7231	3902,5
-0,147	-583,7	3978,92	-3700,413	-1462,45	-51,92	311,97	-126,14	-60,579	73,334	3965,41	-29,5311	3935,88
-0,19	-753,1	3993,39	-3488,306	-1943,93	-69,01	263,66	-128,68	-78,786	-12,81	3942,07	-20,3391	3921,73

-0,227	-878,2	3907,66	-3120,307	-2352,34	-83,51	223,11	-109,11	-93,594	-63,1	3824,3	-16,6124	3807,69
-0,257	-942,7	3710,1	-2610,546	-2636,26	-93,59	201,78	-72,955	-102,14	-66,9	3564,99	23,3539	3588,34
-0,279	-918,6	3332	-1958,662	-2695,53	-95,69	196,35	-28,482	-101,1	-28,92	3124,39	78,4812	3202,87
-0,293	-794,3	2749,24	-1239,311	-2454,06	-87,12	198,53	15,7131	-89,058	38,065	2477,06	154,918	2631,98
-0,298	-576,9	1966,17	-576,8514	-1879,65	-66,73	200,25	52,5946	-63,363	122,76	1617,34	262,302	1879,65
-0,293	-295,4	1022,27	-120,934	-1015,09	-36,04	196,07	79,0362	-25,19	213,88	562,546	416,123	978,669
-0,279	1,2974	-4,7058	-0,327982	4,6944	0,1667	183,78	90,6791	21,031	295,66	-646,475	641,952	-4,52347
-0,257	253,4	-997,32	-262,8439	962,061	34,153	163,89	90,6497	67,91	356,61	-1947,65	983,054	-964,591
-0,227	403,44	-1795,1	-815,2697	1599,24	56,773	138,54	81,9143	104,93	382,16	-3262,6	1513,47	-1749,13
-0,19	412,32	-2186,4	-1379,768	1696,01	60,208	110,33	67,8774	125,46	363,87	-4503,77	2356,63	-2147,14
-0,147	280,52	-1912,2	-1497,88	1188,71	42,199	76,948	51,2502	123,89	294,28	-5582,75	3691,19	-1891,56
-0,101	76,723	-764,6	-688,6204	332,285	11,796	46,956	33,9308	99,076	191,76	-6419,14	5658,4	-760,74
-0,051	-79,25	1555,61	1516,2208	-347,826	-12,35	23,095	16,8355	54,992	82,575	-6948,69	8502,27	1553,59
-7E-17	-5E-13	6716,3	6716,3045	-1,6E-12	-6E-14	6E-14	1,7E-14	1E-13	1E-13	-7129,98	13846,3	6716,3
0,051	752,89	14778,1	14403,942	3304,31	117,3	-20,68	-16,916	-55,357	24,351	-6948,69	21707,6	14758,9
0,1005	1837,7	18313,7	16493,821	7958,88	282,54	-40,9	-34,254	-100,5	106,88	-6419,14	24640,4	18221,2
0,1472	2073,8	14136,8	11073,526	8787,91	311,97	-60,58	-51,917	-126,14	73,334	-5582,75	19566,7	13983,9
0,1897	1805,6	9574,49	6042,2515	7427,12	263,66	-78,79	-69,01	-128,68	-12,81	-4503,77	13906,5	9402,69
0,2267	1585,5	7054,34	3203,9113	6284,8	223,11	-93,59	-83,508	-109,11	-63,1	-3262,6	10136,5	6873,87
0,2569	1497,1	5892,31	1552,919	5683,99	201,78	-102,1	-93,587	-72,955	-66,9	-1947,65	7646,59	5698,94
0,2793	1528,6	5544,43	386,42884	5530,95	196,35	-101,1	-95,691	-28,482	-28,92	-646,475	5976,04	5329,56
0,2931	1627,2	5631,9	-666,2518	5592,35	198,53	-89,06	-87,119	15,713	38,065	562,546	4829,15	5391,7
0,2978	1731,2	5900,62	-1731,174	5640,95	200,25	-63,36	-66,727	52,595	122,76	1617,34	4023,61	5640,95
0,2931	1787,8	6187,56	-2789,251	5523,22	196,07	-25,19	-36,036	79,036	213,88	2477,06	3446,59	5923,66
0,2793	1764,3	6399,41	-3761,791	5177,01	183,78	21,031	0,16665	90,679	295,66	3124,39	3027,02	6151,41
0,2569	1650,8	6497,29	-4571,705	4616,74	163,89	67,91	34,1532	90,65	356,61	3564,99	2719,08	6284,07
0,2267	1457	6482,81	-5176,59	3902,53	138,54	104,93	56,7729	81,914	382,16	3824,3	2492,66	6316,96
0,1897	1204	6384,28	-5576,797	3107,79	110,33	125,46	60,2083	67,877	363,87	3942,07	2327,65	6269,73
0,1472	865,09	5897,26	-5484,472	2167,54	76,948	123,89	42,1993	51,25	294,28	3965,41	1868,05	5833,46

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

ПРИЛОЖЕНИЕ В

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

ψ, рад	ψ, град	K _{мин} , Н	Рк, Н	Рк, Н
0	0	-5261,97419	-12362,3	12362,29911
0,128592762	7,367822527	-5261,97419	-12059,46	12059,46047
0,24910065	14,27241589	-5261,97419	-11128,93	11128,93386
0,349829313	20,04374317	-5261,97419	-9739,41	9739,410274
0,415733663	23,81978429	-5261,97419	-8210,917	8210,917329
0,422924825	24,23180754	-5261,97419	-6828,835	6828,834703
0,339252068	19,43771169	-5261,97419	-5823,437	5823,436776
0,149735157	8,579192524	-5261,97419	-5318,028	5318,028224
-0,08309096	-4,76076105	-5261,97419	-5314,707	5314,70663
-0,25358297	-14,5292341	-5261,97419	-5716,649	5716,649112
-0,33544191	-19,2194055	-5261,97419	-6386,301	6386,301498
-0,34454094	-19,7407415	-5261,97419	-7118,045	7118,045378
-0,31673462	-18,1475569	-5261,97419	-7790,579	7790,57862
-0,27045307	-15,4958196	-5261,97419	-8322,732	8322,732304
-0,21650316	-12,4047175	-5261,97419	-8693,047	8693,047199
-0,16054586	-9,1986001	-5261,97419	-8914,856	8914,855608
-0,10547832	-6,04346256	-5261,97419	-9027,92	9027,920045
-0,05217925	-2,98965058	-5261,97419	-9080,414	9080,413958
-5,1673E-17	-2,9607E-15	-5261,97419	-9100,158	9100,157705
0,052323348	2,997907031	-5261,97419	-9098,682	9098,681514
0,106056403	6,076584257	-5261,97419	-9063,739	9063,73894
0,161751162	9,267658892	-5261,97419	-8962,387	8962,387078
0,218606684	12,52524036	-5261,97419	-8750,28	8750,279922
0,273594683	15,67582065	-5261,97419	-8382,281	8382,280806
0,323131827	18,51408989	-5261,97419	-7872,52	7872,51994
0,357287221	20,47104983	-5261,97419	-7220,636	7220,636429
0,360937094	20,68017213	-5261,97419	-6501,286	6501,285624
0,311445237	17,84449762	-5261,97419	-5838,826	5838,825632
0,186387771	10,67923264	-5261,97419	-5382,908	5382,908214
-0,00089208	-0,05111245	-5261,97419	-5262,302	5262,302167
-0,1724057	-9,8781189	-5261,97419	-5524,818	5524,818075
-0,25731764	-14,7432148	-5261,97419	-6077,244	6077,243873
-0,25001306	-14,3246929	-5261,97419	-6641,742	6641,742494
-0,17406915	-9,97342792	-5261,97419	-6759,854	6759,853913
-0,05578266	-3,19611107	-5261,97419	-5950,595	5950,59457
0,092593146	5,305196469	-5261,97419	-3745,753	3745,753357
-1,1316E-15	-6,4835E-14	-5261,97419	1454,3303	-1454,330269
0,346833207	19,87207898	-5261,97419	9141,9677	-9141,967651
0,616473915	35,32135352	-5261,97419	11231,846	-11231,84648

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

Таблица В2 - Силы действующие на колено вала

Крк1, Н	Крк3, Н	Крк4, Н	Крк2, Н	Рш.ш., Н	Крк, Н	Рк, Н	Тк1, Н	Тк3, Н	Тк4, Н	Тк2, Н	j _{кв} , град
-20959,5381	-18657,3952	-7142,90875	-17697,3967	12362,3	-20959,54	20959,54	0	1,7635E-12	-1,6457E-12	4,70234E-13	0
-20656,6995	-18549,36683	544,728633	-17695,9205	12159,9	-20656,7	20715,47	-1559,36408	-582,50408	3304,308186	- 476,5084127	10
-19726,1729	-18399,19174	2634,607459	-17660,978	11483,4	-19726,17	19928,29	-2831,02442	-1152,2466	7958,87676	- 964,8879352	20
-18336,6493	-18177,00353	-2785,68721	-17559,6261	10367,3	-18336,65	18677,75	-3553,27849	-1706,449	8787,913652	-1462,45309	30
-16808,1563	-17841,67017	-7816,96172	-17347,5189	8975,44	-16808,16	17194,58	-3624,83333	-2219,3116	7427,119979	- 1943,934942	40
-15426,0737	-17356,39965	-10655,3019	-16979,5198	7488,64	-15426,07	15729,29	-3073,55784	-2636,4586	6284,801142	- 2352,336435	50
-14420,6758	-16708,39417	-12306,2942	-16469,759	6175,41	-14420,68	14566,37	-2055,0651	-2877,2471	5683,993245	- 2636,261211	60
-13915,2672	-15928,5448	-13472,7844	-15817,8754	5378,21	-13915,27	13938,38	-802,300797	-2847,8318	5530,951517	- 2695,527698	70
-13911,9456	-15126,10492	-14525,465	-15098,5246	5333,11	-13911,95	13918,99	442,623159	-2508,6743	5592,353953	- 2454,060371	80
-14313,8881	-14406,98007	-15590,3868	-14436,0647	5905,51	-14313,89	14390,36	1481,53829	-1784,8743	5640,95316	-1879,64512	90
-14983,5405	-13943,74957	-16648,4642	-13980,1472	6763,25	-14983,54	15148,04	2226,371043	-709,57749	5523,220501	- 1015,090463	100
-15715,2844	-13900,60465	-17621,0046	-13859,5412	7562,49	-15715,28	15921,52	2554,341019	592,435259	5177,009392	4,694398362	110
-16387,8176	-14381,85215	-18430,9181	-14122,0571	8198,39	-16387,82	16585,57	2553,512719	1912,96282	4616,739008	962,0610752	120
-16919,9713	-15366,09225	-19035,8035	-14674,4829	8636,68	-16919,97	17076,58	2307,444017	2955,89801	3902,527341	1599,235227	130
-17290,2862	-16734,32062	-19436,0103	-15238,9815	8900,84	-17290,29	17395,69	1912,040751	3534,07465	3107,792598	1696,007655	140
-17512,0946	-18256,58111	-19343,6851	-15357,0929	9030,99	-17512,09	17571,5	1443,668012	3489,73665	2167,537263	1188,712404	150
-17625,1591	-19642,96702	-19070,796	-14547,8336	9078,37	-17625,16	17651,06	955,7970994	2790,87452	1322,699773	332,2847316	160
-17677,653	-20611,84484	-19097,3935	-12342,9924	9092,79	-17677,65	17684,01	474,239633	1549,07429	650,5674697	- 347,8256822	170
-17697,3967	-20959,53812	-18657,3952	-7142,90875	9100,16	-17697,4	17697,4	4,70234E-13	3,4796E-12	1,76355E-12	-1,64569E- 12	180
-17695,9205	-20959,53812	-18549,3668	544,728633	9111,15	-17695,92	17702,33	-476,508413	0	-582,504076	3304,308186	190
-17660,978	-20656,69948	-18399,1917	2634,607459	9114,95	-17660,98	17687,32	-964,887935	-1559,3641	-1152,2466	7958,87676	200
-17559,6261	-19726,17288	-18177,0035	-2785,68721	9080,92	-17559,63	17620,42	-1462,45309	-2831,0244	-1706,44898	8787,913652	210

-17347,5189	-18336,64929	-17841,6702	-7816,96172	8963,61	-17347,52	17456,1	-1943,93494	-3553,2785	-2219,31156	7427,119979	220
-16979,5198	-16808,15635	-17356,3996	-10655,3019	8706,1	-16979,52	17141,69	-2352,33644	-3624,8333	-2636,45856	6284,801142	230
-16469,759	-15426,07372	-16708,3942	-12306,2942	8302,2	-16469,76	16679,41	-2636,26121	-3073,5578	-2877,24712	5683,993245	240
-15817,8754	-14420,67579	-15928,5448	-13472,7844	7707,36	-15817,88	16045,9	-2695,5277	-2055,0651	-2847,83181	5530,951517	250
-15098,5246	-13915,26724	-15126,1049	-14525,465	6949,04	-15098,52	15296,66	-2454,06037	-802,3008	-2508,6743	5592,353953	260
-14436,0647	-13911,94565	-14406,9801	-15590,3868	6133,92	-14436,06	14557,92	-1879,64512	442,623159	-1784,87429	5640,95316	270
-13980,1472	-14313,88813	-13943,7496	-16648,4642	5477,78	-13980,15	14016,95	-1015,09046	1481,53829	-709,577489	5523,220501	280
-13859,5412	-14983,54052	-13900,6046	-17621,0046	5262,3	-13859,54	13859,54	4,694398362	2226,37104	592,4352592	5177,009392	290
-14122,0571	-15715,2844	-14381,8522	-18430,9181	5607,96	-14122,06	14154,79	962,0610752	2554,34102	1912,962825	4616,739008	300
-14674,4829	-16387,81764	-15366,0922	-19035,8035	6284,14	-14674,48	14761,37	1599,235227	2553,51272	2955,898014	3902,527341	310
-15238,9815	-16919,97132	-16734,3206	-19436,0103	6854,87	-15238,98	15333,07	1696,007655	2307,44402	3534,074646	3107,792598	320
-15357,0929	-17290,28622	-18256,5811	-19343,6851	6863,58	-15357,09	15403,03	1188,712404	1912,04075	3489,736646	2167,537263	330
-14547,8336	-17512,09463	-19642,967	-19070,796	5959,86	-14547,83	14551,63	332,2847316	1443,66801	2790,874523	1322,699773	340
-12342,9924	-17625,15906	-20611,8448	-19097,3935	3761,87	-12342,99	12347,89	-347,825682	955,797099	1549,074292	650,5674697	350
-7142,90875	-17677,65298	-20959,5381	-18657,3952	1454,33	-7142,909	7142,909	-1,6457E-12	474,239633	3,47958E-12	1,76355E-12	360
544,728633	-17697,39672	-20656,6995	-18549,3668	9720,8	544,7286	3348,908	3304,308186	4,7023E-13	-1559,36408	- 582,5040764	370
2634,607459	-17695,92053	-19726,1729	-18399,1917	13765,8	2634,607	8383,608	7958,87676	-476,50841	-2831,02442	- 1152,246601	380
-2785,68721	-17660,97796	-18336,6493	-18177,0035	10535,7	-2785,687	9218,865	8787,913652	-964,88794	-3553,27849	- 1706,448978	390
-7816,96172	-17559,6261	-16808,1563	-17841,6702	7467,99	-7816,962	10782,72	7427,119979	-1462,4531	-3624,83333	- 2219,311562	400
-10655,3019	-17347,51894	-15426,0737	-17356,3996	6613,2	-10655,3	12370,7	6284,801142	-1943,9349	-3073,55784	- 2636,458559	410
-12306,2942	-16979,51982	-14420,6758	-16708,3942	6787,11	-12306,29	13555,54	5683,993245	-2352,3364	-2055,0651	- 2877,247123	420
-13472,7844	-16469,75896	-13915,2672	-15928,5448	7373,08	-13472,78	14563,91	5530,951517	-2636,2612	-802,300797	- 2847,831807	430
-14525,465	-15817,87545	-13911,9456	-15126,1049	8149,74	-14525,47	15564,82	5592,353953	-2695,5277	442,623159	- 2508,674297	440
-15590,3868	-15098,52464	-14313,8881	-14406,9801	8984,68	-15590,39	16579,52	5640,95316	-2454,0604	1481,53829	-1784,87429	450
-16648,4642	-14436,06465	-14983,5405	-13943,7496	9763,62	-16648,46	17540,73	5523,220501	-1879,6451	2226,371043	-709,577489	460

-17621,0046	-13980,14723	-15715,2844	-13900,6046	10403,4	-17621	18365,76	5177,009392	-1015,0905	2554,341019	592,4352592	470
-18430,9181	-13859,54119	-16387,8176	-14381,8522	10863,5	-18430,92	19000,34	4616,739008	4,69439836	2553,512719	1912,962825	480
-19035,8035	-14122,05709	-16919,9713	-15366,0922	11144,2	-19035,8	19431,71	3902,527341	962,061075	2307,444017	2955,898014	490
-19436,0103	-14674,48289	-17290,2862	-16734,3206	11275,5	-19436,01	19682,91	3107,792598	1599,23523	1912,040751	3534,074646	500
-19343,6851	-15238,98151	-17512,0946	-18256,5811	10962,9	-19343,69	19464,75	2167,537263	1696,00766	1443,668012	3489,736646	510
-19070,796	-15357,09293	-17625,1591	-19642,967	10556,7	-19070,8	19116,61	1322,699773	1188,7124	955,7970994	2790,874523	520
-19097,3935	-14547,83359	-17677,653	-20611,8448	10520,3	-19097,39	19108,47	650,5674697	332,284732	474,239633	1549,074292	530
-18657,3952	-12342,99237	-17697,3967	-20959,5381	10060,2	-18657,4	18657,4	1,76355E-12	-347,82568	4,70234E-13	3,47958E-12	540
-18549,3668	-7142,908749	-17695,9205	-20959,5381	9969,16	-18549,37	18558,51	-582,504076	-1,646E-12	-476,508413	0	550
-18399,1917	544,728633	-17660,978	-20656,6995	9869,45	-18399,19	18435,24	-1152,2466	3304,30819	-964,887935	- 1559,364083	560
-18177,0035	2634,607459	-17559,6261	-19726,1729	9730,56	-18177	18256,93	-1706,44898	7958,87676	-1462,45309	- 2831,024417	570
-17841,6702	-2785,687206	-17347,5189	-18336,6493	9507,09	-17841,67	17979,17	-2219,31156	8787,91365	-1943,93494	- 3553,278489	580
-17356,3996	-7816,961721	-16979,5198	-16808,1563	9147,34	-17356,4	17555,5	-2636,45856	7427,11998	-2352,33644	- 3624,833326	590
-16708,3942	-10655,30187	-16469,759	-15426,0737	8606,36	-16708,39	16954,32	-2877,24712	6284,80114	-2636,26121	- 3073,557835	600
-15928,5448	-12306,29423	-15817,8754	-14420,6758	7865	-15928,54	16181,12	-2847,83181	5683,99324	-2695,5277	- 2055,065099	610
-15126,1049	-13472,78436	-15098,5246	-13915,2672	6994,25	-15126,1	15332,73	-2508,6743	5530,95152	-2454,06037	- 802,3007972	620
-14406,9801	-14525,46505	-14436,0647	-13911,9456	6077,74	-14406,98	14517,12	-1784,87429	5592,35395	-1879,64512	442,623159	630
-13943,7496	-15590,38679	-13980,1472	-14313,8881	5393,39	-13943,75	13961,79	-709,577489	5640,95316	-1015,09046	1481,53829	640
-13900,6046	-16648,4642	-13859,5412	-14983,5405	5336,35	-13900,6	13913,22	592,4352592	5523,2205	4,694398362	2226,371043	650
-14381,8522	-17621,00457	-14122,0571	-15715,2844	6092,71	-14381,85	14508,52	1912,962825	5177,00939	962,0610752	2554,341019	660
-15366,0922	-18430,91815	-14674,4829	-16387,8176	7386,12	-15366,09	15647,82	2955,898014	4616,73901	1599,235227	2553,512719	670
-16734,3206	-19035,80347	-15238,9815	-16919,9713	8871,4	-16734,32	17103,43	3534,074646	3902,52734	1696,007655	2307,444017	680
-18256,5811	-19436,0103	-15357,0929	-17290,2862	10270,4	-18256,58	18587,12	3489,736646	3107,7926	1188,712404	1912,040751	690
-19642,967	-19343,68507	-14547,8336	-17512,0946	11392,9	-19642,97	19840,24	2790,874523	2167,53726	332,2847316	1443,668012	700
-20611,8448	-19070,79602	-12342,9924	-17625,1591	12114,1	-20611,84	20669,97	1549,074292	1322,69977	-347,825682	955,7970994	710
-20959,5381	-19097,3935	-7142,90875	-17677,653	12362,3	-20959,54	20959,54	3,47958E-12	650,56747	-1,6457E-12	474,239633	720

Таблица В3 – Нагрузки, действующих на шейки коленчатого вала

1-я кореная шейка	1-й кривошип				2-я кореная шейка			2-й кривошип			3-я кореная шейка			3-й кривошип						
	Рк.ш1, Н	$j_{кв}^*$ град	Рк1, Н	T1, Н	Крк1, Н	Тк2, Н	Кк2, Н	Рк.ш2, Н	$j_{кв}^*$ град	T2, Н	Крк2, Н	Тк3, Н	Кк3, Н	Рк.ш3, Н	$j_{кв}^*$ град	T3, Н	Крк3, Н	T1, Н	Ркшпр3	Рк.ш2,4 Н
10479,8	0	20959,54	0	-20959,54	2,4E-13	1631,1	1631,07	180	4,7E-13	-17697,4	1,1E-12	-18177,4	18177,4	540	1,76E-12	-18657,4	0	6977,395964	3262,141401	18177,39596
10357,7	10	20715,47	-1559,36	-20656,7	541,428	1480,4	1576,29	190	-476,51	-17695,92	-529,506	-18122,64	18130,38	550	-582,504	-18549,37	-779,682	6930,377568	2998,878502	18130,37757
9964,14	20	19928,29	-2831,02	-19726,17	933,068	1032,6	1391,72	200	-964,89	-17660,98	-1058,57	-18030,08	18061,13	560	-1152,25	-18399,19	-1415,512	6861,132975	2279,482132	18061,13297
9338,88	30	18677,75	-3553,28	-18336,65	1045,41	388,51	1115,27	210	-1462,5	-17559,63	-1584,45	-17868,31	17938,43	570	-1706,45	-18177	-1776,639	6738,426889	1656,059807	17938,42689
8597,29	40	17194,58	-3624,83	-16808,16	840,449	-269,68	882,657	220	-1943,9	-17347,52	-2081,62	-17594,59	17717,31	580	-2219,31	-17841,67	-1812,417	6517,305463	2017,373309	17717,30546
7864,64	50	15729,29	-3073,56	-15426,07	360,611	-776,72	856,352	230	-2352,3	-16979,52	-2494,4	-17167,96	17348,22	590	-2636,46	-17356,4	-1536,779	6148,223551	2818,985899	17348,22355
7283,19	60	14566,37	-2055,07	-14420,68	-290,598	-1024,5	1064,96	240	-2636,3	-16469,76	-2756,75	-16589,08	16816,57	600	-2877,25	-16708,39	-1027,533	5616,573811	3338,954176	16816,57381
6969,19	70	13938,38	-802,301	-13915,27	-946,613	-951,3	1342,03	250	-2695,5	-15817,88	-2771,68	-15873,21	16113,38	610	-2847,83	-15928,54	-401,1504	4913,37979	3299,361689	16113,37979
6959,49	80	13918,99	442,6232	-13911,95	-1448,34	-593,29	1565,15	260	-2454,1	-15098,52	-2481,37	-15112,31	15314,67	620	-2508,67	-15126,1	221,31158	4114,67407	2725,872706	15314,67407
7195,18	90	14390,36	1481,538	-14313,89	-1680,59	-61,088	1681,7	270	-1879,6	-14436,06	-1832,26	-14421,52	14537,45	630	-1784,87	-14406,98	740,76915	3337,451042	1883,611658	14537,45104
7574,02	100	15148,04	2226,371	-14983,54	-1620,73	501,7	1696,6	280	-1015,1	-13980,15	-862,334	-13961,95	13988,55	640	-709,577	-13943,75	1113,1855	2788,553288	1427,30751	13988,55329
7960,76	110	15921,52	2554,341	-15715,28	-1274,82	927,87	1576,74	290	4,6944	-13859,54	298,565	-13880,07	13883,28	650	592,4353	-13900,6	1277,1705	2683,283658	1855,749149	13883,28366
8292,78	120	16585,57	2553,513	-16387,82	-795,726	1132,9	1384,41	300	962,061	-14122,06	1437,51	-14251,95	14324,27	660	1912,963	-14381,85	1276,7564	3124,267911	2461,550803	14324,26791
8538,29	130	17076,58	2307,444	-16919,97	-354,104	1122,7	1177,26	310	1599,24	-14674,48	2277,57	-15020,29	15191,98	670	2955,898	-15366,09	1153,722	3991,983029	2756,768326	15191,98303
8697,84	140	17395,69	1912,041	-17290,29	-108,017	1025,7	1031,32	320	1696,01	-15238,98	2615,04	-15986,65	16199,12	680	3534,075	-16734,32	956,02038	4999,118883	2661,633513	16199,11888
8785,75	150	17571,5	1443,668	-17512,09	-127,478	1077,5	1085,02	330	1188,71	-15357,09	2339,22	-16806,84	16968,85	690	3489,737	-18256,58	721,83401	5768,846219	2461,111433	16968,84622
8825,53	160	17651,06	955,7971	-17625,16	-311,756	1538,7	1569,93	340	332,285	-14547,83	1561,58	-17095,4	17166,57	700	2790,875	-19642,97	477,89855	5966,573407	3095,213276	17166,57341
8842,01	170	17684,01	474,2396	-17677,65	-411,033	2667,3	2698,81	350	-347,83	-12342,99	600,624	-16477,42	16488,36	710	1549,074	-20611,84	237,11982	5288,361762	5345,987882	16488,36176
8848,7	180	17697,4	4,7E-13	-17697,4	-1,1E-12	5277,2	5277,24	360	-2E-12	-7142,909	9,2E-13	-14051,22	14051,22	720	3,48E-12	-20959,54	2,351E-13	2851,223436	10554,48797	14051,22344
8851,17	190	17702,33	-476,508	-17695,92	1890,41	9120,3	9314,18	370	3304,31	544,7286	1652,15	-10207,4	10340,25	0	0	-20959,54	-238,2542	-859,75219	18537,52234	10340,24781
8843,66	200	17687,32	-964,888	-17660,98	4461,88	10148	11085,4	380	7958,88	2634,607	3199,76	-9011,046	9562,29	10	-1559,36	-20656,7	-482,444	-1637,70996	21800,33272	9562,290043
8810,21	210	17620,42	-1462,45	-17559,63	5125,18	7387	8990,82	390	8787,91	-2785,687	2978,44	-11255,93	11643,33	20	-2831,02	-19726,17	-731,2265	443,3282814	17190,01736	11643,32828
8728,05	220	17456,1	-1943,93	-17347,52	4685,53	4765,3	6682,97	400	7427,12	-7816,962	1936,92	-13076,81	13219,47	30	-3553,28	-18336,65	-971,9675	2019,474431	12082,78246	13219,47443
8570,85	230	17141,69	-2352,34	-16979,52	4318,57	3162,1	5352,47	410	6284,8	-10655,3	1329,98	-13731,73	13795,99	40	-3624,83	-16808,16	-1176,168	2595,986429	8915,966469	13795,98643

8339,71	240	16679,41	-2636,26	-16469,76	4160,13	2081,7	4651,91	420	5683,99	-12306,29	1305,22	-13866,18	13927,48	50	-3073,56	-15426,07	-1318,131	2727,478284	7045,723363	13927,47828
8022,95	250	16045,9	-2695,53	-15817,88	4113,24	1172,5	4277,1	430	5530,95	-13472,78	1737,94	-13946,73	14054,6	60	-2055,07	-14420,68	-1347,764	2854,598055	6007,568299	14054,59805
7648,33	260	15296,66	-2454,06	-15098,52	4023,21	286,53	4033,4	440	5592,35	-14525,47	2395,03	-14220,37	14420,64	70	-802,301	-13915,27	-1227,03	3220,64373	5621,638554	14420,64373
7278,96	270	14557,92	-1879,65	-14436,06	3760,3	-577,16	3804,33	450	5640,95	-15590,39	3041,79	-14751,17	15061,52	80	442,6232	-13911,95	-939,8226	3861,519847	5757,847876	15061,51985
7008,48	280	14016,95	-1015,09	-13980,15	3269,16	-1334,2	3530,91	460	5523,22	-16648,46	3502,38	-15481,18	15872,41	90	1481,538	-14313,89	-507,5452	4672,412449	6133,993819	15872,41245
6929,77	290	13859,54	4,694398	-13859,54	2586,16	-1880,7	3197,71	470	5177,01	-17621	3701,69	-16302,27	16717,25	100	2226,371	-14983,54	2,3471992	5517,254576	6399,221285	16717,25458
7077,39	300	14154,79	962,0611	-14122,06	1827,34	-2154,4	2825,02	480	4616,74	-18430,92	3585,54	-17073,1	17445,54	110	2554,341	-15715,28	481,03054	6245,540526	6315,10591	17445,54053
7380,68	310	14761,37	1599,235	-14674,48	1151,65	-2180,7	2466,08	490	3902,53	-19035,8	3228,02	-17711,81	18003,56	120	2553,513	-16387,82	799,61761	6803,564825	5852,421452	18003,56483
7666,53	320	15333,07	1696,008	-15238,98	705,892	-2098,5	2214,06	500	3107,79	-19436,01	2707,62	-18177,99	18378,53	130	2307,444	-16919,97	848,00383	7178,534948	5222,396527	18378,53495
7701,52	330	15403,03	1188,712	-15357,09	489,412	-1993,3	2052,5	510	2167,54	-19343,69	2039,79	-18316,99	18430,21	140	1912,041	-17290,29	594,3562	7230,211673	4537,745552	18430,21167
7275,81	340	14551,63	332,2847	-14547,83	495,208	-2261,5	2315,07	520	1322,7	-19070,8	1383,18	-18291,45	18343,67	150	1443,668	-17512,09	166,14237	7143,668379	4712,401067	18343,66838
6173,95	350	12347,89	-347,826	-12342,99	499,197	-3377,2	3413,9	530	650,567	-19097,39	803,182	-18361,28	18378,83	160	955,7971	-17625,16	-173,9128	7178,834796	6785,659333	18378,8348
3571,45	360	7142,909	-1,6E-12	-7142,909	1,7E-12	-5757,2	5757,24	540	1,8E-12	-18657,4	237,12	-18167,52	18169,07	170	474,2396	-17677,65	-8,23E-13	6969,07145	11514,48646	18169,07145
1674,45	370	3348,908	3304,308	544,7286	-1943,41	-9547	9742,84	550	-582,5	-18549,37	-291,252	-18123,38	18125,72	180	4,7E-13	-17697,4	1652,1541	6925,721908	19102,97863	18125,72191
4191,8	380	8383,608	7958,877	2634,607	-4555,56	-10517	11461,2	560	-1152,2	-18399,19	-814,378	-18047,56	18065,92	190	-476,508	-17695,92	3979,4384	6865,920768	21065,336	18065,92077
4609,43	390	9218,865	8787,914	-2785,687	-5247,18	-7695,7	9314,29	570	-1706,4	-18177	-1335,67	-17918,99	17968,7	200	-964,888	-17660,98	4393,9568	6768,701662	15485,62515	17968,70166
5391,36	400	10782,72	7427,12	-7816,962	-4823,22	-5012,4	6956,08	580	-2219,3	-17841,67	-1840,88	-17700,65	17796,12	210	-1462,45	-17559,63	3713,56	6596,117331	10267,43022	17796,11733
6185,35	410	12370,7	6284,801	-10655,3	-4460,63	-3350,5	5578,83	590	-2636,5	-17356,4	-2290,2	-17351,96	17502,44	220	-1943,93	-17347,52	3142,4006	6302,442472	7201,084995	17502,44247
6777,77	420	13555,54	5683,993	-12306,29	-4280,62	-2201	4813,35	600	-2877,2	-16708,39	-2614,79	-16843,96	17045,7	230	-2352,34	-16979,52	2841,9966	5845,703955	5258,99561	17045,70395
7281,95	430	14563,91	5530,952	-13472,78	-4189,39	-1227,9	4365,63	610	-2847,8	-15928,54	-2742,05	-16199,15	16429,59	240	-2636,26	-16469,76	2765,4758	5229,587355	3760,439512	16429,58736
7782,41	440	15564,82	5592,354	-14525,47	-4050,51	-300,32	4061,63	620	-2508,7	-15126,1	-2602,1	-15471,99	15689,28	250	-2695,53	-15817,88	2796,177	4489,276905	2579,576512	15689,27691
8289,76	450	16579,52	5640,953	-15590,39	-3712,91	591,7	3759,77	630	-1784,9	-14406,98	-2119,47	-14752,75	14904,22	260	-2454,06	-15098,52	2820,4766	3704,222349	2141,54797	14904,22235
8770,37	460	17540,73	5523,221	-16648,46	-3116,4	1352,4	3397,18	640	-709,58	-13943,75	-1294,61	-14189,91	14248,84	270	-1879,65	-14436,06	2761,6103	3048,841437	2796,244167	14248,84144
9182,88	470	18365,76	5177,009	-17621	-2292,29	1860,2	2952,1	650	592,435	-13900,6	-211,328	-13940,38	13941,98	280	-1015,09	-13980,15	2588,5047	2741,977646	3767,274232	13941,97765
9500,17	480	19000,34	4616,739	-18430,92	-1351,89	2024,5	2434,41	660	1912,96	-14381,85	958,829	-14120,7	14153,21	290	4,694398	-13859,54	2308,3695	2953,212594	4478,20971	14153,21259
9715,86	490	19431,71	3902,527	-19035,8	-473,315	1834,9	1894,92	670	2955,9	-15366,09	1958,98	-14744,07	14873,65	300	962,0611	-14122,06	1951,2637	3673,645778	4712,1241	14873,64578
9841,45	500	19682,91	3107,793	-19436,01	213,141	1350,8	1367,56	680	3534,07	-16734,32	2566,65	-15704,4	15912,76	310	1599,235	-14674,48	1553,8963	4712,760669	4448,461612	15912,76067
9732,37	510	19464,75	2167,537	-19343,69	661,1	543,55	855,863	690	3489,74	-18256,58	2592,87	-16747,78	16947,31	320	1696,008	-15238,98	1083,7686	5747,305533	3655,141157	16947,30553
9558,31	520	19116,61	1322,7	-19070,8	734,087	-286,09	787,864	700	2790,87	-19642,97	1989,79	-17500,03	17612,79	330	1188,712	-15357,09	661,34989	6412,788741	2848,92265	17612,78874

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