

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование кафедры)

13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Двигатели внутреннего сгорания

(направленность (профиль/специализация))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Совершенствование системы выпуска двигателей семейства  
ВАЗ

Студент

Л.К. Волик

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Нормоконтролер

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

П.А. Корчагин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Т.С. Анисифорова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## ABSTRACT

This graduation project deals with improvement of the exhaust system of the VAZ 21179 engine.

The aim of the work is to give some information about exhaust gas systems and methods to improve their efficiency.

The object of the graduation work is the exhaust system.

The subject of the graduation work is VAZ 21179 engine.

Issues of improving the efficiency of the system, the environmental performance, the safety and the economic component are highlighted in the project's general part.

The graduation work describes in details the need to improve the efficiency of the engine exhaust gas neutralization system.

The first chapter gives an analysis of the relevance of the problem and the means of its solution.

The second chapter presents thermal calculation of the under consideration VAZ 21179 engine.

The kinematics and dynamics calculation of the engine is presented in the third chapter.

In the fourth part, the calculation of the heating rate of the catalytic Converter with the installed exhaust manifold 4-2-1 is presented.

In conclusion we'd like to stress that the technology is compliant with the environment and safety standards.

The work graduation project consists of an explanatory note on 77 pages, introduction, including 16 figures, 12 tables, the list of 26 references including five appendices, and the graphic part on 6 A1 sheets.

## АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект посвящен совершенствованию выхлопной системы двигателя ВАЗ 21179.

Цель работы - дать некоторую информацию о системах выхлопных газов и методах повышения их эффективности.

Объектом дипломной работы является выхлопная система.

Предметом дипломной работы является двигатель ВАЗ 21179.

В общей части проекта освещены вопросы повышения эффективности системы, экологических показателей, безопасности и экономической составляющей.

В дипломной работе подробно описана необходимость повышения эффективности системы выпуска отработавших газов двигателя.

В первой главе дается анализ актуальности проблемы и средств ее решения.

Во второй главе представлен тепловой расчет рассматриваемого двигателя ВАЗ 21179.

Расчет кинематики и динамики двигателя представлен в третьей главе.

В четвертой части представлен расчет скорости нагрева каталитического нейтрализатора с установленным выпускным коллектором 4-2-1.

В заключение мы хотели бы подчеркнуть, что технология соответствует стандартам окружающей среды и безопасности.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки на 77 страницах, введения, включающего 16 рисунков, 12 таблиц, списка из 26 ссылок, включающего пять приложений, и графической части на 6 листах А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Обзор методов снижения уровня шума автомобильных ДВС.....	7
2 Методы снижения шума двигателя .....	11
3 Тепловой расчет.....	17
4 Кинематический и динамический расчёты .....	28
5 Специальная часть.....	45
6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы.....	51
Заключение.....	50
Список использованных источников.....	51
Приложение А .....	54
Приложение Б .....	72
Приложение В .....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема высокого шумового загрязнения окружающей среды является особенно актуальной в наши дни, когда растёт число автотранспортных средств. Одним из самых крупных источников шума являются двигатели внутреннего сгорания. Снижение уровня шума невозможно без исследования шумового образования и способов предотвращения.

Анализ спектров звуковой энергии, излучаемой автомобилями в окружающую среду, показывает, что автомобиль является преимущественно источником низкочастотного шума, обладающего высокой проникающей способностью и градостроительные шумозащитные мероприятия, в связи с этим, являются малоэффективными. Таким образом, создание низкошумных конструкций автомобилей следует считать одним из наиболее эффективных и экономически целесообразных способов уменьшения шумового фона в жилой зоне. Звуковая энергия, обусловленная вибрацией поверхностей корпусных деталей и аэродинамическим возбуждением от систем газообмена ДВС, как правило, практически полностью определяют уровень внешнего шума современных легковых автомобилей. Причем, если уровни внешнего шума в средне- и высокочастотном диапазоне определяются излучением от корпусных деталей, то уровни в низкочастотном диапазоне, как правило, формируются излучением аэродинамического характера от системы впуска ДВС.

Значительное влияние на низкочастотную энергию, излучаемую в окружающую среду системой впуска ДВС, оказывает конструкция моторного отсека автомобиля, что вызывает необходимость исследования совместной излучательной системы "система впуска ДВС - моторный отсек автомобиля". Таким образом, успешное решение проблемы уменьшения излучения шумовой энергии в окружающую среду от легковых автомобилей связано, в первую очередь, с созданием низкошумных конструкций корпусных деталей двигателя, системы впуска двигателя и моторного отсека автомобиля.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное исследование

путей уменьшения шума двигателя легкового автомобиля за счет воздействия на процессы излучения и передачи шума и снижение шума от автомобилей ВА-За за счет уменьшения шума двигателя.

## 1 Обзор методов снижения уровня шума автомобильных ДВС

Основные источники шума двигателя легкового автомобиля.

Шум ПД, в зависимости от механизма его образования, можно разделить на аэродинамический (газодинамический) и механический (структурный) [2].

Шум, возникновение которого связано с процессом сгорания, имеет газодинамическую природу, но проявляется в основном в результате механического взаимодействия деталей цилиндра-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ) с остовом. Непосредственное проникновение газодинамических колебаний через стенки цилиндра также имеет место и в некоторых случаях может играть существенную роль.

Механический шум излучается остовом ПД. Его уровень зависит от сил возбуждения, импеданса передачи и коэффициента излучения.

Основной причиной механического шума у тронковых двигателей являются удары поршней при переключке. Определенную роль играют и удары в подшипниках КШМ. Шум от ударов поршней и в подшипниках КШМ вызван действием сил давления газов и инерционных сил возвратно-поступательного движения КШМ. В крейцкопфных дизелях шум от ударов поршней практически отсутствует, поскольку сила давления поршня на гильзу воспринимается ползуном крейцкопфа.

Механический шум также вызывают клапанно-распределительный механизм (КРМ), топливная аппаратура (ТА), а также агрегаты наддува (АН).

Аэродинамический (газодинамический) шум связан с системой воздухообмена ПД и непосредственно с тактами всасывания и выпуска. Интенсивным источником шума системы турбонаддува являются компрессор, его впускной и нагнетательный тракты, включающие диффузор с улиткой, холодильник наддувочного воздуха и ресивер. У четырехтактных ПД без наддува (а иногда и с наддувом) во всасывающем тракте, вследствие резонансных явлений, возникают низкочастотные колебания воздуха. У двухтактных дизелей возможен резонанс столба воздуха в ресивере создаваемого возмущающими усилиями

вследствие заброса газов из цилиндров.

Газодинамические импульсы, возникающие в первоначальные периоды выпуска газов (свободный выпуск), вызывают колебания стенок выпускного тракта в широком диапазоне частот и при его жестком креплении к корпусным конструкциям распространяются в виде структурного шума.

На основании исследований большого количества дизелей основные источники шума располагаются в порядке убывания их интенсивности в следующем порядке:

1. системы впуска и выпуска;
2. процесс сгорания;
3. цилиндро-поршневая группа;
4. топливо-впрыскивающая аппаратура;
5. клапанно-распределительный механизм;
6. зубчатые передачи и т.п.

Рост среднего эффективного давления и максимального давления сгорания приводит к росту интенсивности пульсаций давления в системе воздухообращения ПД, и соответственно к росту уровней звука, излучаемого ПД, в том числе и газовыпускным трактом.

Основной причиной шума на выпуске являются колебания давления в потоке выпускных отработавших газов.

В момент открытия выпускных клапанов газы устремляются из рабочего цилиндра в выпускную систему, что приводит к интенсивному падению давления в цилиндре. Вследствие многократных отражений в цилиндре возникает затухающий газодинамический колебательный процесс. Подобный процесс происходит и в выпускном коллекторе. Изменения давления, возникшие в районе выпускных клапанов, распространяются по длине выпускного коллектора со скоростью, близкой к скорости звука. Кривая колебаний давления в выпускном коллекторе представляет собой периодически повторяющиеся импульсы. Эти импульсы сопровождаются резким периодическим усилением интенсивности



шума на выпуске. Периодичность объясняется тем, что каждый импульс давления отработавших газов успевает затухнуть за время до следующего импульса.

В автотранспортных двигателях объем выпускного коллектора имеет порядок объема рабочего цилиндра и площадь сечения, близкую к площади проходного сечения горловины выпускного клапана (или клапанов) при максимальном объеме. Такое соотношение объемов определяет достаточно быстрое выравнивание давлений в цилиндре и выпускном коллекторе (рис. 2).

Они будут различаться на величину гидравлических потерь в клапанной щели или выпускном окне. Резкий подъем давления в системе наблюдается во время свободного выпуска. В дальнейшем характер изменения давления в цилиндре и коллекторе определяется соотношениями эффективных

проходных сечений выпускных органов, кинематикой поршня, а также объемом самого коллектора. Малый объем выпускного коллектора обуславливает значительные амплитуды колебаний давления газа от давления порядка начала выпуска до давления, близкого к давлению за выхлопным коллектором.

Наличие сложных колебательных процессов выпускных газов, а также вихреобразования на конструктивных элементах газовыпускного тракта обуславливает сплошной спектр шума на выпуске.

В спектре шума на выпуске наряду с интенсивными составляющими, частота которых кратна частоте тактов выпуска, имеются также составляющие шума, возникающие вследствие вихреобразования при протекании струи газа через переменное сечение выпускного клапана.

В проходных сечениях выпускных клапанов вследствие больших скоростей выхлопных газов образуются вихри, вызывающие так называемые щелевые звуки высокой частоты.

В связи с непрерывным изменением площади проходных сечений выпускных клапанов и объемов цилиндров в процессе такта выпуска, можно полагать, что спектр шума на выпуске, в большой мере обусловленный щелевыми звуками, будет также непрерывным.

Как показали исследования, интенсивность шума на выпуске пропорциональна 8-й степени скорости пульсации выхлопных газов, что и определяет высокий уровень воздушного шума на выпуске.

Кроме того, шум на выпуске характеризуется большой нестационарностью во времени, что оказывает существенное влияние на его субъективное восприятие.

Общий уровень и спектральный состав шума на выпуске в основном определяются числом оборотов коленчатого вала дизеля, числом рабочих цилиндров, величиной противодавления выпуску и «время-сечением» выпускных клапанов.

Вместе с тем уровень и частотный состав шума на выпуске зависят также от формы и размеров камеры сгорания и всего выпускного тракта.

Для снижения шума на выпуске следует уменьшать скорость пульсаций давления отработавших газов и препятствовать распространению шума через выпускные клапаны в атмосферу в момент их открытия.

## 2 Методы снижения шума двигателя

Эффективным методом снижения шума на выпуске является уменьшение амплитуды колебания давления в самом выпускном коллекторе за счет специального его конструктивного выполнения с тем расчетом, чтобы волны давления отработавших газов накладывались в нем одна на другую в противофазе.

Введение газовой турбины в выпускной тракт также позволяет уменьшить интенсивность шума на выпуске. При прохождении потока отработавших газов через проточную часть турбины происходит превращение энергии газов в механическую работу. Поэтому на выходе из турбины поток выпускных газов становится более равномерным, а шум – ослабленным.

В настоящее время уменьшение скорости пульсаций давления выпускных газов достигается в основном установкой глушителей с расширительными камерами. Выбор типа глушителя определяется частотным составом шума на выпуске и требуемой величиной заглушения. Кроме того, снижение шума выпуска производится путем соответствующей звуко- и виброизоляции выпускного трубопровода.

Значительное снижение шума ПД в целом может быть достигнуто выбором рациональной конструкции глушителя выпуска еще на стадии разработки двигателя с учетом прогнозируемых санитарных норм по уровню производимого шума.

Для снижения шума автомобиля, прежде всего, стремятся:

- · конструировать менее шумные механические узлы;
- · уменьшать число процессов, сопровождающихся ударами;
- · снижать величину неуравновешенных сил, скорости обтекания деталей газовыми струями, допуски сопрягаемых деталей;
- · улучшать смазку;
- · применять подшипники скольжения и бесшумные материалы.

Кроме того, уменьшение шума автомобиля достигается применением шумопоглощающих и шумоизолирующих устройств.

Шум во впускном тракте двигателя может быть уменьшен с помощью воздухоочистителя специальной конструкции, имеющего резонансную и расширительную камеры, и конструкций впускных труб, уменьшающих скорости обтекания внутренних поверхностей потоком топливовоздушной смеси. Эти устройства позволяют снижать уровень шума впуска на 10-15 дБ по шкале А.

Уровень шума, при выпуске отработавших газов (при их истечении через выпускные клапаны), может достигать 120-130 дБ по шкале А. Чтобы уменьшить шум при выпуске, устанавливают активные или реактивные глушители. Наиболее распространенные простые и дешевые активные глушители представляют собой многокамерные каналы, внутренние стенки которых изготовлены из звукопоглощающих материалов. Звук гасится в результате трения отработавших газов о внутренние стенки. Чем больше длина глушителя и меньше сечение каналов, тем интенсивнее гасится звук.

Реактивные глушители представляют собой сочетание элементов различной акустической упругости; снижение шума в них происходит вследствие многократного отражения звука и возвращения его к источнику. Следует помнить, что чем эффективнее работает глушитель, тем больше уменьшается эффективная мощность двигателя. Эти потери могут достигать 15% и более. В процессе эксплуатации автомобилей необходимо тщательно следить за исправностью (прежде всего - герметичностью) впускного и выпускного трактов. Даже небольшая разгерметизация глушителя резко усиливает шум выпуска.

Шум в трансмиссии, ходовой части и кузове нового исправного автомобиля может быть уменьшен путем конструктивных усовершенствований. В коробке передач применяются синхронизаторы, косозубые шестерни постоянного зацепления, блокирующие конусные кольца и ряд других конструктивных ре-

шений. Получают распространение промежуточные опоры карданного вала, гипоидные главные передачи, менее шумные подшипники. Совершенствуются элементы подвески. В конструкциях кузовов и кабин широко используются сварка, шумоизолирующие прокладки и покрытия.

Шум в перечисленных выше частях и механизмах автомобилей может возникать и достигать значительных величин только при неисправностях отдельных узлов и деталей: поломке зубьев шестерни, коробления дисков сцепления, дисбалансе карданного вала, нарушении зазоров между зубчатыми колесами в главной передаче и т.д. Особенно резко возрастает шум автомобиля при неисправности различных элементов кузова. Основной путь устранения шума - правильная техническая эксплуатация автомобиля.

Двигатель ВАЗ 21179 – одно из последних нововведений в линейку двигателей ВАЗ.

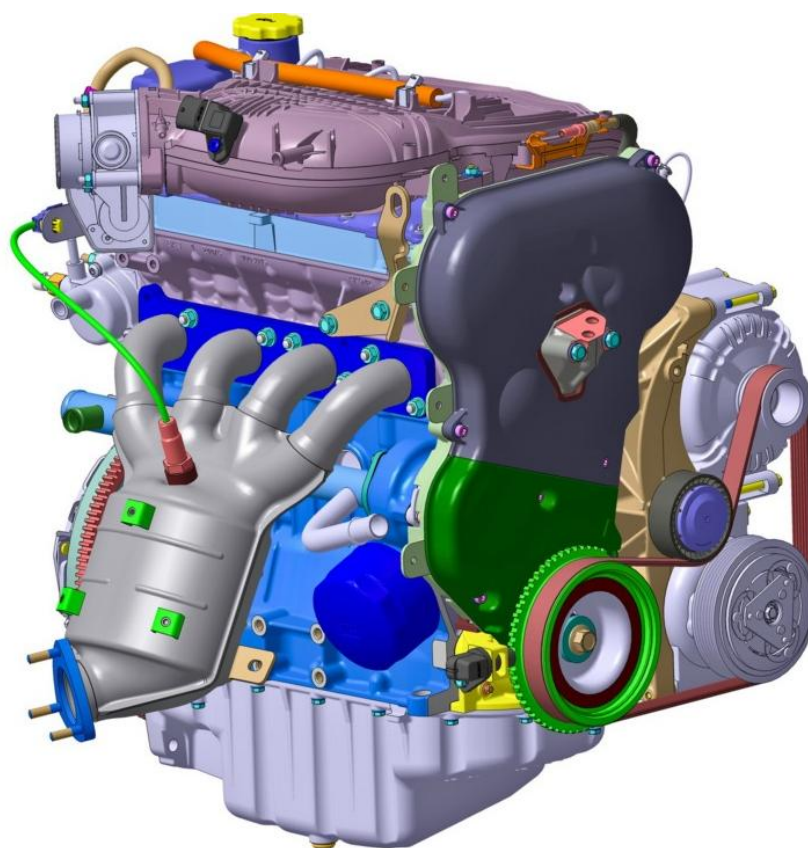


Рисунок 1. Внешний вид двигателя ВАЗ 21179

Технические характеристики двигателя:

- объем 1774 см<sup>3</sup> (1,8 л)
- мощность 122 л.с.
- момент крутящий 170 Н·м при 3750 об/мин.
- вес 99,3 кг
- степень сжатия 10,5
- питание инжектор
- тип мотора рядный
- впрыск распределенный с электронным управлением
- зажигание катушка для каждой свечи
- число цилиндров 4
- число клапанов на каждом цилиндре 4

Методы снижения шума двигателя.

Для снижения шумности двигателя ВАЗ 21179 есть два направления:

Первое направление реализуется в основном: 1) применением капсул, акустически герметизирующих двигатель в подкапотном пространстве; 2) использованием звукопоглощающих и звукоотражающих экранов, устанавливаемых в направлении распространения звуковых волн от двигателя к точкам измерения шума при его нормативной оценке.

Капсулирование двигателя даёт наибольший акустический эффект. Лучшие конструкции звукоизолирующих капсул ДВС позволяют снизить уровни звука на 8...10 дБ. В конструкции капсул используются специальные материалы с высокими звукоизолирующими и звукопоглощающими свойствами. В настоящее время конструкции капсул изготавливают из полимерных материалов, имеющих: высокие показатели шумоизоляции и вибродемпфирования – акустическую эффективность 6...8 дБ А; малую плотность (около 350 г/м<sup>2</sup>) имеют массу 25...40 кг. Они увеличивают стоимость автомобиля среднего класса на 5...8%. Капсулирование не является целесообразным и перспективным способом шумоглушения на массовых автомобилях потребительского класса в основном по соображениям технико-экономического характера, тре-

бующих существенного увеличения его массы, габаритов и стоимости.

Звукоизолирующие и звукопоглощающие экраны, размещаемые в моторном отсеке: обладают меньшим по сравнению с капсулами акустическим эффектом; предполагают определенные затраты на их установку. При акустическом эффекте более 1,5...2 дБ А целесообразность таких мероприятий ограничивается: возрастающей материалоемкостью конструкции; усложнением обслуживания и эксплуатации автомобиля.

Более актуальным вопросом в настоящее время является совершенствование акустических качеств системы впуска, что связано с жесткими ограничениями её массогабаритных и гидравлических характеристик. Практика показала, что обязательные для систем впуска автомобилей воздухоочистители являются эффективными глушителями шума процесса впуска. Они выполняют, как правило, роль камерного глушителя. При этом для эффективного снижения составляющей спектра шума с частотой, равной частоте следования тактов впуска, необходимо обеспечить нужную геометрию впускного тракта – в основном требуемую его длину. Для выполнения требований действующих нормативов достаточно иметь уровень излучаемой системой впуска звуковой мощности на 3...5 дБ А ниже аналогичного параметра структурного шума двигателя. Это требование на современных автомобилях в основном удовлетворяется без применения специальных глушителей шума впуска. Поддержание указанного соотношения уровней между шумом системы впуска и структурным шумом двигателя, особенно на низких частотах, которым соответствует значительная часть излучаемой звуковой мощности, требует существенного увеличения объёма и габаритов впускной системы для размещения в ней дополнительных резонаторных и активных шумоглушающих устройств. Это может создать серьёзные трудности при компоновке системы впуска на автомобиле. Более эффективной представляется комбинация традиционной системы выпуска и активного излучателя для подавления наиболее акустически активных гармоник низкочастотного шума. Его излучение контролируется микропроцессором и формируется в виде акустического сигнала, находящегося в противофазе сигналу за-

глушаемых гармоник. Экспериментальные образцы таких устройств простейшего исполнения: обеспечивают большой акустический эффект подавления шума впуска на низких частотах на 6...8 дБ А; не вызывают увеличения габаритов и массы впускной системы; обладают невысокой стоимостью; являются технологически доступными. Применение такого способа шумоглушения во впускных системах весьма перспективно.

Активные способы снижения шума. Это направление шумоглушения структурного шума предполагает целенаправленные изменения: характера процессов в ДВС, вызывающих шум данного происхождения; конструкции двигателя, обеспечивающей поглощение колебательной энергии и ограничивающей передачу энергии на наружные поверхности, а также интенсивность излучения. Для конструктивного снижения шума используются: организации трения в сопряжениях соединенных деталей; включение в конструкцию специальных демпферов, например, в резьбовых соединениях (рис. 5.1). Данный метод пока не нашел широкого применения; изготовление корпусных деталей из материалов с высоким коэффициентом демпфирования. Такие материалы дорогие, а технология изготовления деталей из них достаточно сложна; Введение продольных ребер жесткости на стенках развала блок-картера, а также применение ребер в отдельных подструктурах конструкции деталей ДВС для повышения их жесткости с учетом технологических, эксплуатационных, а также габаритных проблем и ограничений; специальной продольной стяжки крышек коренных опор; промежуточной плиты, связывающей все крышки коренных подшипников; Выполнение протяженных поверхностей нагруженных деталей корпуса ДВС: выпукло-вогнутыми; оребренными

### **3 Тепловой расчёт**

В работе, представленной ниже, двигатель рассчитан на пяти различных



режимах работы. Эти режимы представляют собой следующие обороты двигателя:

$n_1 = 840$  (мин<sup>-1</sup>) – обороты холостого хода;

$n_2 = 2400$  (мин<sup>-1</sup>) – номинальный режим работы двигателя;

$n_3 = 3750$  (мин<sup>-1</sup>) – обороты максимального крутящего момента;

$n_4 = 6050$  (мин<sup>-1</sup>) – обороты максимальной мощности;

$n_5 = 6200$  (мин<sup>-1</sup>) – максимальные обороты «отсечка».

Так же, для расчёта, нам необходим ряд исходных данных двигателя, который сведён в таблицу 1.

$i$	$D, мм$	$\tau$	$V_{л}, л$	$\alpha$	$\varepsilon$	$S, мм$
4	82	4	1,774	1	10,5	84

Таблица 1 □ Исходные данные для начала расчета

Задаём атмосферные условия:

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

Принимаем давление и температуру остаточных газов:

$$p_r = 0,1 - 0,11 \text{ (МПа); } T_r = 910 - 1100 \text{ (К).}$$

Плотность заряда на впуске:

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

Температура подогрева заряда  $\Delta T = 8$ .

Потери давления на впуске:

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

Сила, приложенная на площадь, в конце процесса впуска:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a$$

Коэффициент остаточных газов:

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

Температура в конце впуска:

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

Рассчитываем коэффициент наполнения при условии, что максимально возможный коэффициент дозарядки:  $\phi_{\text{доз}} = 1,14$

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} \cdot \phi_{\text{доз}} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r$$

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

- где  $m_T = 115$  кг/моль – молярная масса паров бензина,  $\mu_0 = 28,98$  – молярная масса воздуха,  $l_0 = 14,959$  кг·возд/кг·топл):

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

Данные, полученные в ходе расчётов, для всех 5 режимов работы, сводятся в таблицу 2:

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 3750$	$n_4 = 6050$	$n_5 = 6200$
$A_n$	0,005012	0,013639	0,020342	0,031391	0,030829
$\Delta p_a$	0,003716	0,005351	0,007284	0,009516	0,012041
$p_a$	0,096284	0,094649	0,092716	0,090484	0,087959
$\gamma_r$	0,039678	0,037731	0,037223	0,0356	0,037068
$T_a$	338,8196	335,1926	332,8945	326,7481	329,138
$\eta_v$	0,885154	0,89	0,991323	0,9439	0,834508
$V_a$	1,009548	1,015995	1,03006	1,035985	1,073512

Таблица 2 □ Процесс наполнения.

Вычисляем политропу сжатия:

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

Параметры в конце сжатия: температура, давление:

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

Давление, температура и удельный объем рабочего тела в момент вос-

пламенения, при УОЗ  $\Theta = 18^\circ \div 34^\circ$  и  $\lambda = 0,325$ :

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

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

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

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

Итоговые значения сведены в таблицу 3.

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 3750$	$n_4 = 6050$	$n_5 = 6200$
$n^I$	1,37	1,373	1,375	1,377	1,378
$P_c$	2,41314	2,388952	2,351208	2,305415	2,246371
$T_c$	808,7394	805,7457	803,9937	792,8689	800,5483
$V_y$	0,125617	0,140768	0,164611	0,191465	0,204225
$P_y$	1,673049	1,427844	1,154016	0,925285	0,865775
$T_y$	732,5665	700,6046	662,1529	617,5234	616,314
$\Theta$	18	22	27	32	34

Таблица 3 □ Процесса сжатия

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

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

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

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

Количество свежего заряда при коэффициента избытка воздуха -  $\alpha = 1$ :

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

Суммарное количество элементов сгорания:

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

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси:

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

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси:

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

Основной целью термодинамического расчёта, служит определение давления в цилиндре двигателя и температуры газов в любой момент времени сгорания. Расчёт производится при учёте УОЗ и характера сгорания. Благодаря применению этой методике расчёта, можно определить температуру и давление рабочего тела по углу поворота коленчатого вала с большой точностью, а так же скорость нарастания давления и прочие показатели: индикаторное давление, индикаторный КПД, температуру газов в конце расширения и др.

Коэффициент эффективности сгорания топлива, при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1$ , выбираем из таблицы и принимаем его в диапазоне  $\zeta = 0,92 \div 0,97$ .

Учтенная удельная теплота сгорания топлива будет равна:

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

$$q_z = \frac{\zeta \cdot H_u}{1 + \gamma_r}$$

Давление газов в процессе сгорания определяется следующим образом:

$$p_2 = E_2 \cdot \Delta X_{1-2} + p_1 \cdot \left[ \frac{1 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \cdot \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma_r}{1 + \gamma_r}} \right] \cdot \left[ \frac{1 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \cdot \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\gamma_r}{1 + \gamma_r}} \right] \cdot E_2 = \left( 0,002 \cdot \frac{\varepsilon}{V_a} \right) \cdot q_z ;$$

Часть топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

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

Для расчёта требуется указать следующие значения:

$p_1$  – давление в начале рассматриваемого участка, МПа;

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

$\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – углы поворота коленчатого вала, отсчитываемые от момента воспламенения до начала или конца рассматриваемого участка соответственно;

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

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

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

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

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

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

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

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

Сведённая в Приложение температура газов во время процесса сгорания:

$$T_2 = \frac{T_y \cdot p_2 \cdot \psi_{\varphi'_2}}{p_y \cdot \psi_{\varphi'_y} \cdot \mu_{1-2}}$$

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

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

Данные  $\mu_1$  показаны в приложении для каждого из рабочих режимов.

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

Результаты расчета сведены в таблицу 4.

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 3750$	$n_4 = 6050$	$n_5 = 6200$
$q_z$	2436,167	2520,328	2548,105	2578,681	2521,938
$E_2$	50,67564	52,09364	51,94862	52,27133	49,33404

Таблица 4 – Термодинамические данные

Данный пункт рассматривает нахождение средних показателей политроп расширения, находящихся методом последовательных приближений, при заданной начальной  $T_Z$  и  $n_2$ . Значение  $V_Z$  – объем рабочего тела, соответствует конечному значению давления  $p_Z$  при сгорании, т.е. при  $\varphi = \varphi_Z$  (данные значения берутся из Приложения).

Рассчитываем  $n_2$  по представленной формуле:

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

Значения в конце процесса расширения, как политропного процесса:

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

где  $p_Z$  и  $T_Z$  – параметры в конце сжатия (берутся из Приложения).

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

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

$\varphi_{pt}$  – значение угла п.к.в. в данный момент

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

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

Построим таблицу 5 и заполним её полученными значениями.

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 3750$	$n_4 = 6050$	$n_5 = 6200$
$n^2$	1,180576	1,178815	1,177823	1,18331	1,1916
$V_z$	0,181241	0,162363	0,142717	0,12568	0,127071
$P_z$	4,522473	5,196309	6,044404	6,493057	5,826967
$P_b$	0,595415	0,598248	0,589284	0,535098	0,458261
$T_z$	2053,402	2076,332	2073,011	1898,263	1691,379

Таблица 5 □ Впуск и расширение

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

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

Расчётное среднее индикаторное давление

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

Индикаторный коэффициент полезного действия

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

Удельный индикаторный расход топлива

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

Полученный результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла, указаны в таблице 6.

	$n_1 = 840$	$n_2 = 2400$	$n_3 = 3750$	$n_4 = 6050$	$n_5 = 6200$
$\eta_i$	0,404656	0,43671	0,409124	0,409474	0,411525
$g_i$	202,5164	187,6521	200,305	200,1334	199,1362
$P_{iT}$	1,229114	1,333737	1,391736	1,326294	1,178458
$L_{iT}$	1,122674	1,226016	1,297042	1,243161	1,144604

каторные показатели

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

Давление механических потерь при средней скорости поршня

$$v_n = \frac{S_n}{30}, \text{ м/с}$$

Среднее давление вследствие воздействия механических потерь

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

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{ МПа}$$

Механический коэффициент положительного действия

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

Эффективный коэффициент положительного действия

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

Удельный эффективный расход топлива

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

Расчетная эффективная мощность

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



Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{ кг/ч}$$

Крутящий момент двигателя

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

Значение рассчитанных эффективных показателей двигателя сводятся в таблицу 7.

Таблица 7 - Эффективные показатели двигателя

при n =	V <sub>п.ср</sub>	P <sub>м</sub>	P <sub>е</sub>	η <sub>м</sub>	η <sub>е</sub>	g <sub>е</sub>	N <sub>е</sub>	M <sub>е</sub>	G <sub>т</sub>
840	2,352	0,064576	1,164538	0,947461	0,383396	213,7464	14,46468	164,4375	3,091772
2400	6,72	0,12136	1,212377	0,909008	0,396972	206,4363	43,02536	171,1925	8,881994
3750	10,5	0,1705	1,221236	0,877491	0,359002	228,2701	67,71839	172,4435	15,45808
6050	16,94	0,25422	1,072074	0,808323	0,330988	247,5909	95,90822	151,3812	23,746
6200	17,36	0,25968	0,905702	0,777172	0,316277	259,1069	83,03335	127,8887	21,51451

Ниже приведены индикаторные диаграммы рассчитываемого нами ДВС на пяти установившихся режимах работы. Рисунки с 1 по 5, демонстрируют нам зависимость давления в цилиндре двигателя от угла ПКВ, а с 6 по 10, зависимость давления в цилиндре двигателя от объема цилиндра.

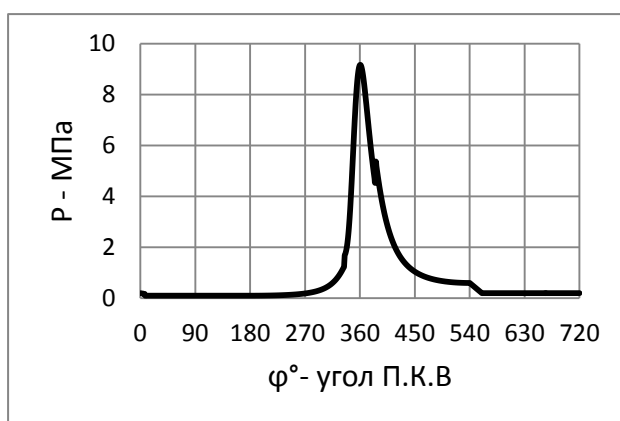


Рисунок 1 – 840 об/мин<sup>-1</sup>

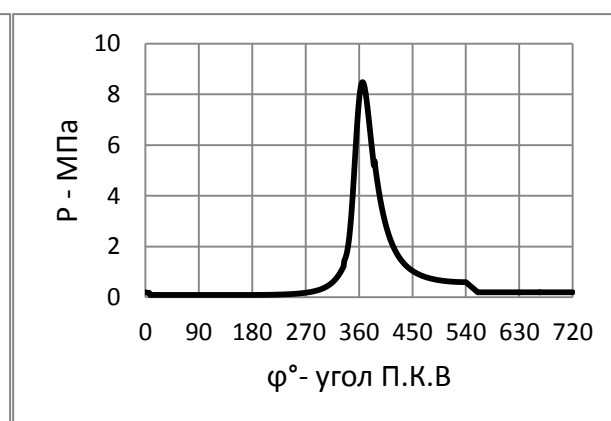


Рисунок 2 – 2400 об/мин<sup>-1</sup>

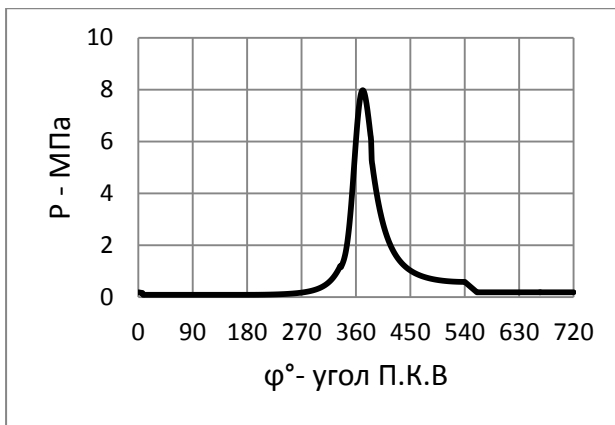


Рисунок 3 – 3750 об/мин<sup>-1</sup>

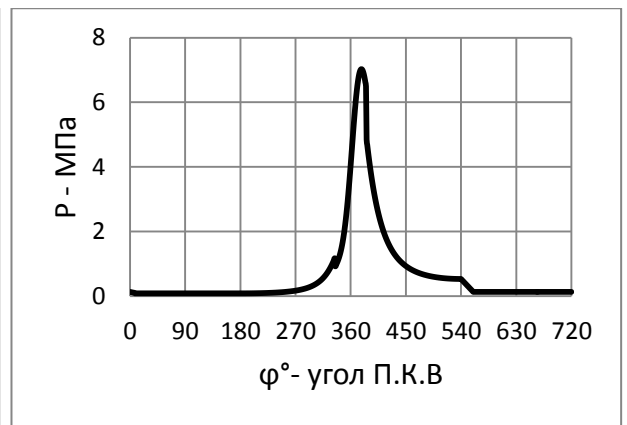


Рисунок 4 – 6050 об/мин<sup>-1</sup>

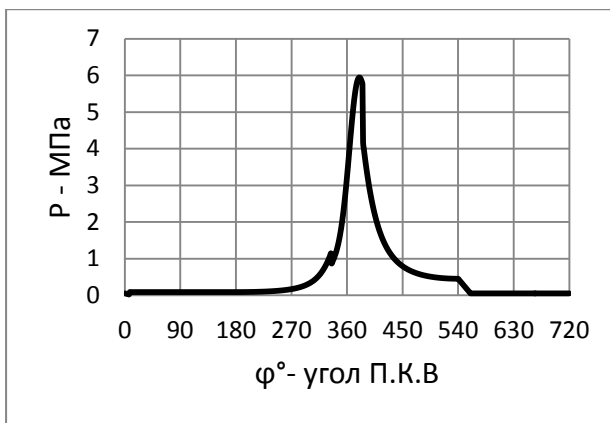


Рисунок 5 – 6200 об/мин<sup>-1</sup>

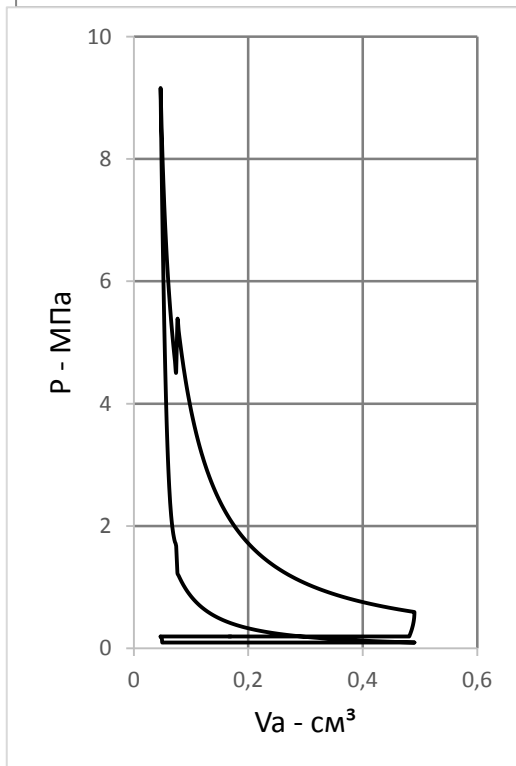


Рисунок 6 – 840 об/мин<sup>-1</sup>

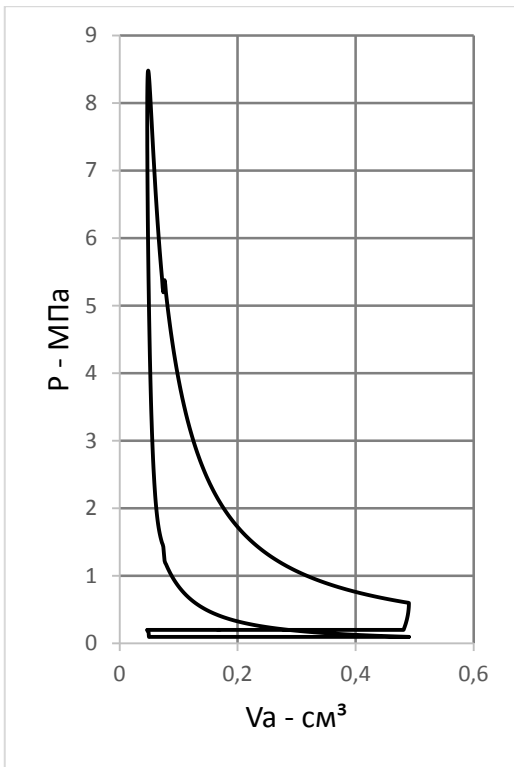


Рисунок 7 – 2400 об/мин<sup>-1</sup>

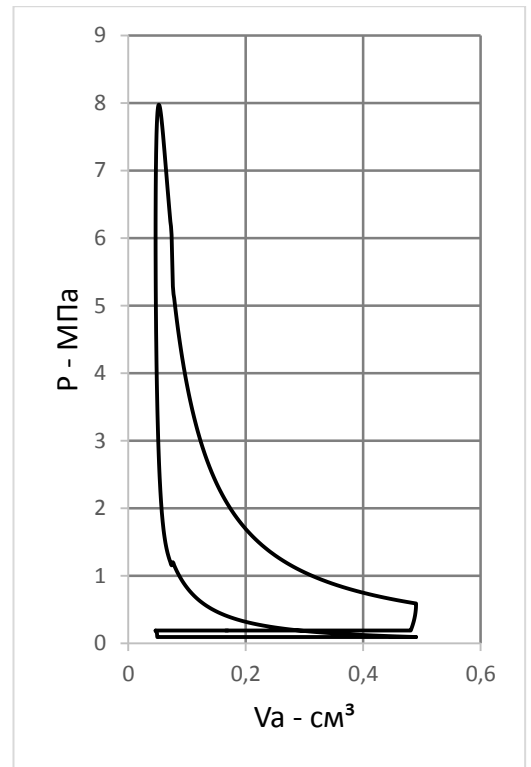


Рисунок 8 – 3750 об/мин<sup>-1</sup>

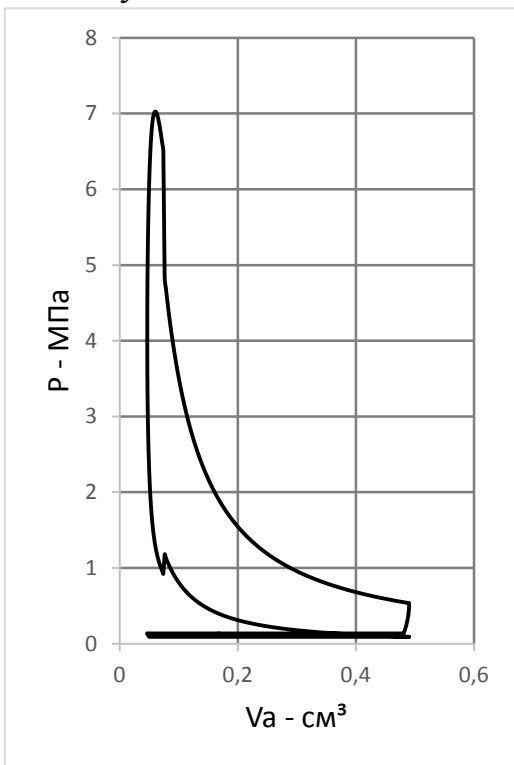


Рисунок 9 – 6050 об/мин<sup>-1</sup>

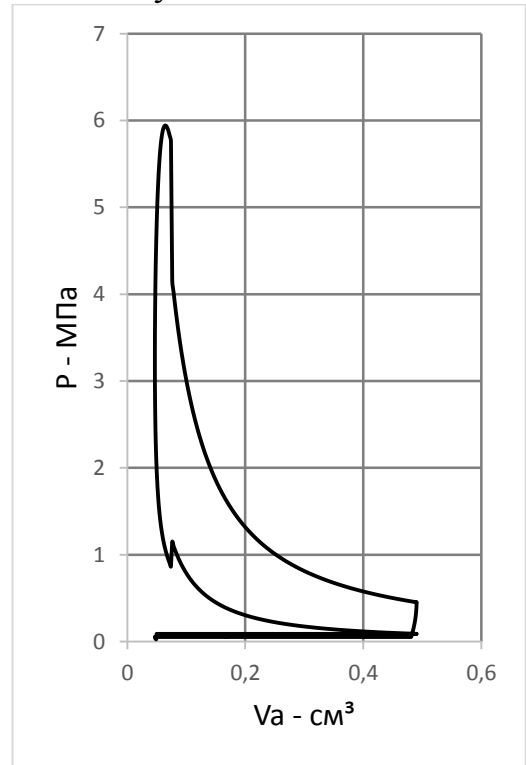


Рисунок 10 – 62000 об/мин<sup>-1</sup>

#### 4 Кинематический и динамический расчёты

Ниже, в целях экономии объема курсового проекта приведены основные пункты расчетов кинематики и динамики выбранного нами ДВС.

Данные для этого пункта берутся исходя из результатов теплового расчета и параметров двигателя ВАЗ 21179.

Максимальная мощность	$N_e = 90 \text{ кВт}$
Обороты коленчатого вала	$n = 6050 \text{ об/мин}$
Диаметр цилиндра	$D_{\text{п}} = 82 \text{ мм}$
Ход поршня	$S = 84 \text{ мм}$
Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна	$\lambda \sim 0,325$
Угловая скорость вращения коленчатого вала	$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 6050}{30} = 634 \text{ с}^{-1}$
Радиус кривошипа	$r = \frac{S}{2} = \frac{84}{2} = 42 \text{ мм}$
Длина шатуна	$l = \frac{r}{\lambda} = \frac{42}{0,325} = 129 \text{ мм}$

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

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

где:  $\varphi$  – угол поворота коленчатого вала;

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

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

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$S_x = 37,8 (1 - \cos 0) + \frac{0,325}{4} (1 - \cos 2 \cdot 0) = 0 \text{ мм}$$

Проводим расчет перемещения поршня до  $720^\circ$  и строим график перемещения  $S_x = f(\varphi)$ . Так как перемещение поршня повторяется каждые  $360^\circ$ , график строится до  $360^\circ$ . Таблица с полными результатами всех вычислений, вместе с графиками, сведена в Приложение Б, в целях экономии места и удобства чтения.

Рассчитаем скорость поршня по формуле:

$$V_x = \omega \cdot r \sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi$$

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

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

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$V_x = 634 \cdot 42 \sin 0 + \frac{0,325}{2} \sin 2 \cdot 0 = 0 \text{ м/с}$$

Проводим расчет скорости поршня до  $720^\circ$  и строим график скорости  $V_x = f(\varphi)$ . Так как скорость поршня повторяется циклически каждые  $360^\circ$ , график строится до  $360^\circ$ . Таблица с полными результатами всех вычислений, вместе с графиками, сведена в Приложение Б, в целях экономии места и удобства чтения.

Выясним ускорение поршня, вычислив его по формуле:

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

$$j_{\text{П1}} = \omega^2 \cdot r \cos\varphi \text{ – ускорение первого порядка;}$$

$$j_{\text{П2}} = \omega^2 \cdot r \lambda \cos 2\varphi \text{ – ускорение второго порядка.}$$

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$j = 634^2 \cdot 42 \cdot \cos 0 + 0,325 \cdot \cos 2 \cdot 0 = 22,3 \text{ м}^2/\text{с}$$

Проводим расчет ускорения поршня до  $720^\circ$  и строим график ускорения  $j = f(\varphi)$ . Так как ускорение поршня повторяется циклически каждые  $360^\circ$ , график строится до  $360^\circ$ . Таблица с полными результатами всех вычислений, вместе с графиками, сведена в Приложение Б, в целях экономии места и удобства чтения.

Определим силу давления газов рассчитав ее по формуле:

$$P_{\Gamma} = p_{\Gamma} \cdot F_{\text{П}}$$

где:  $F_{\text{П}}$  – площадь поршня.

$$P_{\Gamma} = (p_x - p_0) \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{П}}^2}{4}$$

Величина давление  $p_x$  берется с индикаторной диаграммы приведенной в курсовой работе,  $p_0$  – атмосферное давление,  $d_{\text{П}}$  – диаметр поршня.

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$P_{\Gamma} = 0,1166 - 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,082^2}{4} = 0,087 \text{ Н}$$

Проводим расчет силы давления газов действующих на поршень до  $720^\circ$  и строим график давления  $P_{\Gamma} = f(\varphi)$ . Таблица с полными результатами всех вычислений, вместе с графиками, сведена в Приложение В, в целях экономии места и удобства чтения.

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

Определим сумму инерции по формуле:

$$P_j = -m_j \cdot j$$

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

$$m_j = m_{\Pi} + m_{\text{ШП}}$$

Масса поршня:

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

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

Масса шатуна:

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

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

Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

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

Массы, совершающие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_{\Pi} + m_{\text{ШП}} = 0,52 + 0,188 = 0,716 \text{ кг}$$

Формулу суммарной силы инерции представляем в виде:

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

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

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

Сила инерции первого рода:

$$P_j = -m_j \cdot \omega^2 \cdot r \cos\varphi = -m_j \cdot j_{\Pi 1}$$

Сила инерции второго рода:

$$P_j = -m_j \cdot \lambda \cos 2\varphi \cdot \omega^2 = -m_j \cdot j_{\Pi 2}$$

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$P_{j1} = -m_j \cdot j_{\Pi 1} = -0,716 \cdot 16858 = -12 \text{ Н}$$

$$P_{j2} = -m_j \cdot j_{\Pi 2} = -0,716 \cdot 5479 = -3,9 \text{ Н}$$

$$P_j = P_{j1} + P_{j2} = -12 - 3,9 = -16 \text{ Н}$$

Проводим расчет сил инерции до  $720^\circ$  и строим график сил инерции  $P_j = f(\varphi)$ . Так как силы инерции повторяются циклически каждые  $360^\circ$ , график

строится до  $360^\circ$ . Таблица с полными результатами всех вычислений, вместе с графиками, сведена в Приложение В, в целях экономии места и удобства чтения.

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

Определим силу инерции по формуле:

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

где:  $m_r$  – масса вращающихся деталей.

$$m_r = m_k + m_{\text{шк}}$$

Масса неуравновешенных частей одного колена без противовесов находится по формуле:

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

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

Масса шатуна, на оси кривошипа:

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

Масса вращающихся частей:

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

Силы инерции, создаваемые ими:

$$P_r = -m_r \cdot \omega^2 \cdot r = -1,4 \cdot 634^2 \cdot 0,0378 = -23529 \text{ Н}$$

Суммарная сила  $P_1$  рассчитывается по формуле:

$$P_1 = P_{\Gamma} + P_j$$

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$P_1 = P_{\Gamma} + P_j = 0,087 - 16 = -15,9 \text{ кН}$$

Проводим расчет суммарных сил в КШМ до  $720^\circ$  и строим график давления  $P_1 = f(\varphi)$ . Таблица с полными результатами всех вычислений, вместе с графиками, сведена в Приложение В, в целях экономии места и удобства чтения.

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



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

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

Силу  $N$ , определим по формуле:

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

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$N = P_1 \cdot \operatorname{tg} \beta = -15,9 \cdot 0 = 0 \text{ кН}$$

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

Силу  $K$ , определим по формуле:

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

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$K = \frac{P_1}{\cos \beta} = \frac{-15,9}{1} = -15,9 \text{ кН}$$

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

Разложим силу  $K$  на две составляющие:

$Z$  – радиальная сила, изгибающая шатунную шейку.

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

Определим силу  $Z$ , рассчитав ее по формуле:

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

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$Z = -15,9 \cdot \frac{\cos \varphi + \beta}{\cos \beta} = -15,9 \text{ кН}$$

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

ние В.

Определим силу  $T$ , рассчитав ее по формуле:

$$T = P_1 \cdot \frac{\sin \varphi + \beta}{\cos \beta} = -15,9 \cdot 0 = 0 \text{ кН}$$

Проведем расчет до  $\varphi = 720^\circ$ . Результаты расчетов сводятся в приложение В. Все значения тригонометрических функций берутся из литературных источников.

Действия всех описанных нами сил показано на рисунке 1.

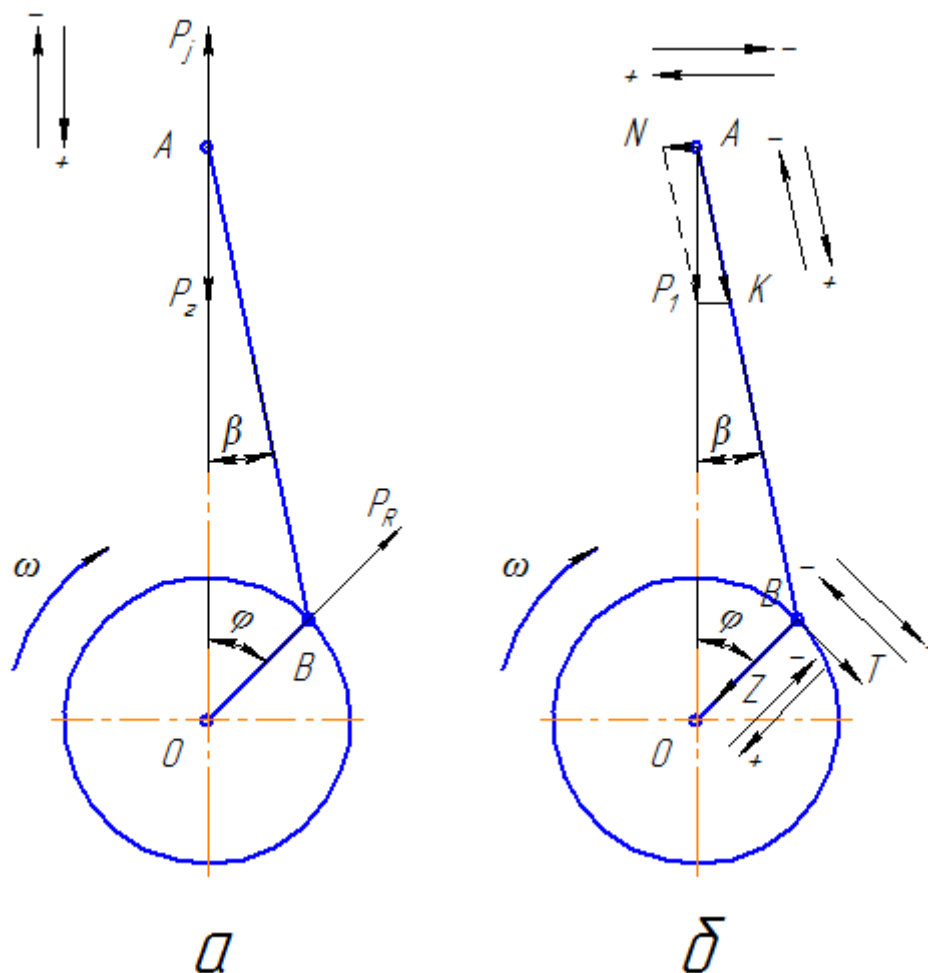


Рисунок 1 – Силы инерции

Равнодействующая  $R_{\text{шш}}$ , действующих на шатунную шейку, складывается из  $P_r, Z, T$  и определяется по формуле:

$$R_{\text{шш}} = \sqrt{T^2 + (Z + P_r)^2}$$

При  $\varphi = 0^\circ$ :

$$\begin{aligned} R_{\text{шш}} &= \sqrt{T^2 + (Z + P_r)^2} \\ &= \sqrt{0^2 + (-15,9 - 23,5)^2} \\ &= 39,4 \text{ кН} \end{aligned}$$

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

По результатам вычислений строится диаграмма полярной силы  $R_{\text{шш}}$ , рисунок 2, действующей на шатунную шейку. Данная диаграмма показывает направление действия силы в каждый конкретный момент времени, в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

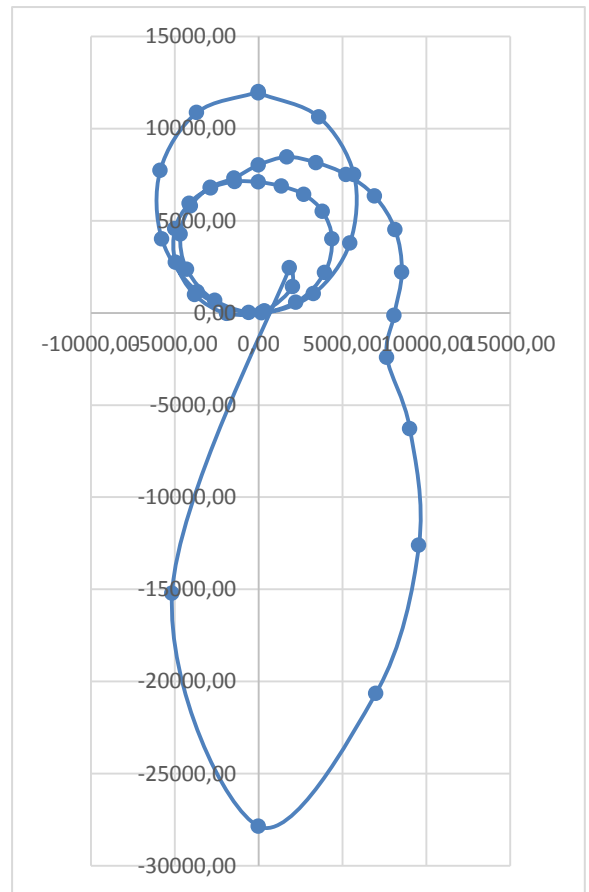


Рисунок 2 – Диаграмма полярной силы

Для определения максимальной и минимальной силы  $R_{\text{шш}}$ , полярную диаграмму перестраиваем в прямоугольные координаты, рисунок 3, в зависимости от угла П.К.В.

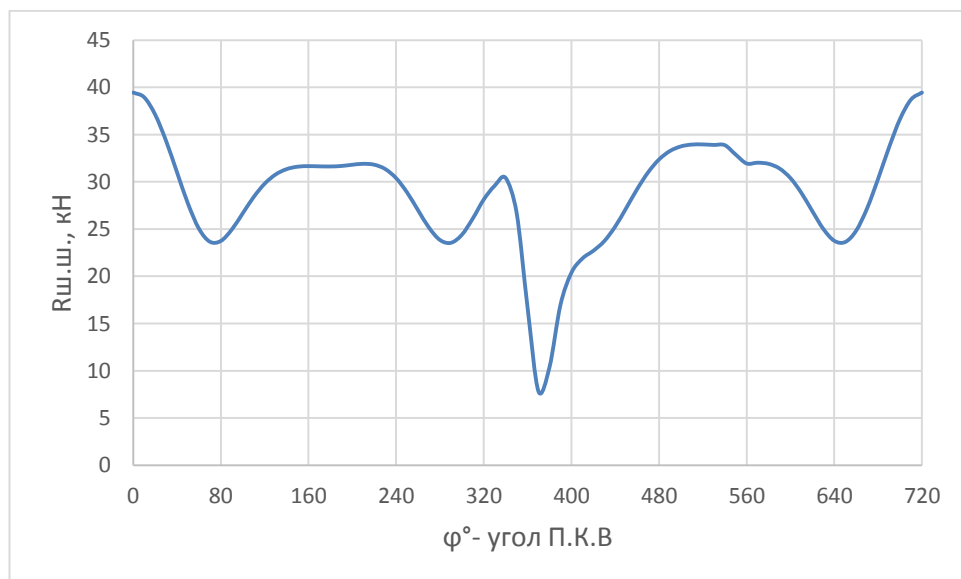


Рисунок 3 – Полярная диаграмма в прямоугольных координатах

Диаграмма износа строится следующим образом:

- воздействие силы распространяется равномерно по всему подшипнику в секторе  $120^\circ$  (по  $60^\circ$  в обе стороны от точки ее приложения);
- величина износа прямо пропорциональна величине действующей силы;
- суммарный износ равен сумме износов от действия отдельных сил.

Построения выполняется следующим образом. Вычерчиваются две отдельные окружности произвольного радиуса и делятся на сектора по  $10^\circ$  каждый. На первом круге производится вспомогательное построение. Для его построения из полярной диаграммы переносятся вектора действия сил и в соответствии с их направлениями и их действиями находятся точки воздействия данных сил. С учетом допущений, для каждой силы, из центра окружности строится дуга  $120^\circ$  с центром в точке приложения данной силы. Увеличение радиуса дуги относительно предыдущей, пропорционально величине силы, действующей в этой точке. По этому примеру строятся и другие построения, для каждой силы.

После обнаружения износа от действия всех сил во время рабочего цикла, суммируется, по каждому радиусу, общая толщина вычерченных участков и откладывается от второй окружности по соответствующему радиусу в сторону центра. Концы данных отрезков соединяются плавной кривой, для получения нашей диаграммы

По диаграмме износа определяется место для подвода масла, которое назначается в зоне наименьших нагрузок.

Наш двигатель 4х тактный и 4х цилиндровый, поэтому промежутки между вспышками равны  $180^\circ$ . Схема двигателя приведена на рисунке 5. Очередность процессов в двигателе нашего типа, с указаниями углов П.К.В., показана на таблице 2, приведенной ниже.

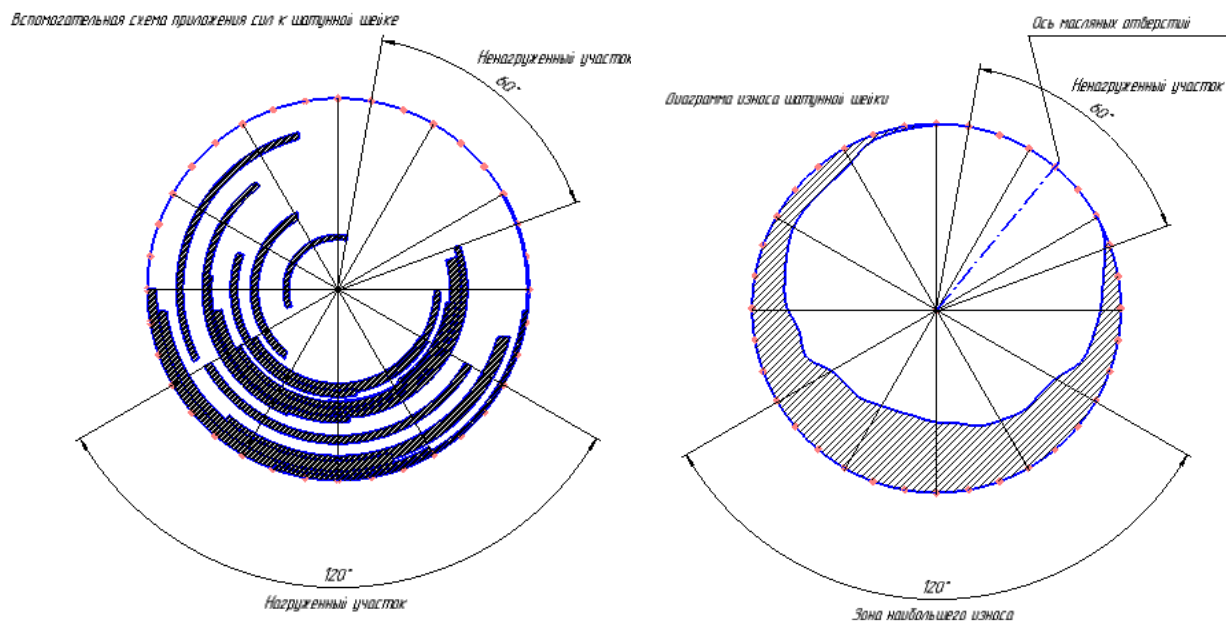


Рисунок 4 – Диаграмма износа

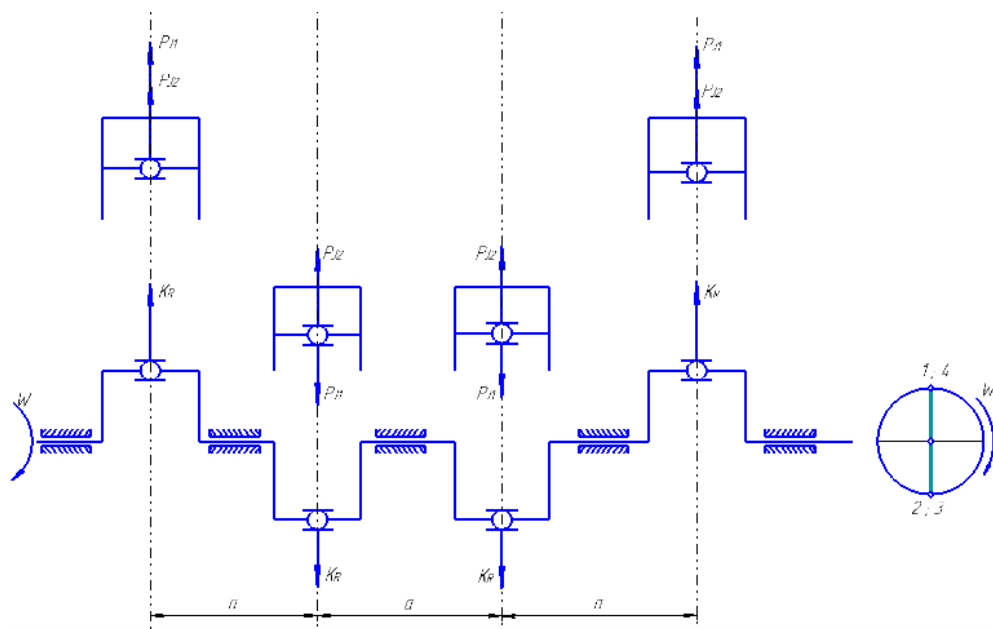


Рисунок 5 – Схема двигателя

Эта часть работы служит для расчета основных деталей двигателя внутреннего сгорания.

Рассчитаем напряжение изгиба днища поршня по формуле:

$$\sigma_{\text{из}} = p_{z\text{max}} \frac{r_i^2}{\delta} = 5,8 \cdot \frac{31^2}{7,2} = 85,59 \text{ МПа}$$

где:  $r_i = D/2 - (s+t+\Delta t) = 82/2 - (5+4+1) = 31 \text{ мм}$ .

Определим в сечении наименьшей площади напряжение на сжатие:

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{P_{z\text{max}}}{F_{x-x}} = \frac{0,0307}{0,0008} = 38 \text{ МПа}$$

где:  $P_{z\text{max}} = P_z F_{\Pi} = 5,8 \cdot 0,0053 = 0,03, \text{ МН}$  ;

$$F_{x-x} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - d_i^2) - n'_M F' = ((3,14/4) \cdot (72 - 65) - 10 \cdot 3,5) \cdot 10^{-6} = 0,0007 \text{ м}^2$$

$$F' = \frac{d_k - d_i}{2} \cdot d_M = \frac{72 - 65}{2} \cdot 1 = 3,5 \text{ мм}^2$$

$$d_k = D - 2 \cdot t + \Delta t = 82 - 2 \cdot 4 + 1 = 72 \text{ мм}$$

Максимальная угловая скорость х.х. нашего ДВС:

$$\omega_{x,x\text{max}} = \frac{\pi n_{x,x\text{max}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 6200}{30} = 649 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Определим максимальную разрывную силу:

$$P_j = m_{x-x} R \omega_{x,x\text{max}}^2 (1 + \lambda) = 0,225 \cdot 0,04 \cdot 649^2 \cdot (1 + 0,325) \cdot 10^{-6} = 0,005 \text{ МН}$$

Рассчитаем напряжение разрыва поршня:

$$\sigma_p = \frac{P_j}{F_{x-x}} = \frac{0,005}{0,0007} = 7 \text{ МПа}$$

В кольцевой перемычке, определим напряжения:

Среза;

$$\tau = 0,0314 \cdot p_{z\text{max}} \cdot \frac{D}{h_{\Pi}} = 0,0314 \cdot 5,8 \cdot \frac{82}{3,5} = 4,26 \text{ МПа}$$

Изгиба;

$$\sigma_{из} = 0,0045 p_{zmax} \left(\frac{D}{h_p}\right)^2 = 0,0045 \cdot 5,8 \cdot \frac{82^2}{3,5} = 14,3 \text{ МПа}$$

Сложного;

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + 4\tau^2} = 16,67 \text{ МПа}$$

Максимальное удельное давление юбки поршня на стенку цилиндра определяется по формулам, приведенным ниже:

$$q_1 = \frac{N_{max}}{h_{ю} \cdot D} = \frac{0,0045}{0,055 \cdot 0,082} = 1 \text{ МПа}$$

$$q_2 = \frac{N_{max}}{H \cdot D} = \frac{0,0045}{0,08 \cdot 0,082} = 0,69 \text{ МПа}$$

Диаметр головки поршня и юбки поршня соответственно, с учетом монтажных зазоров:

$$D_{\Gamma} = D - \Delta_{\Gamma} = 82 - 0,574 = 81,426 \text{ мм}$$

$$D_{ю} = D - \Delta_{ю} = 82 - 0,164 = 81,836 \text{ мм}$$

где:  $\Delta_{\Gamma} = 0,007D = 0,007 \cdot 82 = 0,574 \text{ мм}$ ;  $\Delta_{ю} = 0,002D = 0,002 \cdot 82 = 0,164 \text{ мм}$ .

Расчет поршневых колец проходит по представленному ниже алгоритму.

Таблица 3 показывает давление кольца на зеркало цилиндра в зависимости от угла П.К.В. Усредненное давление кольца, его напряжение и другие параметры рассчитаны ниже.

Определим давление кольца на стенку цилиндра нашего ДВС:

$$p_{cp} = 0,152E \frac{\frac{A_0}{t}}{\frac{D}{t} - 1} \frac{D}{t} = 0,152 \cdot 1,2 \cdot 10^5 \frac{\frac{12}{4}}{\frac{82}{4} - 1} \frac{82}{4} = 0,36 \text{ МПа}$$

Определим напряжение изгиба кольца в состоянии работы:

$$\sigma_{\text{из1}} = 2,61 p_{\text{ср}} \left( \frac{D}{t} - 1 \right)^2 = 2,61 \cdot 0,36 \cdot \frac{82}{4} - 1^2 = 357 \text{ МПа}$$

Таблица 3 – Давления кольца на зеркало цилиндра

Угол определяющий положение текущего давления	0	30	60	90	120	150	180
Переменный коэффициент	1,05	1,04	1,02	1,02	1,03	1,28	1,45
Давление в конкретной точке	0,3769	0,3712	0,3656	0,3638	0,3658	0,4224	0,516

Определим монтажное напряжение кольца, при его установке:

$$\sigma_{\text{из2}} = \frac{4E \left( 1 - \frac{0,114 A_0}{t} \right)}{m \frac{D}{t} - 1,4} = \frac{4 \cdot 1,2 \cdot 10^5 \cdot \left( 1 - 0,114 \cdot \frac{12}{4} \right)}{1,57 \cdot \frac{82}{4} - 1,4} = 514 \text{ МПа}$$

Определим монтажный зазор в замке кольца:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{к}} &= \Delta'_{\text{к}} + \pi D \left( \alpha_{\text{к}} T_{\text{к}} - T_0 - \alpha_{\text{ц}} T_{\text{ц}} - T_0 \right) = \\ &= 0,07 + 3,14 \cdot 82 \cdot \left( 11 \cdot 10^{-6} \cdot 500 - 293 - 11 \cdot 10^{-6} \cdot 380 - 293 \right) = 0,41 \text{ мм} \end{aligned}$$

где:  $\Delta'_{\text{к}} = 0,07 \text{ мм}$ ,  $T_{\text{к}} = 500 \text{ К}$ ,  $T_{\text{ц}} = 380 \text{ К}$



Воздействующие на поршневой палец силы:

- газовая

$$P_{zmax} = p_{zmsx} F_{\Pi} = 5,8 \cdot 0,0053 = 0,03 \text{ МН}$$

- инерционная

$$P_j = -m_{\Pi} \omega_M^2 R \cdot 1 + \lambda \cdot 10^6 = -0,45 \cdot 634^2 \cdot 0,04 \cdot 1 + 0,325 \cdot 10^6 \\ = -0,00957 \text{ МН}$$

-расчетная

$$P = P_{zmax} + kP_j = 0,03 - 0,8 \cdot 0,00957 = 0,0229 \text{ МН}$$

Определяем давление на единицу площади втулки шатуна в поршневой головке:

$$q_{ш} = \frac{P}{d_{\Pi} l_{ш}} = \frac{0,0229}{21 \cdot 30} = 36,4 \text{ МПа}$$

Рассчитаем давление пальца на бобышки:

$$q_6 = \frac{P}{d_{\Pi} (l_{\Pi} - b)} = \frac{0,0229}{21 \cdot (70 - 32)} = 28,7 \text{ МПа}$$

Определим напряжение на изгибе:

$$\sigma_{из} = \frac{P (l_{\Pi} + 2b - 1,5l_{ш})}{1,2 (1 - \alpha^4) d_{\Pi}^3} = \frac{0,0229 \cdot ((70 + 2 \cdot 32 - 1,5 \cdot 30))}{1,2 \cdot (1 - 0,66^4) \cdot 21} = 229,2 \text{ МПа}$$

Напряжения овализации на внешней поверхности пальца определяется по формулам и рассчитывается в двух плоскостях:

горизонтальная;

$$\sigma_{\alpha 0^\circ} = \frac{15P}{d_{\Pi} l_{\Pi}} \cdot 0,19 \frac{2 + \alpha}{1 - \alpha^2} \frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} - \frac{1}{1 - \alpha} \cdot 0,1 - \alpha - 0,4^3 \\ = \frac{15 \cdot 0,0229}{21 \cdot 70} \cdot 0,19 \frac{2 + 0,66}{1 - 0,66^2} \frac{1 + 0,66}{1 - 0,66} - \frac{1}{1 - 0,66} \cdot 0,1 - 0,66 - 0,4^3 \\ = 87 \text{ МПа}$$

вертикальная;

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 90^\circ} &= -\frac{15P}{d_{\text{п}}l_{\text{п}}} 0,174 \frac{2 + \alpha}{1 - \alpha^2} \frac{1 + \alpha}{\alpha} - \frac{0,636}{1 - \alpha} 0,1 - \alpha - 0,4^3 \\ &= \frac{15 \cdot 0,0229}{21 \cdot 70} 0,174 \frac{2 + 0,66}{1 - 0,66^2} \frac{1 + 0,66}{0,66} + \frac{0,636}{1 - 0,66} 0,1 - 0,66 - 0,4^3 \\ &= -102 \text{ МПа}\end{aligned}$$

Напряжения овализации на внутренней поверхности пальца определяется по формулам и рассчитывается в двух плоскостях:

горизонтальная;

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0^\circ} &= -\frac{15P}{d_{\text{п}}l_{\text{п}}} 0,19 \frac{1 + 2\alpha}{1 - \alpha^2} \frac{1 + \alpha}{\alpha} + \frac{1}{1 - \alpha} 0,1 - \alpha - 0,4^3 \\ &= -\frac{15 \cdot 0,0229}{21 \cdot 70} 0,19 \frac{2 + 0,66}{1 - 0,66^2} \frac{1 + 0,66}{0,66} + \frac{1}{1 - 0,66} 0,1 - 0,66 - 0,4^3 \\ &= -141 \text{ МПа}\end{aligned}$$

вертикальная;

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha 0^\circ} &= \frac{15P}{d_{\text{п}}l_{\text{п}}} 0,174 \frac{1 + 2\alpha}{1 - \alpha^2} \frac{1 + \alpha}{\alpha} - \frac{0,636}{1 - \alpha} 0,1 - \alpha - 0,4^3 \\ &= \frac{15 \cdot 0,0229}{21 \cdot 70} 0,174 \frac{2 + 0,66}{1 - 0,66^2} \frac{1 + 0,66}{0,66} - \frac{0,636}{1 - 0,66} 0,1 - 0,66 - 0,4^3 \\ &= 90 \text{ МПа}\end{aligned}$$

## 5 Специальная часть

В специальной части, представленной ВКР, рассмотрен вариант замены стандартного выпускного коллектора типа 4 – 1, на модернизированный выпускной коллектор работающий по принципу 4 – 2 – 1. Основным отличием, модернизированной конструкции выпуска от стандартной, является то, что при выпуске, ОГ, разделяются на две отдельные трубы, а уже после, соединяются в одну и идут к каталитическому нейтрализатору ОГ.

Ниже, конструкция модернизированного выпускного коллектора, рассматривается более подробным образом. Так же, в пунктах, представленных ниже, более подробно рассмотрены отличия модернизированной системы выпуска ОГ от стандартной, а так же приведен ее расчет.

### Описание конструкции модернизированной системы выпуска двигателя

В стандартном выпускном коллекторе, патрубки выпускной системы сводятся в единую трубу выпуска, максимально близко к ГБЦ, что негативно сказывается на динамических характеристиках ДВС. Это происходит, в следствии того, что при соединении в единую трубу, выхлопные газы двигателя моментально натываются на сопротивление, создаваемое каталитическим нейтрализатором ОГ. Встреча с таким сопротивлением, приводит к возврату части выхлопных газов назад, к выпускным клапанам двигателя, что приводит к ухудшению очистки цилиндров от ОГ, а, следовательно и ухудшению наполнения цилиндров свежим зарядом ТВС.

При модернизации выпускного коллектора, соединение четырех патрубков выпускной системы, сначала происходит попарно, в две отдельные трубы, а затем, оставшиеся два патрубка, соединяются в один. Схема модернизированного выпускного «паука», показана на рисунке 4.1.

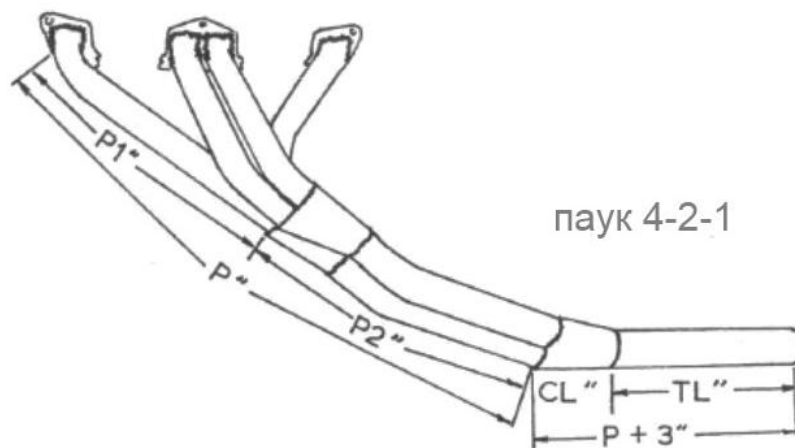


Рисунок 4.1 – Выпускной коллектор 4 – 2 – 1

Данная модернизация, увеличивает общую длину выпускной системы, до ее соединения с каталитическим нейтрализатором, что позволяет уменьшить возврат ОГ, к клапанам двигателя, за счет увеличения объема выпускного коллектора, а, следовательно, и снижению давления в нем.

#### Расчет модернизированной системы выпуска двигателя

Проведем расчет модернизированного выпускного коллектора, рассматриваемого нами ДВС.

Расчет длины труб проведем по формуле:

$$P = \frac{850 \cdot ED}{rpm} - 3$$

где rpm = обороты двигателя на которые настраивается выхлопная система, ED = 180 градусов плюс количество градусов, когда выпускной клапан открыт перед нижней мертвой точкой (НМТ, по англ. BDC).

Значение P получаем в дюймах, для перевода в миллиметры умножьте полученное значение на 25.4.

Для паука 4-2-1 длина труб будет состоять из длины первичных труб  $P_1$  плюс длина вторичных труб  $P_2$ . Для паука 4-1 P и есть длина первичных труб.

Внутренний диаметр труб может быть посчитан по формуле:

$$ID = \frac{cc}{P + 3 \cdot 25} \cdot 2.1$$

где  $cc$  – объем одного цилиндра в кубических сантиметрах,  $P$  – длина труб в дюймах, значение  $ID$  (внутренний диаметр) получаем в дюймах.

Внутренний диаметр вторичных труб для паука 4-2-1 труб получаем по формуле:

$$IDS = \sqrt{ID^2 \cdot 2} \cdot 0.93$$

где  $ID$  – посчитанный внутренний диаметр первичных труб в дюймах  
 Длина первичных труб ( $P_1$ ) должна быть как минимум 381 мм (15 дюймов).  
 Увеличение длины первичных труб улучшит мощность на высоких оборотах, увеличение длины вторичных труб – увеличит мощность на средних оборотах.  
 Необходимую длину вторичных труб можно рассчитать по простой формуле:

$$P_2 = P - P_1$$

В итоге, мы получаем размеры нашего выпускного коллектора, которые сводятся в таблицу 4.1. Так же, в таблице 4.1 указаны размеры стандартного, и модернизированного, выпускного коллектор.

Объем одного цилиндра ДВС см <sup>3</sup>	Выпускной коллектор 4-2-1		Выпускной коллектор 4 – 1
	Первичные трубы	Вторичные трубы	Первичные трубы
450	45	54	45

Таблица 4.1 – Диаметры патрубков выпускного коллектора

Влияние труб разной длины и диаметра на работу двигателя, показано на рисунке 4.2

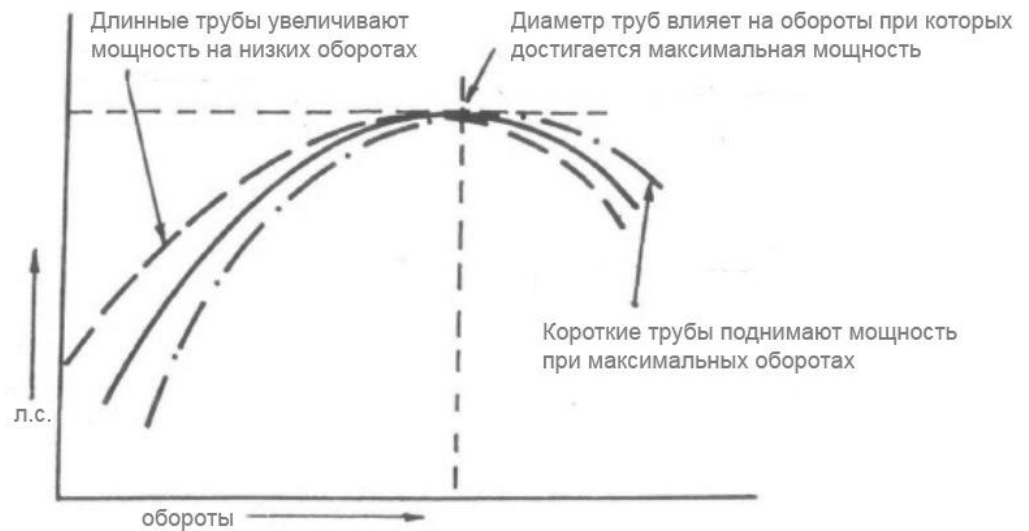


Рисунок 4.2 – Влияние размера труб выпускного коллектора на показатели двигателя

Далее, будет рассчитана скорость прогрева катализатора, в котором применяются керамические соты.

Для начала расчета, нам понадобится ряд исходных данных, взятых из справочной литературы [21]. К исходным данным, в нашем расчете, относятся теплофизические характеристики материала, из которого выполнены соты катализатора, а именно: коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), коэффициент температуропроводности ( $a$ ), плотность тела ( $\rho$ ) и его удельная теплоемкость ( $c$ ).

К исходным данным, относится и температуру окружающей среды катализатора ( $t_c$ ), которая приравнивается к температуре отработанных газов двигателя. Конечная температуру тела ( $t_2$ ), равняется рабочей температуре катализатора, а именно  $350\text{ }^\circ\text{C}$ , начальную температуру тела ( $t_1$ ), примем равной  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Для упрощения расчетов, допустим, что блок сот имеет форму цилиндра.

Приступим к расчету.

Определим площадь поверхности тела по формуле:

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

Определим объем тела по формуле:

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

Найдем массу тела:

$$G = \rho \cdot V$$

Определим коэффициент формы тела:

$$K = \left( \frac{2.405}{\frac{D}{2}} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{L}\right)^2)^{-1}$$

Темп нагрева определим по формуле:

$$m = \frac{a}{K}$$

Модифицированное число Био:

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

Определим отношение напора по поверхности к напору по объему:

$$\Psi = (1 + 1.44 \cdot B_i \cdot B_i^2)^{-0.5}$$

Рассчитаем относительный темп нагрева:

$$M = \Psi \cdot B_i$$

Расчетный темп нагрева определяется по формулам:

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

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

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

Время нагрева определяется по формуле:

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

Результаты расчетов времени нагрева, для катализатора, соты которого выполнены из керамики, сведены в таблицы Д1 – Д3.

Результаты расчетов, наглядно отображены на рисунках 4.1.

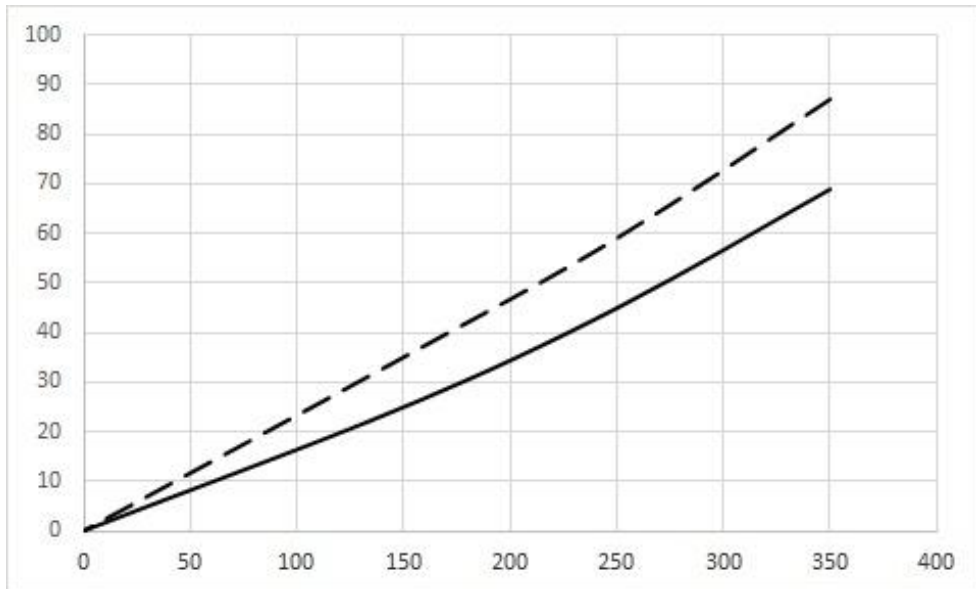


Рисунок 4.3 – Различие прогрева стандартного выпускного коллектора от системы выпуска 4 – 2 – 1

Как мы можем заметить, по полученным графикам и расчетам, увеличение длины и диаметра патрубков выпускного коллектора, положительно сказывается на динамические характеристики ДВС, увеличивает его мощность и улучшает наполнение цилиндров.



## 6 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

Данный раздел посвящен рассмотрению вопроса безопасности и экологичности, представленной бакалаврской работы.

Главным результатом модернизации двигателя ВАЗ 21179 стало изменение геометрии выпускного коллектора двигателя, что позволило улучшить очистку цилиндров от отработанных газов за счет снижения давления на выпуске. Таким образом, данные изменения оказали влияние на процесс сгорания топлива, что повлияло на условия образования токсичных компонентов

Количество углеводородов в ОГ снижается за счет лучшего наполнения цилиндров, а, следовательно, и большей скорости сгорания, что позволяет лучше догорать углеводородам (СН) за фронтом пламени и в пристеночных областях камеры сгорания.

Токсичность по угарному газу, так же снижается, в связи с большей полнотой сгорания топлива, за счет лучшей очистки цилиндров двигателя внутреннего сгорания.

Содержание оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) может незначительно увеличиваться, за счет повышения интенсивности процесса горения, что приводит к увеличению температуры процесса сгорания ТВС и влияет на образование  $\text{NO}_x$ .

Дополнительных условий, для образования новых токсичных компонентов, при модернизации двигателя ВАЗ 21179, не появилось, следовательно токсичность по ним останется на прежнем уровне.

Шумы от впускной системы двигателя могут несколько возрасти, так как шум от протекания процесса сгорания, будет глушиться позже, за счет увеличения длины патрубков выпускной системы.

На шумы от работы самого двигателя увеличение длины каналов выпускной системы влияет крайне незначительно.

Применение новой конструкции выпускного коллектора и изменение его длины, позволило увеличить коэффициент наполнения цилиндров двигателя, свежим зарядом ТВС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатами выполненной бакалаврской работы стали: тепловой расчет по методике Вибе, кинематический и динамический расчеты ДВС, а также расчеты основных деталей модернизируемого двигателя.

Полученные, в ходе расчетов, числовые значения близки к характеристике прототипа, взятого для расчета нашего ДВС. В процессе выполнения работы были построены графики с показаниями сил инерции, давления, скорости поршня, в зависимости от угла П.К.В и др.

В результате выполнения представленной бакалаврской работы и изучению процессов, проходящих в двигателе, в ходе его подготовки, были лучше поняты и усвоены знания, необходимые для проектирования ДВС. Знания, полученные в области расчетов, являются основополагающими для конструктора ДВС и в дальнейшем, будут применяться в жизни.

## 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, 2016. □ 496 с.
2. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя [Текст] / И.И. Вибе ; М. Машиностроение, 2015. □ 282 с.
3. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова ; –3-е издание. – М. : Высшая школа 2011. – с. 342
4. Двигатели внутреннего сгорания: в 3кн. Кн. 1 Теория рабочих процессов: учебник для вузов; под ред. В.Н. Луканина. 2езд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2005, 479с.
5. Каменев, В.Ф. Научные основы и пути совершенствования токсических характеристик автомобильных двигателей с искровым зажиганием: Дисс. . докт.техн.наук: 05.04.02 ГНЦ НАМИ / Каменев В.Ф. ; - Москва, 1996, - 454 с.
6. Машиностроение. Энциклопедия [Текст] /: в 40 т. / гл. ред. К.В. Фролов (пред.) и др.— М.: Машиностроение, 2013.- Т. IV-14: Двигатели внутреннего сгорания.- 784с
7. Смоленская, Н.М. Исследование эффективности рабочего процесса бензиновых двигателей с использованием электропроводности пламени / Н.М. Смоленская, В.В. Смоленский, П.В. Ивашин, А.П. Шайкин // ВНТК "Проведение научных исследований в области машиностроения". 27-28 ноября 2009. Тольятти: Изд-во ТГУ. - 2009. С.244-250.

8. Dobski, T. Combustion of Low Calorific Natural gases in Gas Engines in Pipeline Gas Transportation Systems [Текст] / Dobski T., Wawrzyniak J., Jancy B. // in: 5. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau. 2007.
9. Anderson, M. A Predictive Real Time NO<sub>x</sub> Model for Conventional and Partially Premixed Diesel Combustion [Текст] / Anderson M., Johansson B., Hultqvist A. // SAE-Paper 2006-01-3329. 2006.
10. Ceviz, M. A. Temperature and air-fuel dependent specific heat ratio functions for lean burned and unburned mixture [Текст] / Ceviz, M. A., Kaymaz, I. // Energy Conversion and Management 46. 2005.
11. Fontana, G. Experimental analysis of a spark-ignition engine using exhaust gas recycle at WOT operation / G. Fontana, E. Galloni // Applied Energy. – 2010. – Vol. 87. – P. 2187–2193.
12. Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.
13. Стуканов В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля: Учебное пособие. – М.: Форум: Инфра.М, 2005. – 368 с.
14. Альферович В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания: учебное-методическое пособие для студентов: в 2 ч. БНТУ, 2016 – 54 с
15. Кулешев А.С. программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач. М., МГТУ им. Баумана, 2004. – 123 с.
16. Крючков, Вадим. Разбираем новый 1,8-литровый двигатель 21179 [Электронный ресурс]: В. Крючков / Интернет издание «За рулем.рф». - автомобильный журн. — Москва: 1998-2016. – Режим доступа: <http://www.zr.ru/content/articles/834887-novyj-18-litrovyj-dvigatel-vaz-21179>

17. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления [Текст]. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.

18. Rory R, Davis: "The Ball Piston Engine: A New Concept in High Efficient Power Machines", Convergence Eng. Corporation.

19. REGI. Us. Inc.: Rand-Cam Engine, US Patent No:0746071, January 10th 2001

20. Dyna-Cam Engine Corporation: "Two-cycle swash plate internal combustion engine", USA Patent No:7137366, November 21st 2006

21. Мищенко К.П. Краткий справочник физико-химических величин / К.П. Мищенко, А.А. Равделя // Л.: Химия, 1974. – с. 200

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица верна, для установившихся оборотов холостого хода, равных - 840 (мин-1).

С	φ1	x1-2	ΔX1-2	k1-2	K1-2	Tпред- полаг	T1-2	T2	σ	ψ(φ'2)	σy	ψ(φ'y)	P2	μ1	μ2	μ1-2	Вс.т.
342	0	0	0	-	-	732,5665		732,56 65	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	1,6730 49	1	1		
343	1	0,0003 41	0,0006 82	1,3681 68	6,4323 04	672,4275	702,49 7	741,56 84	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	1,7371 24	1,0000 34	1,0000 34	1,0000 17	0,1256 17
344	2	0,0015 86	0,0031 72	1,3722 03	6,3734 14	681,8821	677,15 48	758,38 25	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	1,8208 94	1,0001 94	1,0001 94	1,0001 14	0,1224 73
345	3	0,0033 65	0,0067 31	1,3704 02	6,3995 35	693,4005	687,64 13	786,14 23	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	1,9333 32	1,0005 34	1,0005 34	1,0003 64	0,1194 99
346	4	0,0055 11	0,0110 23	1,3682 38	6,4312 66	707,9603	700,68 04	826,99 45	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	2,0815 65	1,0010 9	1,0010 9	1,0008 12	0,1166 98
347	5	0,0079 17	0,0158 35	1,3656 13	6,4702 59	726,4986	717,22 95	882,31 28	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	2,2711 14	1,0018 88	1,0018 88	1,0014 89	0,1140 71
348	6	0,0104 9	0,0209 79	1,3624 7	6,5176 95	749,8894	738,19 4	952,76 18	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	2,5057 97	1,0029 46	1,0029 46	1,0024 17	0,1116 2
349	7	0,0131 38	0,0262 76	1,3587 98	6,5741 65	778,9185	764,40 4	1038,3 17	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	2,7875 21	1,0042 71	1,0042 71	1,0036 09	0,1093 45
350	8	0,0157 73	0,0315 46	1,3546 35	6,6396 02	814,2592	796,58 89	1138,2 97	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	3,1161 09	1,0058 62	1,0058 62	1,0050 67	0,1072 48
351	9	0,0183 07	0,0366 13	1,3500 62	6,7132 81	856,4508	835,35 5	1251,4 16	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	3,4892 28	1,0077 09	1,0077 09	1,0067 86	0,1053 29
352	10	0,0206 54	0,0413 07	1,3451 9	6,7939 06	905,8826	881,16 67	1375,8 78	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	3,9024 34	1,0097 92	1,0097 92	1,0087 5	0,1035 91
353	11	0,0227 36	0,0454 72	1,3401 5	6,8797 52	962,7823	934,33 24	1509,4 84	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	4,3493 48	1,0120 85	1,0120 85	1,0109 39	0,1020 33
354	12	0,0244 85	0,0489 71	1,3350 72	6,9688 65	1027,21	994,99 63	1649,7 57	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	4,8219 37	1,0145 55	1,0145 55	1,0133 2	0,1006 56
355	13	0,0258 46	0,0516 92	1,3300 74	7,0592 43	1099,058	1063,1 34	1794,0 66	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	5,3108 81	1,0171 62	1,0171 62	1,0158 58	0,0994 62
356	14	0,0267 78	0,0535 56	1,3252 56	7,1490 09	1178,048	1138,5 53	1939,7 49	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	5,8059 96	1,0198 63	1,0198 63	1,0185 12	0,0984 5
357	15	0,0272 58	0,0545 17	1,3206 91	7,2365 25	1263,739	1220,8 93	2084,2 17	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	6,2966 95	1,0226 12	1,0226 12	1,0212 37	0,0976 22
358	16	0,0272 83	0,0545 66	1,3164 33	7,3204 62	1355,531	1309,6 35	2225,0 49	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	6,7724 5	1,0253 64	1,0253 64	1,0239 88	0,0969 77

359	17	0,0268 65	0,0537 31	1,3125 09	7,3998 2	1452,674	1404,1 02	2360,0 61	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	7,2232 45	1,0280 74	1,0280 74	1,0267 19	0,0965 16
360	18	0,0260 37	0,0520 74	1,3089 32	7,4739 19	1554,281	1503,4 78	2487,3 71	0 0	1 1	0 0	1 1	7,6399 92	1,0307	1,0307	1,0293 87	0,0962 4
361	19	0,0248 44	0,0496 87	1,3057 08	7,5423 58	1659,341	1606,8 11	2605,4 31	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	8,0148 77	1,0332 05	1,0332 05	1,0319 53	0,0961 47
362	20	0,0233 43	0,0466 86	1,3028 02	7,6049 77	1766,74	1713,0 4	2713,0 55	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	8,3416 37	1,0355 6	1,0355 6	1,0343 83	0,0962 4
363	21	0,0216 01	0,0432 03	1,3002 19	7,6617 98	1875,288	1821,0 14	2809,4 26	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	8,6157 35	1,0377 39	1,0377 39	1,0366 49	0,0965 16
364	22	0,0196 89	0,0393 78	1,2979 3	7,7129 84	1983,743	1929,5 15	2894,0 79	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	8,8344 34	1,0397 25	1,0397 25	1,0387 32	0,0969 77
365	23	0,0176 77	0,0353 55	1,2959 11	7,7587 95	2090,847	2037,2 95	2966,8 88	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	8,9967 74	1,0415 08	1,0415 08	1,0406 16	0,0976 22
366	24	0,0156 33	0,0312 66	1,2941 37	7,7995 52	2195,357	2143,1 02	3028,0 26	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	9,1034 45	1,0430 84	1,0430 84	1,0422 96	0,0984 5
367	25	0,0136 18	0,0272 37	1,2925 86	7,8356 08	2296,08	2245,7 19	3077,9 24	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	9,1565 96	1,0444 58	1,0444 58	1,0437 71	0,0994 62
368	26	0,0116 85	0,0233 69	1,2912 34	7,8673 26	2391,906	2343,9 93	3117,2 23	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	9,1595 81	1,0456 36	1,0456 36	1,0450 47	0,1006 56
369	27	0,0098 74	0,0197 48	1,2900 62	7,8950 66	2481,84	2436,8 73	3146,7 21	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	9,1166 71	1,0466 32	1,0466 32	1,0461 34	0,1020 33
370	28	0,0082 17	0,0164 35	1,2890 52	7,9191 72	2565,025	2523,4 32	3167,3 24	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	9,0327 66	1,0474 61	1,0474 61	1,0470 47	0,1035 91
371	29	0,0067 34	0,0134 69	1,2881 86	7,9399 65	2640,767	2602,8 96	3179,9 99	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	8,9131 08	1,0481 4	1,0481 4	1,0478 01	0,1053 29
372	30	0,0054 34	0,0108 68	1,2874 5	7,9577 42	2708,548	2674,6 57	3185,7 27	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	8,7630 35	1,0486 89	1,0486 89	1,0484 14	0,1072 48
373	31	0,0043 17	0,0086 34	1,2868 3	7,9727 75	2768,029	2738,2 88	3185,4 7	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	8,5877 7	1,0491 24	1,0491 24	1,0489 06	0,1093 45
374	32	0,0033 76	0,0067 52	1,2863 15	7,9853 11	2819,058	2793,5 43	3180,1 41	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	8,3922 54	1,0494 64	1,0494 64	1,0492 94	0,1116 2
375	33	0,0025	0,0051	1,2858	7,9955	2861,6	2840,3	3170,5	0,0449	1,2137	0,0449	1,2137	8,1810	1,0497	1,0497	1,0495	0,1140
376	34	0,0019 68	0,0039 37	1,2855 61	8,0037 7	2896,005	2878,8 3	3157,5 49	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	7,9581 85	1,0499 25	1,0499 25	1,0498 26	0,1166 98
377	35	0,0014 67	0,0029 35	1,2853 03	8,0100 88	2922,435	2909,2 2	3141,7 12	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	7,7272 92	1,0500 73	1,0500 73	1,0499 99	0,1194 99
378	36	0,0010 76	0,0021 52	1,2851 15	8,0147 04	2941,395	2931,9 15	3123,6 43	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	7,4914 35	1,0501 82	1,0501 82	1,0501 27	0,1224 73
379	37	0,0007	0,0015	1,2850	8,0164	2941,395	2941,3	3103,8	0,0717	1,3409	0,0717	1,3409	7,2532	1,0502	1,0502	1,0502	0,1256

		76	53	44	7		95	28	85	79	85	79	07	6	6	21	17
380	38	0,0005 51	0,0011 02	1,2850 53	8,0162 38	2941,395	2941,3 95	3082,6 68	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	7,0147 67	1,0503 15	1,0503 15	1,0502 88	0,1289 32
381	39	0,0003 84	0,0007 69	1,2850 6	8,0160 67	2941,395	2941,3 95	3060,5	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	6,7778 89	1,0503 54	1,0503 54	1,0503 35	0,1324 14
382	40	0,0002	0,0005	1,2850	8,0159	2941,3	2941,3	3037,5	0,0957	1,4547	0,0957	1,4547	6,5440	1,0503	1,0503	1,0503	0,1360
383	41	0,0001 78	0,0003 56	1,2850 69	8,0158 55	2941,395	2941,3 95	3014,1 76	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	6,3142 48	1,0503 99	1,0503 99	1,0503 9	0,1398 75
384	42	0,0001 18	0,0002 36	1,2850 71	8,0157 93	2941,395	2941,3 95	2990,4 15	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	6,0895	1,0504 11	1,0504 11	1,0504 05	0,1438 5
385	43	7,69E-	0,0001	1,2850	8,0157	2941,3	2941,3	2966,4	0,1229	1,5838	0,1229	1,5838	5,8704	1,0504	1,0504	1,0504	0,1479
386	44	4,92E- 05	9,85E- 05	1,2850 74	8,0157 22	2941,395	2941,3 95	2942,3 97	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	5,6575 35	1,0504 23	1,0504 23	1,0504 21	0,1522 79
387	45	3,1E- 05	6,19E- 05	1,2850 75	8,0157 03	2941,395	2941,3 95	2918,3 38	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	5,4511 68	1,0504 27	1,0504 27	1,0504 25	0,1567 29
388	46	1,91E- 05	3,83E- 05	1,2850 75	8,0156 91	2941,395	2941,3 95	2894,3 45	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	5,2515 64	1,0504 28	1,0504 28	1,0504 28	0,1613 33
389	47	1,16E-	2,32E-	1,2850	8,0156	2941,3	2941,3	2870,4	0,1638	1,7784	0,1638	1,7784	5,0588	1,0504	1,0504	1,0504	0,1660
390	48	6,93E- 06	1,39E- 05	1,2850 76	8,0156 79	2941,395	2941,3 95	2846,7 72	0,1749 46	1,8309 91	0,1749 46	1,8309 91	4,8731 23	1,0504 3	1,0504 3	1,0504 3	0,1709 93
391	49	4,06E-	8,11E-	1,2850	8,0156	2941,3	2941,3	2823,2	0,1863	1,8850	0,1863	1,8850	4,6943	1,0504	1,0504	1,0504	0,1760
392	50	2,33E- 06	4,66E- 06	1,2850 76	8,0156 74	2941,395	2941,3 95	2800,0 14	0,1980 11	1,9405 53	0,1980 11	1,9405 53	4,5224 73	1,0504 31	1,0504 31	1,0504 31	0,1812 41

Таблица верна, для установившихся рабочих оборотов двигателя - 2400 (мин-1).

С	φ1	x1-2	ΔX1-2	k1-2	K1-2	Tпред- полаг	T1-2	T2	σ	ψ(φ'2)	σy	ψ(φ'y)	P2	μ1	μ2	μ1-2	Ус.т.
338	0	0	0	-	-	700,604 6		700,60 46	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	1,4278 44	1	1		
339	1	8,93E- 05	0,0001 79	1,3707 2	6,3949 09	672,427 5	686,51 6	708,40 25	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	1,4841 98	1,0000 09	1,0000 09	1,0000 05	0,1407 68
340	2	0,0004 91	0,0009 82	1,3722 48	6,3727 64	681,882 1	677,15 48	718,81 4	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	1,5475 5	1,0000 59	1,0000 59	1,0000 34	0,1369 31
341	3	0,0011 52	0,0023 04	1,3704 93	6,3982 08	693,400 5	687,64 13	733,42 23	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	1,6217 81	1,0001 75	1,0001 75	1,0001 17	0,1332 59
342	4	0,0020 26	0,0040 53	1,3683 82	6,4291 52	707,960 3	700,68 04	753,55 14	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	1,7105 29	1,0003 8	1,0003 8	1,0002 77	0,1297 55
343	5	0,0030	0,0061	1,3658	6,4672	726,498	717,22	780,29	0,0576	1,2738	0,0576	1,2738	1,8171	1,0006	1,0006	1,0005	0,1264



		86	71	12	85	6	95	36	42	02	42	02	81	92	92	36	2
344	6	0,0043 04	0,0086 09	1,3627 25	6,5138 2	749,889 4	738,19 4	814,52 02	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	1,9448 16	1,0011 27	1,0011 27	1,0009 09	0,1232 55
345	7	0,0056 57	0,0113 15	1,3591 06	6,5693 79	778,918 5	764,40 4	856,87 46	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	2,0961 04	1,0016 98	1,0016 98	1,0014 12	0,1202 62
346	8	0,0071 18	0,0142 37	1,3549 92	6,6339 31	814,259 2	796,58 89	907,76 3	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	2,2731 9	1,0024 18	1,0024 18	1,0020 58	0,1174 43
347	9	0,0086 6	0,0173 19	1,3504 6	6,7067 89	856,450 8	835,35 5	967,35 16	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	2,4775 83	1,0032 93	1,0032 93	1,0028 55	0,1148
348	10	0,0102 51	0,0205 02	1,3456 2	6,7867	905,882 6	881,16 67	1035,5 71	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	2,7100 68	1,0043 29	1,0043 29	1,0038 11	0,1123 33
349	11	0,0118 6	0,0237 2	1,3406	6,8719 87	962,782 3	934,33 24	1112,1 3	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	2,9706 36	1,0055 27	1,0055 27	1,0049 28	0,1100 43
350	12	0,0134 54	0,0269 08	1,3355 29	6,9607 41	1027,21	994,99 63	1196,5 33	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	3,2584 39	1,0068 87	1,0068 87	1,0062 07	0,1079 33
351	13	0,0149 99	0,0299 98	1,3305 24	7,0510 03	1099,05 8	1063,1 34	1288,1 02	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	3,5717 71	1,0084 02	1,0084 02	1,0076 44	0,1060 02
352	14	0,0164 61	0,0329 21	1,3256 84	7,1409 3	1178,04 8	1138,5 53	1385,9 99	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	3,9080 69	1,0100 66	1,0100 66	1,0092 34	0,1042 52
353	15	0,0178 06	0,0356 12	1,3210 84	7,2289 04	1263,73 9	1220,8 93	1489,2 55	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	4,2639 47	1,0118 65	1,0118 65	1,0109 65	0,1026 84
354	16	0,0190 05	0,0380 09	1,3167 76	7,3136	1355,53 1	1309,6 35	1596,7 89	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	4,6352 44	1,0137 85	1,0137 85	1,0128 25	0,1012 99
355	17	0,0200 29	0,0400 57	1,3127 93	7,3940 05	1452,67 4	1404,1 02	1707,4 34	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	5,0171 13	1,0158 09	1,0158 09	1,0147 97	0,1000 97
356	18	0,0208 54	0,0417 09	1,3091 48	7,4694 04	1554,28 1	1503,4 78	1819,9 66	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	5,4041 37	1,0179 17	1,0179 17	1,0168 63	0,0990 79
357	19	0,0214 63	0,0429 26	1,3058 41	7,5393 48	1659,34 1	1606,8 11	1933,1 31	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	5,7904 78	1,0200 86	1,0200 86	1,0190 01	0,0982 45
358	20	0,0218 41	0,0436 82	1,3028 65	7,6036 13	1766,74	1713,0 4	2045,6 69	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	6,1700 47	1,0222 93	1,0222 93	1,0211 89	0,0975 96
359	21	0,0219 82	0,0439 65	1,3002 03	7,6621 5	1875,28 8	1821,0 14	2156,3 48	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	6,5367 04	1,0245 14	1,0245 14	1,0234 03	0,0971 33
360	22	0,0218 86	0,0437 72	1,2978 39	7,7150 48	1983,74 3	1929,5 15	2263,9 87	0	1	0	1	6,8844 59	1,0267 26	1,0267 26	1,0256 2	0,0968 54
361	23	0,0215 58	0,0431 16	1,2957 49	7,7624 94	2090,84 7	2037,2 95	2367,4 88	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	7,2076 85	1,0289 04	1,0289 04	1,0278 15	0,0967 61
362	24	0,0210 11	0,0420 22	1,2939 13	7,8047 43	2195,35 7	2143,1 02	2465,8 54	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	7,5013 08	1,0310 27	1,0310 27	1,0299 66	0,0968 54
363	25	0,0202	0,0405	1,2923	7,8420	2296,08	2245,7	2558,2	0,0018	1,0086	0,0018	1,0086	7,7609	1,0330	1,0330	1,0320	0,0971

		63	26	08	92		19	15	16	28	16	28	81	75	75	51	33
364	26	0,0193 37	0,0386 74	1,2909 15	7,8748 67	2391,90 6	2343,9 93	2643,8 4	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	7,9832 2	1,0350 29	1,0350 29	1,0340 52	0,0975 96
365	27	0,0182 6	0,0365 21	1,2897 12	7,9034 7	2481,84 8	2436,8 73	2722,1 54	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	8,1655 01	1,0368 74	1,0368 74	1,0359 52	0,0982 45
366	28	0,0170 63	0,0341 25	1,2886 83	7,9280 26	2565,02 5	2523,4 32	2792,7 39	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	8,3063 07	1,0385 98	1,0385 98	1,0377 36	0,0990 79
367	29	0,0157 75	0,0315 51	1,2878 08	7,9490 71	2640,76 7	2602,8 96	2855,3 37	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	8,4051 33	1,0401 93	1,0401 93	1,0393 96	0,1000 97
368	30	0,0144 31	0,0288 62	1,2870 74	7,9668 52	2708,54 8	2674,6 57	2909,8 47	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	8,4624 4	1,0416 51	1,0416 51	1,0409 22	0,1012 99
369	31	0,0130 61	0,0261 21	1,2864 65	7,9816 68	2768,02 9	2738,2 88	2956,3 14	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	8,4795 71	1,0429 71	1,0429 71	1,0423 11	0,1026 84
370	32	0,0116 93	0,0233 87	1,2859 68	7,9938 7	2819,05 8	2793,5 43	2994,9 17	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	8,4586 4	1,0441 52	1,0441 52	1,0435 61	0,1042 52
371	33	0,0103 56	0,0207 12	1,2855 71	8,0035 15	2861,65 5	2840,3 56	3025,9 54	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	8,4023 88	1,0451 99	1,0451 99	1,0446 76	0,1060 02
372	34	0,0090 71	0,0181 43	1,2852 64	8,0110 58	2896,00 5	2878,8 3	3049,8 21	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	8,3140 4	1,0461 16	1,0461 16	1,0456 57	0,1079 33
373	35	0,0078 59	0,0157 17	1,2850 36	8,0166 57	2922,43 5	2909,2 2	3066,9 91	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	8,1971 46	1,0469 1	1,0469 1	1,0465 13	0,1100 43
374	36	0,0067 32	0,0134 64	1,2848 79	8,0205 24	2941,39 5	2931,9 15	3077,9 98	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	8,0554 36	1,0475 9	1,0475 9	1,0472 5	0,1123 33
375	37	0,0057 02	0,0114 04	1,2847 84	8,0228 54	2953,43 2	2947,4 13	3083,4 11	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	7,8926 87	1,0481 66	1,0481 66	1,0478 78	0,1148
376	38	0,0047 75	0,0095 5	1,2847 45	8,0238 26	2959,15 2	2956,2 91	3083,8 18	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	7,7126 02	1,0486 49	1,0486 49	1,0484 07	0,1174 43
377	39	0,0039 52	0,0079 05	1,2847 54	8,0236 04	2959,21 9	2959,1 85	3079,8 08	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	7,5187 2	1,0490 48	1,0490 48	1,0488 48	0,1202 62
378	40	0,0032 34	0,0064 67	1,2848 05	8,0223 39	2954,30 4	2956,7 61	3071,9 56	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	7,3143 39	1,0493 75	1,0493 75	1,0492 11	0,1232 55
379	41	0,0026 14	0,0052 29	1,2848 93	8,0201 68	2945,07 7	2949,6 91	3060,8 11	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	7,1024 65	1,0496 39	1,0496 39	1,0495 07	0,1264 2
380	42	0,0020 89	0,0041 77	1,2850 13	8,0172 17	2932,18 5	2938,6 31	3046,8 85	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	6,8857 83	1,0498 5	1,0498 5	1,0497 45	0,1297 55
381	43	0,0016 48	0,0032 97	1,2851 6	8,0135 96	2916,23 4	2924,2 1	3030,6 5	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	6,6666 45	1,0500 17	1,0500 17	1,0499 33	0,1332 59
382	44	0,0012 85	0,0025 71	1,2853 31	8,0094 08	2897,78 2	2907,0 08	3012,5 3	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	6,4470 67	1,0501 47	1,0501 47	1,0500 82	0,1369 31
383	45	0,0009	0,0019	1,2855	8,0047	2877,32	2887,5	2992,9	0,1044	1,4961	0,1044	1,4961	6,2287	1,0502	1,0502	1,0501	0,1407

		9	79	21	41	9	55	01	5	37	5	37	5	47	47	97	68
384	46	0,0007 53	0,0015 05	1,2857 28	7,9996 75	2855,31 6	2866,3 23	2972,0 91	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	6,0130 95	1,0503 23	1,0503 23	1,0502 85	0,1447 68
385	47	0,0005 65	0,0011 3	1,2859 48	7,9942 76	2832,12 4	2843,7 2	2950,3 84	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	5,8012 33	1,0503 8	1,0503 8	1,0503 51	0,1489 3
386	48	0,0004 19	0,0008 38	1,2861 8	7,9886 06	2808,07 5	2820,1 18	2928,0 18	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	5,5940 57	1,0504 22	1,0504 22	1,0504 01	0,1532 51
387	49	0,0003 07	0,0006 13	1,2864 22	7,9827 13	2783,43 7	2795,7 56	2905,1 94	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	5,3922 48	1,0504 53	1,0504 53	1,0504 38	0,1577 3
388	50	0,0002 21	0,0004 43	1,2866 71	7,9766 4	2758,43 2	2770,9 35	2882,0 79	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	5,1963 09	1,0504 75	1,0504 75	1,0504 64	0,1623 63

Таблица верна, для установившихся оборотов, характерных максимальному крутящему моменту двигателя - 3750(мин<sup>-1</sup>).

С	φ1	x1-2	ΔX1-2	k1-2	K1-2	Tпредпо- лаг	T1-2	T2	σ	ψ(φ'2)	σy	ψ(φ'y)	P2	μ1	μ2	μ1-2	Вс.г.
333	0	0	0	-	-	662,152 9		662,15 29	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	1,1540 16	1	1		
334	1	3,63E- 05	7,25E- 05	1,3739 41	6,3484 37	672,427 5	667,29 02	669,60 32	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	1,2012 83	1,0000 04	1,0000 04	1,0000 02	0,1646 11
335	2	0,0002 16	0,0004 32	1,3722 59	6,3726 01	681,882 1	677,15 48	678,25 23	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	1,2523 74	1,0000 26	1,0000 26	1,0000 15	0,1599 13
336	3	0,0005 33	0,0010 66	1,3705 19	6,3978 37	693,400 5	687,64 13	688,98 02	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	1,3091 44	1,0000 79	1,0000 79	1,0000 52	0,1553 73
337	4	0,0009 71	0,0019 41	1,3684 25	6,4285 12	707,960 3	700,68 04	702,54 56	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	1,3734 01	1,0001 78	1,0001 78	1,0001 28	0,1509 92
338	5	0,0015 19	0,0030 38	1,3658 77	6,4663 22	726,498 6	717,22 95	719,61 89	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	1,4469 37	1,0003 31	1,0003 31	1,0002 54	0,1467 72
339	6	0,0021 7	0,0043 39	1,3628 13	6,5124 84	749,889 4	738,19 4	740,78 42	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	1,5315 17	1,0005 5	1,0005 5	1,0004 41	0,1427 17
340	7	0,0029 14	0,0058 28	1,3592 2	6,5676 26	778,918 5	764,40 4	766,53 51	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	1,6288 37	1,0008 45	1,0008 45	1,0006 98	0,1388 27
341	8	0,0037 43	0,0074 87	1,3551 31	6,6317 22	814,259 2	796,58 89	797,26 88	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	1,7404 84	1,0012 23	1,0012 23	1,0010 34	0,1351 04
342	9	0,0046 48	0,0092 96	1,3506 25	6,7040 94	856,450 8	835,35 5	833,28 36	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	1,8678 92	1,0016 93	1,0016 93	1,0014 58	0,1315 51
343	10	0,0056 17	0,0112 34	1,3458 12	6,7834 96	905,882 6	881,16 67	874,77 82	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	2,0122 99	1,0022 61	1,0022 61	1,0019 77	0,1281 7
344	11	0,0066 39	0,0132 79	1,3408 16	6,8682 67	962,782 3	934,33 24	921,85 52	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	2,1747 04	1,0029 33	1,0029 33	1,0025 97	0,1249 61

345	12	0,0077 02	0,0154 03	1,3357 67	6,9565 13	1027,21	994,99 63	974,52 48	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	2,3558 35	1,0037 11	1,0037 11	1,0033 22	0,1219 27
346	13	0,0087 9	0,0175 8	1,3307 81	7,0462 97	1099,05 8	1063,1 34	1032,7 1	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	2,5561 06	1,0046	1,0046	1,0041 56	0,1190 69
347	14	0,0098 9	0,0197 8	1,3259 56	7,1357 96	1178,04 8	1138,5 53	1096,2 53	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	2,7755 85	1,0056	1,0056	1,0051 89	0,1163
348	15	0,0109 86	0,0219 72	1,3213 67	7,2234 17	1263,73 9	1220,8 93	1164,9 15	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	3,0139 54	1,0067 1	1,0067 1	1,0061 55	0,1138 88
349	16	0,0120 61	0,0241 23	1,3170 65	7,3078 57	1355,53 1	1309,6 35	1238,3 84	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	3,2704 74	1,0079 3	1,0079 3	1,0073 2	0,1115 67
350	17	0,0131	0,0262 01	1,3130 81	7,3881 23	1452,67 4	1404,1 02	1316,2 75	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	3,5439 6	1,0092 54	1,0092 54	1,0085 92	0,1094 27
351	18	0,0140 86	0,0281 73	1,3094 29	7,4635 17	1554,28 1	1503,4 78	1398,1 34	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	3,8327 54	1,0106 78	1,0106 78	1,0099 66	0,1074 69
352	19	0,0150 03	0,0300 07	1,3061 1	7,5336 04	1659,34 1	1606,8 11	1483,4 43	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	4,1347 2	1,0121 95	1,0121 95	1,0114 37	0,1056 96
353	20	0,0158 37	0,0316 73	1,3031 15	7,5981 64	1766,74	1713,0 4	1571,6 24	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	4,4472 5	1,0137 96	1,0137 96	1,0129 96	0,1041 06
354	21	0,0165 72	0,0331 43	1,3004 29	7,6571 5	1875,28 8	1821,0 14	1662,0 44	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	4,7672 89	1,0154 72	1,0154 72	1,0146 34	0,1027 01
355	22	0,0171 96	0,0343 92	1,2980 34	7,7106 43	1983,74 3	1929,5 15	1754,0 29	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	5,0913 85	1,0172 1	1,0172 1	1,0163 41	0,1014 83
356	23	0,0176 99	0,0353 99	1,2959 1	7,7588 16	2090,84 7	2037,2 95	1846,8 7	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	5,4157 49	1,019	1,019	1,0181 05	0,1004 5
357	24	0,0180 73	0,0361 45	1,2940 35	7,8019 06	2195,35 7	2143,1 02	1939,8 36	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	5,7363 5	1,0208 27	1,0208 27	1,0199 13	0,0996 05
358	25	0,0183 1	0,0366 2	1,2923 9	7,8401 85	2296,08	2245,7 19	2032,1 84	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	6,0490 13	1,0226 78	1,0226 78	1,0217 53	0,0989 47
359	26	0,0184 08	0,0368 15	1,2909 54	7,8739 5	2391,90 6	2343,9 93	2123,1 77	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	6,3495 39	1,0245 39	1,0245 39	1,0236 09	0,0984 77
360	27	0,0183 65	0,0367 3	1,2897 08	7,9035 04	2481,84	2436,8 73	2212,0 95	0	1	0	1	6,6338 24	1,0263 96	1,0263 96	1,0254 68	0,0981 95
361	28	0,0181 84	0,0363 68	1,2886 36	7,9291 5	2565,02 5	2523,4 32	2298,2 48	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	6,8979 92	1,0282 34	1,0282 34	1,0273 15	0,0981 01
362	29	0,0178 69	0,0357 38	1,2877 21	7,9511 83	2640,76 7	2602,8 96	2380,9 92	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	7,1385 04	1,0300 41	1,0300 41	1,0291 38	0,0981 95
363	30	0,0174 28	0,0348 55	1,2869 49	7,9698 91	2708,54 8	2674,6 57	2459,7 36	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	7,3522 72	1,0318 03	1,0318 03	1,0309 22	0,0984 77
364	31	0,0168 69	0,0337 39	1,2863 05	7,9855 48	2768,02 9	2738,2 88	2533,9 55	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	7,5367 48	1,0335 08	1,0335 08	1,0326 56	0,0989 47

365	32	0,0162 06	0,0324 12	1,2857 79	7,9984 15	2819,05 8	2793,5 43	2603,2 02	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	7,6899 85	1,0351 47	1,0351 47	1,0343 28	0,0996 05
366	33	0,0154 51	0,0309 02	1,2853 58	8,0087 41	2861,65 5	2840,3 56	2667,1 05	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	7,8106 85	1,0367 09	1,0367 09	1,0359 28	0,1004 5
367	34	0,0146 19	0,0292 39	1,2850 32	8,0167 61	2896,00 5	2878,8 3	2725,3 8	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	7,8982 11	1,0381 87	1,0381 87	1,0374 48	0,1014 83
368	35	0,0137 27	0,0274 54	1,2847 91	8,0227	2922,43 5	2909,2 2	2777,8 3	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	7,9525 74	1,0395 75	1,0395 75	1,0388 81	0,1027 01
369	36	0,0127 9	0,0255 8	1,2846 26	8,0267 69	2941,39 5	2931,9 15	2824,3 42	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	7,9744 02	1,0408 68	1,0408 68	1,0402 21	0,1041 06
370	37	0,0118 24	0,0236 49	1,2845 29	8,0291 7	2953,43	2947,4 13	2864,8 89	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	7,9648 81	1,0420 63	1,0420 63	1,0414 66	0,1056 96
371	38	0,0108 46	0,0216 92	1,2844 91	8,0300 91	2959,15 2	2956,2 91	2899,5 21	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	7,9256 83	1,0431 6	1,0431 6	1,0426 12	0,1074 69
372	39	0,0098 71	0,0197 41	1,2845 07	8,0297 11	2959,21 9	2959,1 85	2928,3 63	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	7,8588 85	1,0441 58	1,0441 58	1,0436 59	0,1094 27
373	40	0,0089 11	0,0178 23	1,2845 68	8,0281 95	2954,30 4	2956,7 61	2951,6 04	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	7,7668 74	1,0450 59	1,0450 59	1,0446 08	0,1115 67
374	41	0,0079 81	0,0159 61	1,2846 69	8,0256 99	2945,07 7	2949,6 91	2969,4 92	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	7,6522 63	1,0458 66	1,0458 66	1,0454 62	0,1138 88
375	42	0,0070 89	0,0141 78	1,2848 04	8,0223 66	2932,18 5	2938,6 31	2982,3 19	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	7,5177 95	1,0465 82	1,0465 82	1,0462 24	0,1163 89
376	43	0,0062 45	0,0124 91	1,2849 68	8,0183 25	2916,23 4	2924,2 1	2990,4 18	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	7,3662 66	1,0472 14	1,0472 14	1,0468 98	0,1190 69
377	44	0,0054 56	0,0109 13	1,2851 56	8,0136 93	2897,78 2	2907,0 08	2994,1 48	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	7,2004 48	1,0477 65	1,0477 65	1,0474 9	0,1219 27
378	45	0,0047 27	0,0094 55	1,2853 65	8,0085 75	2877,32 9	2887,5 55	2993,8 85	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	7,0230 25	1,0482 43	1,0482 43	1,0480 04	0,1249 61
379	46	0,0040 61	0,0081 22	1,2855 89	8,0030 63	2855,31 6	2866,3 23	2990,0 15	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	6,8365 48	1,0486 54	1,0486 54	1,0484 49	0,1281 7
380	47	0,0034 58	0,0069 17	1,2858 27	7,9972 35	2832,12 4	2843,7 2	2982,9 26	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	6,6433 9	1,0490 04	1,0490 04	1,0488 29	0,1315 51
381	48	0,0029 2	0,0058 39	1,2860 76	7,9911 59	2808,07 5	2820,1 98	2972,9 98	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	6,4457 19	1,0492 99	1,0492 99	1,0491 51	0,1351 04
382	49	0,0024 43	0,0048 87	1,2863 32	7,9848 9	2783,43 7	2795,7 56	2960,5 95	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	6,2454 84	1,0495 46	1,0495 46	1,0494 22	0,1388 27
383	50	0,0020 27	0,0040 53	1,2865 96	7,9784 76	2758,43 2	2770,9 35	2946,0 68	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	6,0444 04	1,0497 51	1,0497 51	1,0496 48	0,1427 17
384	51	0,0016 66	0,0033 32	1,2868 64	7,9719 54	2733,23 6	2745,8 34	2929,7 41	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	5,8439 72	1,0499 19	1,0499 19	1,0498 35	0,1467 72

385	52	0,0013 57	0,0027 14	1,2871 35	7,9653 53	2707,99 3	2720,6 14	2911,9 16	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	5,6454 6	1,0500 56	1,0500 56	1,0499 88	0,1509 92
386	53	0,0010 95	0,0021 9	1,2874 1	7,9586 97	2682,81 3	2695,4 03	2892,8 65	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	5,4499 28	1,0501 67	1,0501 67	1,0501 12	0,1553 73
387	54	0,0008 75	0,0017 51	1,2876 87	7,9520 05	2657,78 5	2670,2 99	2872,8 36	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	5,2582 47	1,0502 55	1,0502 55	1,0502 11	0,1599 13
388	55	0,0006 93	0,0013 87	1,2879 65	7,9452 89	2632,97 6	2645,3 81	2852,0 47	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	5,0711 08	1,0503 26	1,0503 26	1,0502 91	0,1646 11
389	56	0,0005 44	0,0010 88	1,2882 44	7,9385 61	2608,43 8	2620,7 07	2830,6 88	0,1638 84	1,7784 49	0,1638 84	1,7784 49	4,8890 47	1,0503 81	1,0503 81	1,0503 53	0,1694 63
390	57	0,0004 23	0,0008 45	1,2885 24	7,9318 29	2584,21	2596,3 24	2808,9 26	0,1749 46	1,8309 91	0,1749 46	1,8309 91	4,7124 62	1,0504 23	1,0504 23	1,0504 02	0,1744 68
391	58	0,0003 25	0,0006 5	1,2888 04	7,9251	2560,32 2	2572,2 66	2786,9 04	0,1863 23	1,8850 35	0,1863 23	1,8850 35	4,5416 33	1,0504 56	1,0504 56	1,0504 4	0,1796 22
392	59	0,0002 48	0,0004 95	1,2890 85	7,9183 78	2536,79 7	2548,5 59	2764,7 41	0,1980 11	1,9405 53	0,1980 11	1,9405 53	4,3767 36	1,0504 81	1,0504 81	1,0504 69	0,1849 24
393	60	0,0001 87	0,0003 74	1,2892 27	7,9149 79	2536,79 7	2536,7 97	2742,5 5	0,2100 04	1,9975 19	0,2100 04	1,9975 19	4,2178 79	1,0505	1,0505	1,0504 91	0,1903 7

Таблица расчётов верна, для установившихся оборотов, характерных максимальной мощности двигателя - 6050(мин-1).

С	φ1	x1-2	ΔX1-2	k1-2	K1-2	Tпред- полаг	T1-2	T2	σ	ψ(φ'2)	су	ψ(φ'у)	P2	μ1	μ2	μ1-2	Вс.г.
328	0	0	0	#ДЕЛ/ 0!	#ДЕЛ/ 0!	617,52 34		617,52 34	0,1980 11	1,9405 53	0,1980 11	1,9405 53	0,9252 85	1	1		
329	1	1,10761E -05	2,21523E -05	1,3779 19	6,2921 42	672,42 75	644,97 54	624,41 17	0,1863 23	1,8850 35	0,1863 23	1,8850 35	0,9631 62	1,00000 112	1,0000 01	1,0000 01	0,1914 65
330	2	7,333E- 05	0,000146 66	1,3722 65	6,3725 16	681,88 21	677,15 48	631,70 24	0,1749 46	1,8309 91	0,1749 46	1,8309 91	1,0031 73	1,00000 855	1,0000 09	1,0000 05	0,1859 87
331	3	0,000192 44	0,000384 879	1,3705 33	6,3976 33	693,40 05	687,64 13	639,83 62	0,1638 84	1,7784 49	0,1638 84	1,7784 49	1,0461 23	1,00002 803	1,0000 28	1,0000 18	0,1806 55
332	4	0,000366 063	0,000732 126	1,3684 5	6,4281 45	707,96 03	700,68 04	649,15 55	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	1,0927 35	1,00006 51	1,0000 65	1,0000 47	0,1754 71
333	5	0,000592 577	0,001185 155	1,3659 15	6,4657 52	726,49 86	717,22 95	659,98 14	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	1,1437 62	1,00012 51	1,0001 25	1,0000 95	0,1704 38
334	6	0,000870 521	0,001741 042	1,3628 66	6,5116 71	749,88 94	738,19 4	672,61 17	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	1,1999 81	1,00021 325	1,0002 13	1,0001 69	0,1655 58
335	7	0,001198 381	0,002396 763	1,3592 9	6,5665 31	778,91 85	764,40 4	687,31 8	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	1,2621 83	1,00033 46	1,0003 35	1,0002 74	0,1608 33

336	8	0,001574 479	0,003148 958	1,3552 21	6,6303 04	814,25 92	796,58 89	704,34 3	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	1,3311 63	1,00049 403	1,0004 94	1,0004 14	0,1562 67
337	9	0,001996 882	0,003993 765	1,3507 35	6,7023 14	856,45 08	835,35 5	723,89 95	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	1,4077 09	1,00069 624	1,0006 96	1,0005 95	0,1518 6
338	10	0,002463 35	0,004926 7	1,3459 42	6,7813 18	905,88 26	881,16 67	746,17 02	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	1,4925 89	1,00094 567	1,0009 46	1,0008 21	0,1476 17
339	11	0,002971 279	0,005942 558	1,3409 68	6,8656 56	962,78 23	934,33 24	771,30 88	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	1,5865 44	1,00124 654	1,0012 47	1,0010 96	0,1435 38
340	12	0,003517 672	0,007035 344	1,3359 4	6,9534 42	1027,2 1	994,99 63	799,44 19	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	1,6902 74	1,00160 274	1,0016 03	1,0014 25	0,1396 25
341	13	0,004099 107	0,008198 215	1,3309 75	7,0427 46	1099,0 58	1063,1 34	830,66 99	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	1,8044 28	1,00201 782	1,0020 18	1,0018 1	0,1358 81
342	14	0,004711 725	0,009423 451	1,3261 71	7,1317 56	1178,0 48	1138,5 53	865,06 84	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	1,9295 88	1,00249 493	1,0024 95	1,0022 56	0,1323 08
343	15	0,005351 22	0,010702 44	1,3216 01	7,2188 91	1263,7 39	1220,8 93	902,68 86	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	2,0662 52	1,00303 679	1,0030 37	1,0027 66	0,1289 07
344	16	0,006012 844	0,012025 687	1,3173 16	7,3028 62	1355,5 31	1309,6 35	943,55 67	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	2,2148 13	1,00364 565	1,0036 46	1,0033 41	0,1256 8
345	17	0,006691 422	0,013382 845	1,3133 47	7,3826 91	1452,6 74	1404,1 02	987,67 24	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	2,3755 32	1,00432 322	1,0043 23	1,0039 84	0,1226 28
346	18	0,007381 382	0,014762 764	1,3097 08	7,4576 96	1554,2 81	1503,4 78	1035,0 08	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	2,5485 16	1,00507 065	1,0050 71	1,0046 97	0,1197 54
347	19	0,008076 786	0,016153 573	1,3063 98	7,5274 56	1659,3 41	1606,8 11	1085,5 05	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	2,7336 88	1,00588 851	1,0058 89	1,0054 8	0,1170 59
348	20	0,008771 386	0,017542 772	1,3034 09	7,5917 65	1766,7 4	1713,0 4	1139,0 75	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	2,9307 61	1,00677 669	1,0067 77	1,0063 33	0,1145 43
349	21	0,009458 679	0,018917 358	1,3007 25	7,6505 89	1875,2 88	1821,0 14	1195,5 95	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	3,1392 14	1,00773 448	1,0077 34	1,0072 56	0,1122 08
350	22	0,010131 985	0,020263 97	1,2983 29	7,7040 19	1983,7 43	1929,5 15	1254,9 08	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	3,3582 66	1,00876 044	1,0087 6	1,0082 47	0,1100 56
351	23	0,010784 522	0,021569 044	1,2961 98	7,7522 36	2090,8 47	2037,2 95	1316,8 25	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	3,5868 68	1,00985 248	1,0098 52	1,0093 06	0,1080 88
352	24	0,011409 5	0,022819	1,2943 13	7,7954 81	2195,3 57	2143,1 02	1381,1 17	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	3,8236 89	1,01100 78	1,0110 08	1,0104 3	0,1063 03
353	25	0,012000 219	0,024000 438	1,2926 53	7,8340 3	2296,0 8	2245,7 19	1447,5 28	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	4,0671 19	1,01222 294	1,0122 23	1,0116 15	0,1047 05
354	26	0,012550 168	0,025100 336	1,2911 98	7,8681 78	2391,9 06	2343,9 93	1515,7 63	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	4,3152 8	1,01349 376	1,0134 94	1,0128 58	0,1032 92
355	27	0,013053 135	0,026106 269	1,2899 3	7,8982 23	2481,8 4	2436,8 73	1585,5 04	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	4,5660 47	1,01481 552	1,0148 16	1,0141 55	0,1020 66

356	28	0,013503 312	0,027006 623	1,2888 31	7,9244 6	2565,0 25	2523,4 32	1656,4 02	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	4,8170 83	1,01618 286	1,0161 83	1,0154 99	0,1010 28
357	29	0,013895 402	0,027790 803	1,2878 87	7,9471 76	2640,7 67	2602,8 96	1728,0 88	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	5,0658 81	1,01758 99	1,0175 9	1,0168 86	0,1001 78
358	30	0,014224 718	0,028449 436	1,2870 82	7,9666 43	2708,5 48	2674,6 57	1800,1 74	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	5,3098 2	1,01903 029	1,0190 3	1,0183 1	0,0995 16
359	31	0,014487 281	0,028974 562	1,2864 05	7,9831 21	2768,0 29	2738,2 88	1872,2 61	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	5,5462 24	1,02049 727	1,0204 97	1,0197 64	0,0990 44
360	32	0,014679 898	0,029359 795	1,2858 43	7,9968 54	2819,0 58	2793,5 43	1943,9 41	0 0	1 1	0 0	1 1	5,7724 32	1,02198 375	1,0219 84	1,0212 41	0,0987 6
361	33	0,014800 238	0,029600 476	1,2853 85	8,0080 73	2861,6 55	2840,3 56	2014,8 06	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	5,9858 64	1,02348 242	1,0234 82	1,0227 33	0,0986 65
362	34	0,014846 888	0,029693 776	1,2850 22	8,0169 95	2896,0 05	2878,8 3	2084,4 51	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	6,1840 94	1,02498 581	1,0249 86	1,0242 34	0,0987 6
363	35	0,014819 391	0,029638 781	1,2847 45	8,0238 26	2922,4 35	2909,2 2	2152,4 83	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	6,3649 06	1,02648 642	1,0264 86	1,0257 36	0,0990 44
364	36	0,014718 266	0,029436 531	1,2845 45	8,0287 6	2941,3 95	2931,9 15	2218,5 23	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	6,5263 61	1,02797 679	1,0279 77	1,0272 32	0,0995 16
365	37	0,014545 009	0,029090 019	1,2844 15	8,0319 81	2953,4 3	2947,4 13	2282,2 15	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	6,6668 35	1,02944 961	1,0294 5	1,0287 13	0,1001 78
366	38	0,014302 076	0,028604 152	1,2843 47	8,0336 62	2959,1 52	2956,2 91	2343,2 28	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	6,7850 62	1,03089 783	1,0308 98	1,0301 74	0,1010 28
367	39	0,013992 836	0,027985 672	1,2843 34	8,0339 7	2959,2 19	2959,1 85	2401,2 61	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	6,8801 5	1,03231 474	1,0323 15	1,0316 06	0,1020 66
368	40	0,013621 513	0,027243 026	1,2843 71	8,0330 61	2954,3 04	2956,7 61	2456,0 47	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	6,9515 94	1,03369 405	1,0336 94	1,0330 04	0,1032 92
369	41	0,013193 106	0,026386 213	1,2844 51	8,0310 81	2945,0 77	2949,6 91	2507,3 56	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	6,9992 72	1,03502 998	1,0350 3	1,0343 62	0,1047 05
370	42	0,012713 293	0,025426 587	1,2845 69	8,0281 67	2932,1 85	2938,6 31	2554,9 96	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	7,0234 28	1,03631 733	1,0363 17	1,0356 74	0,1063 03
371	43	0,012188 317	0,024376 633	1,2847 2	8,0244 47	2916,2 34	2924,2 1	2598,8 18	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	7,0246 45	1,03755 151	1,0375 52	1,0369 34	0,1080 88
372	44	0,011624 861	0,023249 722	1,2848 99	8,0200 4	2897,7 82	2907,0 08	2638,7 11	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	7,0038 11	1,03872 864	1,0387 29	1,0381 4	0,1100 56
373	45	0,011029 921	0,022059 843	1,2851 01	8,0150 51	2877,3 29	2887,5 55	2674,6 05	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	6,9620 81	1,03984 553	1,0398 46	1,0392 87	0,1122 08
374	46	0,010410 669	0,020821 337	1,2853 24	8,0095 76	2855,3 16	2866,3 23	2706,4 71	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	6,9008 24	1,04089 971	1,0409	1,0403 73	0,1145 43
375	47	0,009774 308	0,019548 617	1,2855 63	8,0037 02	2832,1 24	2843,7 2	2734,3 19	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	6,8215 88	1,04188 945	1,0418 89	1,0413 95	0,1170 59



376	48	0,009127 95	0,018255 9	1,2858 16	7,9975 04	2808,0 75	2820,1	2758,1 94	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	6,7260 4	1,04281 375	1,0428 14	1,0423 52	0,1197 54
377	49	0,008478 477	0,016956 953	1,2860 8	7,9910 47	2783,4 37	2795,7 56	2778,1 76	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	6,6159 34	1,04367 227	1,0436 72	1,0432 43	0,1226 28
378	50	0,007832 427	0,015664 854	1,2863 53	7,9843 88	2758,4 32	2770,9 35	2794,3 75	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	6,4930 57	1,04446 538	1,0444 65	1,0440 69	0,1256 8
379	51	0,007195 892	0,014391 784	1,2866 33	7,9775 74	2733,2 36	2745,8 34	2806,9 29	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	6,3592 01	1,04519 404	1,0451 94	1,0448 3	0,1289 07
380	52	0,006574 423	0,013148 846	1,2869 17	7,9706 45	2707,9 93	2720,6 14	2815,9 99	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	6,2161 24	1,04585 976	1,0458 6	1,0455 27	0,1323 08
381	53	0,005972 96	0,011945 921	1,2872 06	7,9636 35	2682,8 13	2695,4 03	2821,7 67	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	6,0655 23	1,04646 458	1,0464 65	1,0461 62	0,1358 81
382	54	0,005395 78	0,010791 56	1,2874 98	7,9565 71	2657,7 85	2670,2 99	2824,4 31	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	5,9090 13	1,04701 095	1,0470 11	1,0467 38	0,1396 25
383	55	0,004846 458	0,009692 915	1,2877 91	7,9494 76	2632,9 76	2645,3 81	2824,2 01	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	5,7481 07	1,04750 171	1,0475 02	1,0472 56	0,1435 38
384	56	0,004327 854	0,008655 708	1,2880 86	7,9423 68	2608,4 38	2620,7 07	2821,2 95	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	5,5842 05	1,04793 994	1,0479 4	1,0477 21	0,1476 17
385	57	0,003842 118	0,007684 236	1,2883 81	7,9352 63	2584,2 1	2596,3 24	2815,9 38	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	5,4185 83	1,04832 899	1,0483 29	1,0481 34	0,1518 6
386	58	0,003390 706	0,006781 413	1,2886 76	7,9281 72	2560,3 22	2572,2 66	2808,3 55	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	5,2523 91	1,04867 234	1,0486 72	1,0485 01	0,1562 67
387	59	0,002974 418	0,005948 836	1,2889 71	7,9211 05	2536,7 97	2548,5 59	2798,7 68	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	5,0866 5	1,04897 352	1,0489 74	1,0488 23	0,1608 33
388	60	0,002593 443	0,005186 886	1,2891 27	7,9173 83	2536,7 97	2536,7 97	2787,4 04	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	4,9222 64	1,04923 614	1,0492 36	1,0491 05	0,1655 58
389	61	0,002247 421	0,004494 843	1,2891 41	7,9170 38	2536,7 97	2536,7 97	2774,4 82	0,1638 84	1,7784 49	0,1638 84	1,7784 49	4,7600 16	1,04946 371	1,0494 64	1,0493 5	0,1704 38
390	62	0,001935 509	0,003871 018	1,2891 54	7,9167 26	2536,7 97	2536,7 97	2760,2 08	0,1749 46	1,8309 91	0,1749 46	1,8309 91	4,6005 65	1,04965 97	1,0496 6	1,0495 62	0,1754 71
391	63	0,001656 45	0,003312 9	1,2891 66	7,9164 47	2536,7 97	2536,7 97	2744,7 78	0,1863 23	1,8850 35	0,1863 23	1,8850 35	4,4444 56	1,04982 743	1,0498 27	1,0497 44	0,1806 55
392	64	0,001408 65	0,002817 299	1,2891 76	7,9162	2536,7 97	2536,7 97	2728,3 74	0,1980 11	1,9405 53	0,1980 11	1,9405 53	4,2921 35	1,04997 007	1,0499 7	1,0498 99	0,1859 87
393	65	0,001190 25	0,002380 5	1,2891 85	7,9159 81	2536,7 97	2536,7 97	2711,1 66	0,2100 04	1,9975 19	0,2100 04	1,9975 19	4,1439 52	1,05009 059	1,0500 91	1,0500 3	0,1914 65
394	66	0,000999 2	0,001998 401	1,2891 93	7,9157 91	2536,7 97	2536,7 97	2693,3 1	0,2222 96	2,0559 04	0,2222 96	2,0559 04	4,0001 74	1,05019 177	1,0501 92	1,0501 41	0,1970 86
395	67	0,000833 325	0,001666 65	1,2892	7,9156 25	2536,7 97	2536,7 97	2674,9 46	0,2348 8	2,1156 79	0,2348 8	2,1156 79	3,8609 94	1,05027 615	1,0502 76	1,0502 34	0,2028 46

396	68	0,000690 386	0,001380 772	1,2892 06	7,9154 82	2536,7 97	2536,7 97	2656,2 04	0,2477 5	2,1768 14	0,2477 5	2,1768 14	3,7265 38	1,05034 606	1,0503 46	1,0503 11	0,2087 44
397	69	0,000568 137	0,001136 274	1,2892 11	7,9153 6	2536,7 97	2536,7 97	2637,1 95	0,2609 01	2,2392 81	0,2609 01	2,2392 81	3,5968 77	1,05040 359	1,0504 04	1,0503 75	0,2147 76
398	70	0,000464 372	0,000928 743	1,2892 16	7,9152 57	2536,7 97	2536,7 97	2618,0 2	0,2743 26	2,3030 48	0,2743 26	2,3030 48	3,4720 31	1,05045 061	1,0504 51	1,0504 27	0,2209 39
399	71	0,000376 961	0,000753 923	1,2892 19	7,9151 69	2536,7 97	2536,7 97	2598,7 68	0,2880 18	2,3680 84	0,2880 18	2,3680 84	3,3519 83	1,05048 879	1,0504 89	1,0504 7	0,2272 31
400	72	0,000303 889	0,000607 778	1,2892 22	7,9150 96	2536,7 97	2536,7 97	2579,5 15	0,3019 7	2,4343 57	0,3019 7	2,4343 57	3,2366 76	1,05051 956	1,0505 2	1,0505 04	0,2336 47
401	73	0,000243 268	0,000486 537	1,2892 25	7,9150 36	2536,7 97	2536,7 97	2560,3 25	0,3161 76	2,5018 35	0,3161 76	2,5018 35	3,1260 32	1,05054 419	1,0505 44	1,0505 32	0,2401 86
402	74	0,000193 365	0,000386 73	1,2892 27	7,9149 86	2536,7 97	2536,7 97	2541,2 53	0,3306 28	2,5704 85	0,3306 28	2,5704 85	3,0199 45	1,05056 377	1,0505 64	1,0505 54	0,2468 44
403	75	0,000152 601	0,000305 201	1,2892 29	7,9149 45	2536,7 97	2536,7 97	2522,3 47	0,3453 21	2,6402 74	0,3453 21	2,6402 74	2,9182 94	1,05057 922	1,0505 79	1,0505 71	0,2536 17
404	76	0,000119 561	0,000239 122	1,2892 3	7,9149 12	2536,7 97	2536,7 97	2503,6 44	0,3602 46	2,7111 68	0,3602 46	2,7111 68	2,8209 47	1,05059 133	1,0505 91	1,0505 85	0,2605 03
405	77	9,29916E -05	0,000185 983	1,2892 31	7,9148 86	2536,7 97	2536,7 97	2485,1 75	0,3753 97	2,7831 34	0,3753 97	2,7831 34	2,7277 6	1,05060 075	1,0506 01	1,0505 96	0,2674 98
406	78	7,17935E -05	0,000143 587	1,2892 32	7,9148 65	2536,7 97	2536,7 97	2466,9 64	0,3907 66	2,8561 36	0,3907 66	2,8561 36	2,6385 83	1,05060 802	1,0506 08	1,0506 04	0,2745 98
407	79	5,50149E -05	0,000110 03	1,2892 33	7,9148 48	2536,7 97	2536,7 97	2449,0 33	0,4063 45	2,9301 4	0,4063 45	2,9301 4	2,5532 64	1,05061 359	1,0506 14	1,0506 11	0,2818 01
408	80	4,18404E -05	8,36807E -05	1,2892 33	7,9148 35	2536,7 97	2536,7 97	2431,3 94	0,4221 29	3,0051 11	0,4221 29	3,0051 11	2,4716 47	1,05061 782	1,0506 18	1,0506 16	0,2891 03

Таблица расчётов верна, для установившихся, максимально возможных, оборотов двигателя – 6200 (мин-1).

С	φ1	x1-2	ΔX1-2	k1-2	K1-2	Tпредпо- лаг	T1-2	T2	σ	ψ(φ'2)	σy	ψ(φ'y)	P2	μ1	μ2	μ1-2	Ус.т.
327	0	0	0	-	-	616,314		616,31 4	0,2100 04	1,9975 19	0,2100 04	1,9975 19	0,8657 75	1	1		
328	1	4,84E- 06	9,69E- 06	1,3780 31	6,2905 76	672,427 5	644,37 07	623,12 56	0,1980 11	1,9405 53	0,1980 11	1,9405 53	0,9010 4	1	1	1	0,2042 25
329	2	3,53E- 05	7,05E- 05	1,3722 67	6,3724 94	681,882 1	677,15 48	630,12 78	0,1863 23	1,8850 35	0,1863 23	1,8850 35	0,9380 03	1,0000 04	1,0000 04	1,0000 02	0,1984 01
330	3	9,8E- 05	0,0001 96	1,3705 37	6,3975 76	693,400 5	687,64 13	637,59 57	0,1749 46	1,8309 91	0,1749 46	1,8309 91	0,9771 4	1,0000 14	1,0000 14	1,0000 09	0,1927 25
331	4	0,0001	0,0003	1,3684	6,4280	707,960	700,68	645,72	0,1638	1,7784	0,1638	1,7784	1,0188	1,0000	1,0000	1,0000	0,1871

		94	88	57	41	3	04	81	84	49	84	49	55	34	34	24	99
332	5	0,0003 24	0,0006 47	1,3659 26	6,4655 87	726,498 6	717,22 95	654,71 95	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	1,0635 78	1,0000 66	1,0000 66	1,0000 5	0,1818 27
333	6	0,0004 87	0,0009 74	1,3628 82	6,5114 31	749,889 4	738,19 4	664,75 71	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	1,1117 61	1,0001 16	1,0001 16	1,0000 91	0,1766 12
334	7	0,0006 85	0,0013 7	1,3593 11	6,5662 03	778,918 5	764,40 4	676,01 83	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	1,1638 75	1,0001 85	1,0001 85	1,0001 5	0,1715 55
335	8	0,0009 16	0,0018 32	1,3552 48	6,6298 74	814,259 2	796,58 89	688,66 85	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	1,2204 01	1,0002 77	1,0002 77	1,0002 31	0,1666 59
336	9	0,0011 81	0,0023 63	1,3507 68	6,7017 67	856,450 8	835,35 5	702,86 03	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	1,2818 25	1,0003 97	1,0003 97	1,0003 37	0,1619 27
337	10	0,0014 8	0,0029 59	1,3459 83	6,7806 38	905,882 6	881,16 67	718,73 31	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	1,3486 37	1,0005 47	1,0005 47	1,0004 72	0,1573 61
338	11	0,0018 1	0,0036 2	1,3410 16	6,8648 3	962,782 3	934,33 24	736,41 36	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	1,4213 17	1,0007 3	1,0007 3	1,0006 38	0,1529 64
339	12	0,0021 72	0,0043 44	1,3359 96	6,9524 55	1027,21	994,99 63	756,01 65	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	1,5003 41	1,0009 49	1,0009 49	1,0008 39	0,1487 37
340	13	0,0025 64	0,0051 29	1,3310 39	7,0415 86	1099,05 8	1063,1 34	777,64 53	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	1,5861 64	1,0012 08	1,0012 08	1,0010 79	0,1446 83
341	14	0,0029 85	0,0059 71	1,3262 42	7,1304 11	1178,04 8	1138,5 53	801,39 29	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	1,6792 19	1,0015 1	1,0015 1	1,0013 59	0,1408 04
342	15	0,0034 33	0,0068 67	1,3216 8	7,2173 52	1263,73 9	1220,8 93	827,34 1	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	1,7799 05	1,0018 58	1,0018 58	1,0016 84	0,1371 01
343	16	0,0039 06	0,0078 12	1,3174 04	7,3011 24	1355,53 1	1309,6 35	855,56 01	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	1,8885 75	1,0022 52	1,0022 52	1,0020 55	0,1335 76
344	17	0,0044 02	0,0088 03	1,3134 43	7,3807 52	1452,67 4	1404,1 02	886,10 8	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	2,0055 19	1,0026 98	1,0026 98	1,0024 75	0,1302 33
345	18	0,0049 17	0,0098 34	1,3098 11	7,4555 59	1554,28 1	1503,4 78	919,02 87	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	2,1309 53	1,0031 95	1,0031 95	1,0029 46	0,1270 71
346	19	0,0054 5	0,0108 99	1,3065 07	7,5251 27	1659,34 1	1606,8 11	954,35 08	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	2,2649 96	1,0037 46	1,0037 46	1,0034 7	0,1240 92
347	20	0,0059 96	0,0119 92	1,3035 24	7,5892 54	1713,0 4	1766,74	992,08 54	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	2,4076 54	1,0043 52	1,0043 52	1,0040 49	0,1212 99
348	21	0,0065 52	0,0131 05	1,3008 46	7,6479 12	1875,28 8	1821,0 14	1032,2 25	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	2,5588 01	1,0050 15	1,0050 15	1,0046 83	0,1186 92
349	22	0,0071 15	0,0142 31	1,2984 54	7,7011 94	1983,74 3	1929,5 15	1074,7 4	0,0243 05	1,1154 51	0,0243 05	1,1154 51	2,7181 59	1,0057 34	1,0057 34	1,0053 74	0,1162 73
350	23	0,0076 81	0,0153 62	1,2963 28	7,7492 87	2090,84 7	2037,2 95	1119,5 82	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	2,8852 86	1,0065 11	1,0065 11	1,0061 22	0,1140 43
351	24	0,0082	0,0164	1,2944	7,7924	2195,35	2143,1	1166,6	0,0162	1,0774	0,0162	1,0774	3,0595	1,0073	1,0073	1,0069	0,1120

		45	9	45	34	7	02	75	98	16	98	16	6	44	44	28	03
352	25	0,0088 03	0,0176 05	1,2927 87	7,8309 16	2296,08	2245,7 19	1215,9 24	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	3,2401 72	1,0082 35	1,0082 35	1,0077 9	0,1101 54
353	26	0,0093 5	0,0186 99	1,2913 32	7,8650 28	2391,90 6	2343,9 93	1267,2 05	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	3,4261 22	1,0091 8	1,0091 8	1,0087 07	0,1084 98
354	27	0,0098 82	0,0197 63	1,2900 62	7,8950 74	2481,84	2436,8 73	1320,3 73	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	3,6162 23	1,0101 79	1,0101 79	1,0096 8	0,1070 34
355	28	0,0103 94	0,0207 87	1,2889 61	7,9213 48	2565,02 5	2523,4 32	1375,2 58	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	3,8091 1	1,0112 3	1,0112 3	1,0107 05	0,1057 64
356	29	0,0108 81	0,0217 62	1,2880 13	7,9441 39	2640,76 7	2602,8 96	1431,6 67	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	4,0032 56	1,0123 3	1,0123 3	1,0117 8	0,1046 88
357	30	0,0113 4	0,0226 8	1,2872 03	7,9637 19	2708,54 8	2674,6 57	1489,3 88	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	4,1969 99	1,0134 77	1,0134 77	1,0129 04	0,1038 07
358	31	0,0117 65	0,0235 3	1,2865 19	7,9803 48	2768,02 9	2738,2 88	1548,1 86	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	4,3885 72	1,0146 67	1,0146 67	1,0140 72	0,1031 21
359	32	0,0121 53	0,0243 05	1,2859 48	7,9942 7	2819,05 8	2793,5 43	1607,8 12	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	4,5761 38	1,0158 95	1,0158 95	1,0152 81	0,1026 31
360	33	0,0124 99	0,0249 97	1,2854 81	8,0057 12	2861,65 5	2840,3 56	1668,0 01	0	1	0	1	4,7578 35	1,0171 59	1,0171 59	1,0165 27	0,1023 37
361	34	0,0128	0,0255 99	1,2851 08	8,0148 89	2896,00 5	2878,8 3	1728,4 78	0,0002 02	1,0009 59	0,0002 02	1,0009 59	4,9318 14	1,0184 54	1,0184 54	1,0178 06	0,1022 39
362	35	0,0130 52	0,0261 05	1,2848 19	8,0220 05	2922,43 5	2909,2 2	1788,9 59	0,0008 07	1,0038 35	0,0008 07	1,0038 35	5,0962 91	1,0197 73	1,0197 73	1,0191 13	0,1023 37
363	36	0,0132 54	0,0265 08	1,2846 06	8,0272 48	2941,39 5	2931,9 15	1849,1 54	0,0018 16	1,0086 28	0,0018 16	1,0086 28	5,2495 86	1,0211 14	1,0211 14	1,0204 43	0,1026 31
364	37	0,0134 03	0,0268 05	1,2844 63	8,0308	2953,43	2947,4 13	1908,7 76	0,0032 28	1,0153 34	0,0032 28	1,0153 34	5,3901 66	1,0224 69	1,0224 69	1,0217 91	0,1031 21
365	38	0,0134 96	0,0269 92	1,2843 81	8,0328 29	2959,15 2	2956,2 91	1967,5 35	0,0050 42	1,0239 5	0,0050 42	1,0239 5	5,5166 75	1,0238 33	1,0238 33	1,0231 51	0,1038 07
366	39	0,0135 34	0,0270 67	1,2843 54	8,0334 96	2959,21 9	2959,1 85	2025,1 51	0,0072 57	1,0344 72	0,0072 57	1,0344 72	5,6279 73	1,0252 02	1,0252 02	1,0245 18	0,1046 88
367	40	0,0135 15	0,0270 29	1,2843 76	8,0329 5	2954,30 4	2956,7 61	2081,3 51	0,0098 73	1,0468 95	0,0098 73	1,0468 95	5,7231 47	1,0265 68	1,0265 68	1,0258 85	0,1057 64
368	41	0,0134 39	0,0268 78	1,2844 41	8,0313 35	2945,07 7	2949,6 91	2135,8 74	0,0128 87	1,0612 12	0,0128 87	1,0612 12	5,8015 32	1,0279 27	1,0279 27	1,0272 48	0,1070 34
369	42	0,0133 08	0,0266 16	1,2845 44	8,0287 81	2932,18 5	2938,6 31	2188,4 75	0,0162 98	1,0774 16	0,0162 98	1,0774 16	5,8627 15	1,0292 73	1,0292 73	1,0286	0,1084 98
370	43	0,0131 23	0,0262 46	1,2846 81	8,0254 11	2916,23 4	2924,2 1	2238,9 26	0,0201 05	1,0954 98	0,0201 05	1,0954 98	5,9065 3	1,0306	1,0306	1,0299 37	0,1101 54
371	44	0,0128	0,0257	1,2848	8,0213	2897,78	2907,0	2287,0	0,0243	1,1154	0,0243	1,1154	5,9330	1,0319	1,0319	1,0312	0,1120

		86	71	46	38	2	08	2	05	51	05	51	51	03	03	51	03
372	45	0,0125 99	0,0251 98	1,2850 36	8,0166 64	2877,32 9	2887,5 55	2332,5 72	0,0288 97	1,1372 63	0,0288 97	1,1372 63	5,9425 79	1,0331 77	1,0331 77	1,0325 4	0,1140 43
373	46	0,0122 66	0,0245 31	1,2852 46	8,0114 81	2855,31 6	2866,3 23	2375,4 19	0,0338 79	1,1609 24	0,0338 79	1,1609 24	5,9356 15	1,0344 17	1,0344 17	1,0337 97	0,1162 73
374	47	0,0118 9	0,0237 79	1,2854 75	8,0058 71	2832,12 4	2843,7 2	2415,4 25	0,0392 47	1,1864 21	0,0392 47	1,1864 21	5,9128 44	1,0356 19	1,0356 19	1,0350 18	0,1186 92
375	48	0,0114 75	0,0229 5	1,2857 18	7,9999 06	2808,07 5	2820,1 77	2452,4 77	0,0449 99	1,2137 43	0,0449 99	1,2137 43	5,8751 03	1,0367 8	1,0367 8	1,0362 8	0,1212 99
376	49	0,0110 26	0,0220 53	1,2859 74	7,9936 5	2783,43 7	2795,7 56	2486,4 9	0,0511 31	1,2428 75	0,0511 31	1,2428 75	5,8233 54	1,0378 95	1,0378 95	1,0373 37	0,1240 92
377	50	0,0105 48	0,0210 97	1,2862 39	7,9871 57	2758,43 2	2770,9 35	2517,4 04	0,0576 42	1,2738 02	0,0576 42	1,2738 02	5,7586 6	1,0389 61	1,0389 61	1,0384 28	0,1270 71
378	51	0,0100 46	0,0200 92	1,2865 13	7,9804 74	2733,23 6	2745,8 34	2545,1 87	0,0645 28	1,3065 09	0,0645 28	1,3065 09	5,6821 54	1,0399 77	1,0399 77	1,0394 69	0,1302 33
379	52	0,0095 24	0,0190 49	1,2867 94	7,9736 41	2707,99 3	2720,6 14	2569,8 31	0,0717 85	1,3409 79	0,0717 85	1,3409 79	5,5950 14	1,0409 4	1,0409 4	1,0404 59	0,1335 76
380	53	0,0089 89	0,0179 77	1,2870 8	7,9666 91	2682,81 3	2695,4 03	2591,3 5	0,0794 1	1,3771 96	0,0794 1	1,3771 96	5,4984 42	1,0418 49	1,0418 49	1,0413 95	0,1371 01
381	54	0,0084 44	0,0168 88	1,2873 71	7,9596 53	2657,78 5	2670,2 99	2609,7 85	0,0873 98	1,4151 41	0,0873 98	1,4151 41	5,3936 38	1,0427 03	1,0427 03	1,0422 76	0,1408 04
382	55	0,0078 95	0,0157 91	1,2876 64	7,9525 53	2632,97 6	2645,3 81	2625,1 97	0,0957 46	1,4547 94	0,0957 46	1,4547 94	5,2817 89	1,0435 01	1,0435 01	1,0431 02	0,1446 83
383	56	0,0073 48	0,0146 95	1,2879 6	7,9454 09	2608,43 8	2620,7 07	2637,6 66	0,1044 5	1,4961 37	0,1044 5	1,4961 37	5,1640 44	1,0442 44	1,0442 44	1,0438 73	0,1487 37
384	57	0,0068 05	0,0136 1	1,2882 58	7,9382 4	2584,21 2584,21	2596,3 24	2647,2 92	0,1135 05	1,5391 48	0,1135 05	1,5391 48	5,0415 08	1,0449 32	1,0449 32	1,0445 88	0,1529 64
385	58	0,0062 73	0,0125 45	1,2885 56	7,9310 62	2560,32 2	2572,2 66	2654,1 9	0,1229 07	1,5838 06	0,1229 07	1,5838 06	4,9152 29	1,0455 67	1,0455 67	1,0452 49	0,1573 61
386	59	0,0057 54	0,0115 07	1,2888 55	7,9238 86	2536,79 7	2548,5 59	2658,4 87	0,1326 5	1,6300 89	0,1326 5	1,6300 89	4,7861 88	1,0461 48	1,0461 48	1,0458 57	0,1619 27
387	60	0,0052 51	0,0105 03	1,2890 16	7,9200 4	2536,79 7	2536,7 97	2660,3 24	0,1427 31	1,6779 73	0,1427 31	1,6779 73	4,6552 93	1,0466 79	1,0466 79	1,0464 14	0,1666 59
388	61	0,0047 69	0,0095 38	1,2890 36	7,9195 58	2536,79 7	2536,7 97	2659,8 52	0,1531 44	1,7274 35	0,1531 44	1,7274 35	4,5233 85	1,0471 62	1,0471 62	1,0469 2	0,1715 55
389	62	0,0043 09	0,0086 19	1,2890 55	7,9190 98	2536,79 7	2536,7 97	2657,2 32	0,1638 84	1,7784 49	0,1638 84	1,7784 49	4,3912 28	1,0475 97	1,0475 97	1,0473 79	0,1766 12
390	63	0,0038 74	0,0077 48	1,2890 73	7,9186 63	2536,79 7	2536,7 97	2652,6 3	0,1749 46	1,8309 91	0,1749 46	1,8309 91	4,2595 12	1,0479 89	1,0479 89	1,0477 93	0,1818 27
391	64	0,0034	0,0069	1,2890	7,9182	2536,79	2536,7	2646,2	0,1863	1,8850	0,1863	1,8850	4,1288	1,0483	1,0483	1,0481	0,1871

		65	3	9	54	7	97	12	23	35	23	35	44	39	39	64	99
392	65	0,0030 83	0,0061 65	1,2891 06	7,9178 72	2536,79 7	2536,7 97	2638,1 47	0,1980 11	1,9405 53	0,1980 11	1,9405 53	3,9997 59	1,0486 51	1,0486 51	1,0484 95	0,1927 25
393	66	0,0027 28	0,0054 56	1,2891 21	7,9175 18	2536,79 7	2536,7 97	2628,6 01	0,2100 04	1,9975 19	0,2100 04	1,9975 19	3,8727 17	1,0489 27	1,0489 27	1,0487 89	0,1984 01
394	67	0,0024 01	0,0048 02	1,2891 35	7,9171 91	2536,79 7	2536,7 97	2617,7 35	0,2222 96	2,0559 04	0,2222 96	2,0559 04	3,7481 1	1,0491 7	1,0491 7	1,0490 48	0,2042 25
395	68	0,0021 02	0,0042 04	1,2891 47	7,9168 92	2536,79 7	2536,7 97	2605,7 07	0,2348 8	2,1156 79	0,2348 8	2,1156 79	3,6262 65	1,0493 82	1,0493 82	1,0492 76	0,2101 94
396	69	0,0018 3	0,0036 61	1,2891 59	7,9166 21	2536,79 7	2536,7 97	2592,6 68	0,2477 5	2,1768 14	0,2477 5	2,1768 14	3,5074 5	1,0495 67	1,0495 67	1,0494 75	0,2163 05
397	70	0,0015 85	0,0031 7	1,2891 69	7,9163 76	2536,79 7	2536,7 97	2578,7 61	0,2609 01	2,2392 81	0,2609 01	2,2392 81	3,3918 75	1,0497 28	1,0497 28	1,0496 48	0,2225 56
398	71	0,0013 64	0,0027 29	1,2891 78	7,9161 55	2536,79 7	2536,7 97	2564,1 21	0,2743 26	2,3030 48	0,2743 26	2,3030 48	3,2797 04	1,0498 66	1,0498 66	1,0497 97	0,2289 42
399	72	0,0011 68	0,0023 36	1,2891 86	7,9159 59	2536,79 7	2536,7 97	2548,8 75	0,2880 18	2,3680 84	0,2880 18	2,3680 84	3,1710 54	1,0499 84	1,0499 84	1,0499 25	0,2354 62
400	73	0,0009 94	0,0019 89	1,2891 93	7,9157 86	2536,79 7	2536,7 97	2533,1 39	0,3019 7	2,4343 57	0,3019 7	2,4343 57	3,066	1,0500 84	1,0500 84	1,0500 34	0,2421 11
401	74	0,0008 41	0,0016 83	1,2892	7,9156 33	2536,79 7	2536,7 97	2517,0 2	0,3161 76	2,5018 35	0,3161 76	2,5018 35	2,9645 84	1,0501 69	1,0501 69	1,0501 27	0,2488 87
402	75	0,0007 08	0,0014 16	1,2892 05	7,9155	2536,79 7	2536,7 97	2500,6 16	0,3306 28	2,5704 85	0,3306 28	2,5704 85	2,8668 17	1,0502 41	1,0502 41	1,0502 05	0,2557 86
403	76	0,0005 92	0,0011 84	1,2892 1	7,9153 84	2536,79 7	2536,7 97	2484,0 14	0,3453 21	2,6402 74	0,3453 21	2,6402 74	2,7726 83	1,0503 01	1,0503 01	1,0502 71	0,2628 04
404	77	0,0004 92	0,0009 84	1,2892 14	7,9152 84	2536,79 7	2536,7 97	2467,2 92	0,3602 46	2,7111 68	0,3602 46	2,7111 68	2,6821 43	1,0503 51	1,0503 51	1,0503 26	0,2699 4
405	78	0,0004 07	0,0008 13	1,2892 18	7,9151 99	2536,79 7	2536,7 97	2450,5 2	0,3753 97	2,7831 34	0,3753 97	2,7831 34	2,5951 4	1,0503 92	1,0503 92	1,0503 71	0,2771 88
406	79	0,0003 34	0,0006 68	1,2892 21	7,9151 26	2536,79 7	2536,7 97	2433,7 58	0,3907 66	2,8561 36	0,3907 66	2,8561 36	2,5116	1,0504 25	1,0504 25	1,0504 08	0,2845 46
407	80	0,0002 72	0,0005 45	1,2892 24	7,9150 65	2536,79 7	2536,7 97	2417,0 58	0,4063 45	2,9301 4	0,4063 45	2,9301 4	2,4314 4	1,0504 53	1,0504 53	1,0504 39	0,2920 09
408	81	0,0002 21	0,0004 42	1,2892 26	7,9150 13	2536,79 7	2536,7 97	2400,4 67	0,4221 29	3,0051 11	0,4221 29	3,0051 11	2,3545 63	1,0504 75	1,0504 75	1,0504 64	0,2995 75
409	82	0,0001 78	0,0003 56	1,2892 28	7,9149 71	2536,79 7	2536,7 97	2384,0 21	0,4381 08	3,0810 12	0,4381 08	3,0810 12	2,2808 67	1,0504 93	1,0504 93	1,0504 84	0,3072 4
410	83	0,0001 42	0,0002 85	1,2892 29	7,9149 35	2536,79 7	2536,7 97	2367,7 53	0,4542 76	3,1578 09	0,4542 76	3,1578 09	2,2102 46	1,0505 08	1,0505 08	1,0505	0,315
411	84	0,0001	0,0002	1,2892	7,9149	2536,79	2536,7	2351,6	0,4706	3,2354	0,4706	3,2354	2,1425	1,0505	1,0505	1,0505	0,3228

		13	27	3	06	7	97	89	24	64	24	64	89	19	19	13	52
412	85	8,95E-05	0,000179	1,289231	7,914882	2536,797	2536,797	2335,851	0,487146	3,313942	0,487146	3,313942	2,077782	1,050528	1,050528	1,050524	0,330792

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1 - Кинематические характеристики двигателя ВАЗ 21179

$\varphi$	$S_x$	$S_{n1}$	$S_{n2}$	$V_x$	$V_{x1}$	$V_{x2}$	$j$	$j_{n1}$	$j_{n2}$
0	0	0	0	0	0	0	22337	16858	5479
10	0,8439	0,638	0,2058	6,1	4,621	1,4789	21751	16602	5149
20	3,3313	2,533	0,7984	11,88	9,101	2,7794	20039	15842	4197
30	7,3332	5,627	1,7063	17,049	13,305	3,7447	17339	14600	2739
40	12,6461	9,826	2,8199	21,362	17,104	4,2583	13866	12914	951
50	19,008	15,003	4,0051	24,642	20,384	4,2583	9885	10836	-951
60	26,1188	21	5,1188	26,789	23,044	3,7447	5690	8429	-2739
70	33,6618	27,635	6,0266	27,784	25,005	2,7794	1569	5766	-4197
80	41,326	34,707	6,6192	27,684	26,205	1,4789	-2221	2927	-5149
90	48,825	42	6,825	26,609	26,609	0	-5479	0	-5479
100	55,9124	49,293	6,6192	24,726	26,205	-1,4789	-8076	-2927	-5149
110	62,3915	56,365	6,0266	22,225	25,005	-2,7794	-9963	-5766	-4197
120	68,1188	63	5,1188	19,3	23,044	-3,7447	-11169	-8429	-2739
130	73,0022	68,997	4,0051	16,126	20,384	-4,2583	-11788	-10836	-951
140	76,9938	74,174	2,8199	12,846	17,104	-4,2583	-11963	-12914	951
150	80,0793	78,373	1,7063	9,56	13,305	-3,7447	-11860	-14600	2739
160	82,2655	81,467	0,7984	6,321	9,101	-2,7794	-11645	-15842	4197
170	83,5677	83,362	0,2058	3,142	4,621	-1,4789	-11454	-16602	5149
180	84	84	0	0	0	0	-11379	-16858	5479
190	83,5677	83,362	0,2058	-3,142	-4,621	1,4789	-11454	-16602	5149
200	82,2655	81,467	0,7984	-6,321	-9,101	2,7794	-11645	-15842	4197
210	80,0793	78,373	1,7063	-9,56	-13,305	3,7447	-11860	-14600	2739
220	76,9938	74,174	2,8199	-12,846	-17,104	4,2583	-11963	-12914	951
230	73,0022	68,997	4,0051	-16,126	-20,384	4,2583	-11788	-10836	-951
240	68,1188	63	5,1188	-19,3	-23,044	3,7447	-11169	-8429	-2739
250	62,3915	56,365	6,0266	-22,225	-25,005	2,7794	-9963	-5766	-4197
260	55,9124	49,293	6,6192	-24,726	-26,205	1,4789	-8076	-2927	-5149
270	48,825	42	6,825	-26,609	-26,609	0	-5479	0	-5479
280	41,326	34,707	6,6192	-27,684	-26,205	-1,4789	-2221	2927	-5149
290	33,6618	27,635	6,0266	-27,784	-25,005	-2,7794	1569	5766	-4197
300	26,1188	21	5,1188	-26,789	-23,044	-3,7447	5690	8429	-2739
310	19,008	15,003	4,0051	-24,642	-20,384	-4,2583	9885	10836	-951
320	12,6461	9,826	2,8199	-21,362	-17,104	-4,2583	13866	12914	951
330	7,3332	5,627	1,7063	-17,049	-13,305	-3,7447	17339	14600	2739
340	3,3313	2,533	0,7984	-11,88	-9,101	-2,7794	20039	15842	4197
350	0,8439	0,638	0,2058	-6,1	-4,621	-1,4789	21751	16602	5149
360	0	0	0	0	0	0	22337	16858	5479
370	0,8439	0,638	0,2058	6,1	4,621	1,4789	21751	16602	5149
380	3,3313	2,533	0,7984	11,88	9,101	2,7794	20039	15842	4197
390	7,3332	5,627	1,7063	17,049	13,305	3,7447	17339	14600	2739
400	12,6461	9,826	2,8199	21,362	17,104	4,2583	13866	12914	951
410	19,008	15,003	4,0051	24,642	20,384	4,2583	9885	10836	-951



420	26,1188	21	5,1188	26,789	23,044	3,7447	5690	8429	-2739
430	33,6618	27,635	6,0266	27,784	25,005	2,7794	1569	5766	-4197
440	41,326	34,707	6,6192	27,684	26,205	1,4789	-2221	2927	-5149
450	48,825	42	6,825	26,609	26,609	0	-5479	0	-5479
460	55,9124	49,293	6,6192	24,726	26,205	-1,4789	-8076	-2927	-5149
470	62,3915	56,365	6,0266	22,225	25,005	-2,7794	-9963	-5766	-4197
480	68,1188	63	5,1188	19,3	23,044	-3,7447	-11169	-8429	-2739
490	73,0022	68,997	4,0051	16,126	20,384	-4,2583	-11788	-10836	-951
500	76,9938	74,174	2,8199	12,846	17,104	-4,2583	-11963	-12914	951
510	80,0793	78,373	1,7063	9,56	13,305	-3,7447	-11860	-14600	2739
520	82,2655	81,467	0,7984	6,321	9,101	-2,7794	-11645	-15842	4197
530	83,5677	83,362	0,2058	3,142	4,621	-1,4789	-11454	-16602	5149
540	84	84	0	0	0	0	-11379	-16858	5479
550	83,5677	83,362	0,2058	-3,142	-4,621	1,4789	-11454	-16602	5149
560	82,2655	81,467	0,7984	-6,321	-9,101	2,7794	-11645	-15842	4197
570	80,0793	78,373	1,7062	-9,56	-13,305	3,7447	-11860	-14600	2739
580	76,9938	74,174	2,8199	-12,846	-17,104	4,2583	-11963	-12914	951
590	73,0022	68,997	4,0051	-16,126	-20,384	4,2583	-11788	-10836	-951
600	68,1188	63	5,1188	-19,3	-23,044	3,7447	-11169	-8429	-2739
610	62,3915	56,365	6,0266	-22,225	-25,005	2,7794	-9963	-5766	-4197
620	55,9124	49,293	6,6192	-24,726	-26,205	1,4789	-8076	-2927	-5149
630	48,825	42	6,825	-26,609	-26,609	0	-5479	0	-5479
640	41,326	34,707	6,6192	-27,684	-26,205	-1,4789	-2221	2927	-5149
650	33,6618	27,635	6,0266	-27,784	-25,005	-2,7794	1569	5766	-4197
660	26,1188	21	5,1188	-26,789	-23,044	-3,7447	5690	8429	-2739
670	19,008	15,003	4,0051	-24,642	-20,384	-4,2583	9885	10836	-951
680	12,6461	9,826	2,8199	-21,362	-17,104	-4,2583	13866	12914	951
690	7,3332	5,627	1,7063	-17,049	-13,305	-3,7447	17339	14600	2739
700	3,3313	2,533	0,7984	-11,88	-9,101	-2,7794	20039	15842	4197
710	0,8439	0,638	0,2058	-6,1	-4,621	-1,4789	21751	16602	5149
720	0	0	0	0	0	0	22337	16858	5479

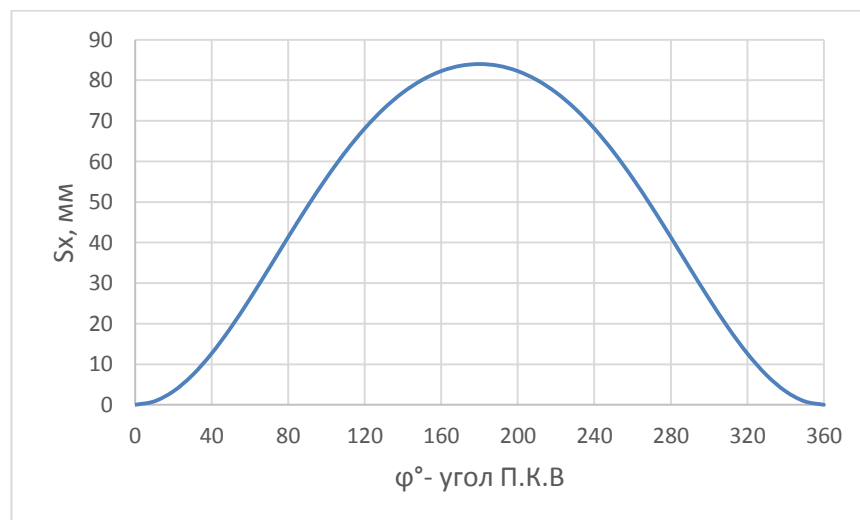


Рисунок Б1 – Перемещения поршня

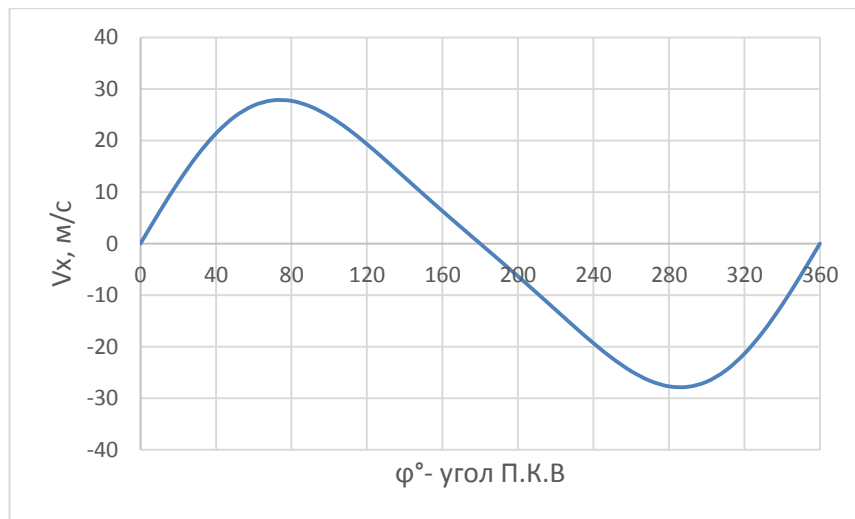


Рисунок Б2 – Скорость поршня

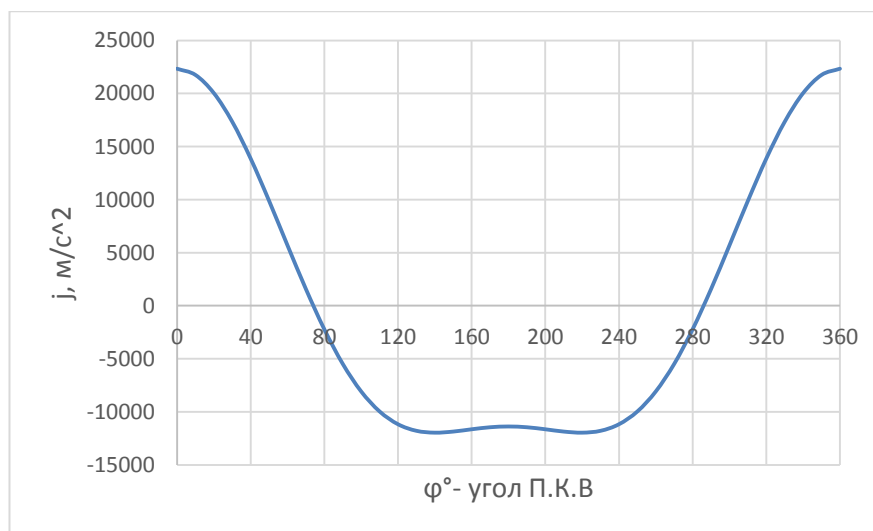


Рисунок Б3 – Ускорения поршня

Таблица Б2 – Силы действующие в КШМ

$\varphi$	$P_r$	$P_j$	$P_l$	$N$	$K$	$Z$	$T$	$R_{ш.ш.}$
0	0,087825	-16,0134	-15,9255	0	-15,9255	-15,9255	0	39,45162
10	-0,05673	-15,5933	-15,65	-0,76685	-15,6343	-15,2744	-3,45865	38,95432
20	-0,05673	-14,3659	-14,4227	-1,38457	-14,3509	-13,0813	-6,23059	37,13388
30	-0,05673	-12,4303	-12,487	-1,76067	-12,3634	-9,92719	-7,76693	34,34308
40	-0,05673	-9,93979	-9,99652	-1,81937	-9,8391	-6,48774	-7,81728	31,01517
50	-0,05673	-7,08654	-7,14327	-1,55723	-6,97585	-3,4002	-6,4718	27,69313
60	-0,05673	-4,07915	-4,13588	-1,0257	-4,01542	-1,17873	-4,09452	25,04183
70	-0,05673	-1,12481	-1,18155	-0,31902	-1,14049	-0,10398	-1,21936	23,66151
80	-0,05673	1,592948	1,536215	0,436285	1,47713	-0,16284	1,588446	23,74213
90	-0,05673	3,927885	3,871152	1,118763	3,718686	-1,11876	3,871152	24,94704
100	-0,05673	5,789669	5,732936	1,628154	5,512439	-2,59702	5,366028	26,66855
110	-0,05673	7,142456	7,085723	1,920231	6,839501	-4,22309	6,001607	28,39078
120	-0,05673	8,006318	7,949585	1,971497	7,718044	-5,68395	5,898592	29,79967
130	-0,05673	8,450078	8,393345	1,829749	8,196626	-6,79861	5,254234	30,77653

140	-0,05673	8,576252	8,519519	1,550552	8,385353	-7,52274	4,285318	31,34316
150	-0,05673	8,503128	8,446396	1,190942	8,362768	-7,91427	3,192737	31,60206
160	-0,05673	8,348278	8,291546	0,795988	8,250294	-8,06767	2,089469	31,66279
170	-0,05673	8,210634	8,153901	0,399541	8,145755	-8,09682	1,027392	31,6396
180	-0,05673	8,157583	8,100851	0	8,100851	-8,10085	0	31,62695
190	-0,05349	8,210634	8,15714	-0,3997	8,148991	-8,10004	-1,80273	31,67747
200	-0,04353	8,348278	8,304745	-0,79726	8,263428	-8,08052	-3,58765	31,80958
210	-0,02609	8,503128	8,477037	-1,19526	8,393106	-7,94298	-5,27272	31,90775
220	0,000218	8,576252	8,576469	-1,56092	8,441407	-7,57302	-6,7068	31,81409
230	0,037616	8,450078	8,487694	-1,85032	8,288764	-6,87503	-7,68985	31,35861
240	0,08952	8,006318	8,095838	-2,00777	7,860037	-5,78852	-8,01488	30,39055
250	0,161143	7,142456	7,303599	-1,97197	7,049806	-4,35295	-7,53731	28,87996
260	0,260527	5,789669	6,050196	-1,71826	5,817496	-2,74074	-6,2559	27,00154
270	0,400319	3,927885	4,328204	-1,25085	4,157736	-1,25085	-4,3282	25,15215
280	0,600939	1,592948	2,193887	-0,62306	2,109506	-0,23255	-2,05348	23,84722
290	0,896302	-1,12481	-0,22851	0,061926	-0,22057	-0,02011	0,193549	23,547
300	1,344258	-4,07915	-2,73489	0,678253	-2,65523	-0,77944	2,02929	24,39011
310	2,044977	-7,08654	-5,04156	1,09906	-4,9234	-2,39978	3,156017	26,11727
320	3,168461	-9,93979	-6,77133	1,232382	-6,6647	-4,39459	3,40598	28,12767
330	4,968792	-12,4303	-7,4615	1,052072	-7,38763	-5,9319	2,820448	29,5927
340	6,835898	-14,3659	-7,53002	0,722882	-7,49256	-6,82973	1,897566	30,41508
350	12,31294	-15,5933	-3,28031	0,160735	-3,27703	-3,20158	0,413319	26,73087
360	22,85484	-16,0134	6,841489	0	6,841489	6,841489	0	16,68461
370	32,70544	-15,5933	17,11219	0,838497	17,0951	16,7015	3,781795	7,802376
380	33,22733	-14,3659	18,86141	1,810695	18,76757	17,1073	8,148127	10,3727
390	22,07228	-12,4303	9,641986	1,35952	9,546521	7,665379	5,997315	16,95671
400	15,53357	-9,93979	5,593776	1,018067	5,505685	3,630361	4,374333	20,37094
410	11,23048	-7,08654	4,143939	0,903379	4,046815	1,972515	3,754409	21,87813
420	8,415564	-4,07915	4,336414	1,075431	4,21011	1,235878	4,29305	22,69987
430	6,539878	-1,12481	5,415065	1,462068	5,226897	0,476526	5,588347	23,71734
440	5,258513	1,592948	6,851461	1,945815	6,587943	-0,72625	7,08441	25,26589
450	4,361691	3,927885	8,289576	2,395687	7,963089	-2,39569	8,289576	27,21499
460	3,720897	5,789669	9,510566	2,701001	9,144775	-4,30829	8,901889	29,22322
470	3,255744	7,142456	10,3982	2,817912	10,03687	-6,19733	8,807275	31,00081
480	2,914743	8,006318	10,92106	2,708423	10,60297	-7,80856	8,103427	32,36551
490	2,664194	8,450078	11,11427	2,422911	10,85378	-9,00256	6,957534	33,26441
500	2,481684	8,576252	11,05794	2,012544	10,88379	-9,76416	5,562142	33,75172
510	2,352216	8,503128	10,85534	1,530604	10,74787	-10,1715	4,10332	33,94646
520	2,265868	8,348278	10,61415	1,018958	10,56134	-10,3276	2,674765	33,95916
530	2,216363	8,210634	10,427	0,510923	10,41658	-10,354	1,313802	33,90557
540	2,200232	8,157583	10,35782	0	10,35782	-10,3578	0	33,88391
550	1,144028	8,210634	9,354662	-0,45838	9,345317	-9,28918	-2,06738	32,88033
560	0,087825	8,348278	8,436103	-0,80987	8,394133	-8,20833	-3,6444	31,943
570	0,087825	8,503128	8,590953	-1,21132	8,505894	-8,04972	-5,34357	32,02477
580	0,087825	8,576252	8,664077	-1,57686	8,527635	-7,65038	-6,77531	31,90419
590	0,087825	8,450078	8,537903	-1,86126	8,337796	-6,9157	-7,73534	31,40921

600	0,087825	8,006318	8,094143	-2,00735	7,858391	-5,78731	-8,0132	30,38893
610	0,087825	7,142456	7,230281	-1,95218	6,979035	-4,30925	-7,46165	28,81809
620	0,087825	5,789669	5,877494	-1,66921	5,651437	-2,6625	-6,07733	26,88451
630	0,087825	3,927885	4,01571	-1,16054	3,85755	-1,16054	-4,01571	25,01112
640	0,087825	1,592948	1,680773	-0,47734	1,616128	-0,17816	-1,5732	23,75641
650	0,087825	-1,12481	-1,03699	0,281024	-1,00095	-0,09125	0,878329	23,63368
660	0,087825	-4,07915	-3,99133	0,989849	-3,87507	-1,13753	2,961563	24,8408
670	0,087825	-7,08654	-6,99871	1,525719	-6,83468	-3,33139	4,381194	27,21248
680	0,087825	-9,93979	-9,85197	1,793058	-9,69682	-6,39393	4,955539	30,32763
690	0,087825	-12,4303	-12,3425	1,740288	-12,2203	-9,81226	4,665454	33,66322
700	0,087825	-14,3659	-14,2781	1,370697	-14,2071	-12,9502	3,59808	36,65336
710	0,087825	-15,5933	-15,5054	0,759766	-15,4899	-15,1333	1,953684	38,70872
720	0,087825	-16,0134	-15,9255	0	-15,9255	-15,9255	0	39,45162

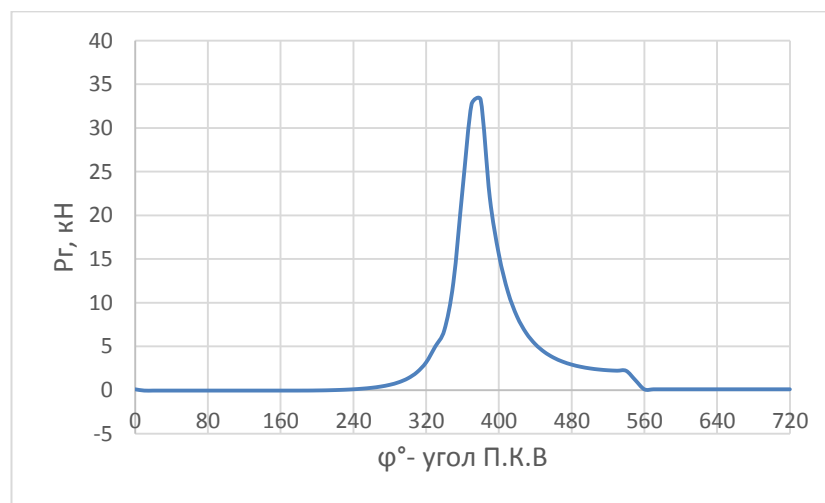


Рисунок Б4 – Силы давления газов

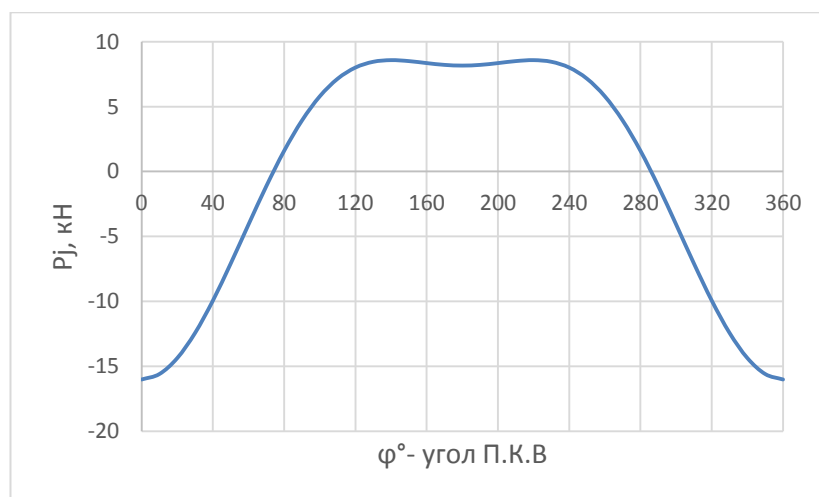


Рисунок Б5 – Силы инерции

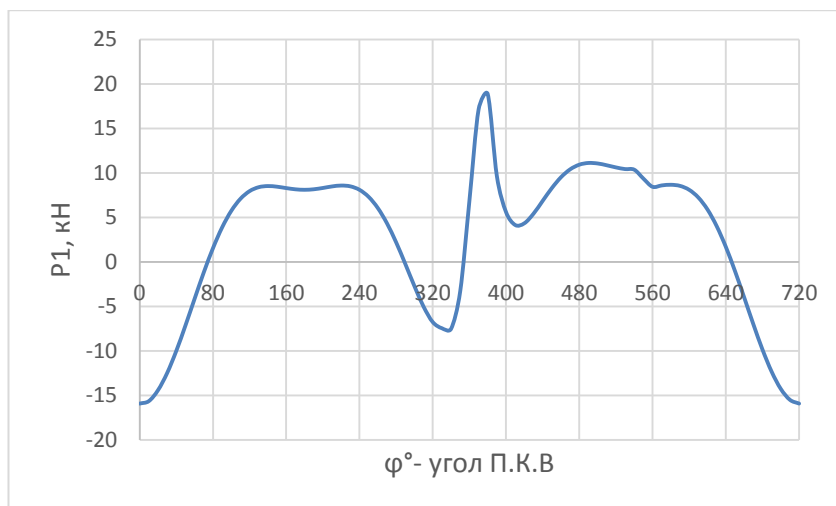


Рисунок Б6 – Суммарные силы

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м <sup>2</sup> *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

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

Таблица В1-Расчет прогрева катализатора до 150°

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

Таблица В2-Расчет прогрева катализатора до 250°

Исходные данные		Обознач	Значения	Ед. изм.
1	Коэффициент теплоотдачи на границе поверхность тела - среда	$\alpha=$	40,0	Вт/(м <sup>2</sup> *К)
2	Температура окружающей среды	$t_c=$	800,0	°С
3	Температура тела начальная	$t_1=$	0,0	°С
4	Температура тела конечная	$t_2=$	350,0	°С
5	Коэффициент теплопроводности тела	$\lambda=$	1,5	Вт/(м*К)
6	Коэффициент температуропроводности	$a=$	3,800E-06	м <sup>2</sup> /с
7	Плотность тела	$\rho=$	2500,000	кг/м <sup>3</sup>
8	Удельная теплоемкость тела	$c=$	850,000	Дж/(кг*К)
9	Форма тела	Цилиндр		
10	Размеры тела	$D=$	0,045	м
11		$L=$	0,250	м
12	Результаты расчетов	Обознач	Значения	Ед. изм.
13	Площадь поверхности тела	$F=$	0,039	м <sup>2</sup>
14	Объём тела	$V=$	0,000	м <sup>3</sup>
15	Масса тела	$G=$	0,994	кг
16	К-т формы тела	$K=$	0,000	м <sup>2</sup>
17	Темп нагрева однородного тела при $\alpha \rightarrow \infty$	$m_{\infty}=$	0,044	1/с
18	Модифицированное число Био	$Bi=$	0,223	-
19	Отношение среднего температурного напора по поверхности к среднему температурному напору по объёму	$\Psi=$	0,854	-
20	Относительный темп нагрева	$M=$	0,191	-
21	Расчетный темп нагрева однородного тела	$m_{\alpha\lambda}=$	0,008	1/с
22		$m_{cp}=$	0,002	
23		$\Delta=$	438,333	%
24	Время нагрева	$t=$	68,616	с

Таблица В3-Расчет прогрева катализатора до 350°