

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)

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

«Альтернативные источники энергии транспортных средств»

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Двигатель ВАЗ-11186 с турбонаддувом и системой охлаждения наддувочного воздуха

Студент

В.И. Анищенко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, В.В. Смоленский

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

Тольятти 2022

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена вопросу применения турбоагнетателей на малолитражный двигатель легкового бензинового автомобиля.

Автор подробно изучает вопрос применения турбонаддува в двигателях со значительным перепадом давления при работе на нагрузочных или ненагрузочных режимах работы.

Целью бакалаврской работы является оценка возможностей эффективного применения турбоагнетателей в поршневых двигателях внутреннего сгорания.

В бакалаврской работе представлены результаты проектирования двигателя с искровым зажиганием с турбонаддувом, при использовании охладителя наддувочного воздуха и без него. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка состоит из аннотации, введения, 4 разделов, заключения с основными результатами и выводами, содержит 38 рисунков, 14 таблиц, списка использованных источников (29 источников). Основной текст изложен на 79 страницах.

Графическая часть работы содержит 8 листов, иллюстрирующих материал, представленный в пояснительной записке.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Применение компрессоров в двигателях внутреннего сгорания | 6 |
| 1.1 Уменьшение размеров современного двигателя..... | 6 |
| 1.2 Проблемы двигателя с турбонаддувом уменьшенного размера..... | 10 |
| 1.3 Основы наддува и турбокомпрессоров..... | 13 |
| 1.4 Охлаждение наддувочного воздуха..... | 17 |
| 2 Тепловой расчет проектируемого двигателя | 26 |
| 3 Кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя | 54 |
| 3.1 Кинематический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя..... | 54 |
| 3.2 Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя | 56 |
| 4 Анализ влияния охлаждения наддувочного воздуха на рабочий процесс ДВС с турбонаддувом | 66 |
| 4.1 Влияния охлаждения наддувочного воздуха на максимальную температуру и давление цикла | 66 |
| 4.2 Влияния охлаждения наддувочного воздуха на эффективные показатели цикла | 70 |
| Заключение | 74 |
| Список используемых источников | 77 |

ВВЕДЕНИЕ

Поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) считается самым распространенным агрегатом применяемом в автомобилестроении. Изобретение ДВС поставило перед инженерами задачи по усовершенствованию, а именно, уменьшение удельного расхода топлива и показателей шумности, прибавка мощности и снижение выброса отработавших газов в атмосферу [1].

Бензиновые и дизельные двигатели используют турбонаддув. Дизельные двигатели, в которых применяется турбонаддув являются более эффективными в связи с особенностями - высокая степень сжатия и меньшая частота вращения коленчатого вала, против бензинового двигателя [3]. При применении турбонаддува в бензиновых двигателях появляется возможность детонации, она непосредственно связана с частотой оборотов коленчатого вала в двигателе. Вдобавок температура отработавших газов, у бензиновых ДВС находится в районе 1000°C , у дизелей 600°C , поэтому турбонаддува в бензиновых двигателях является сложной технической задачей.

Использование двигателей внутреннего сгорания для движения росло и до сих пор доминирует на рынке автомобильных перевозок. Этому есть много причин, в том числе:

- I. высокая плотность энергии топлива, обеспечивающая увеличенный запас хода;
- II. высокие удельные мощности двигателя и топливная экономичность;
- III. относительная низкая стоимость производства и владения;
- IV. надежность и прочность;
- V. инфраструктура распределения топлива;
- VI. простота хранения и обращения с топливом.

Двигатель с турбонаддувом обеспечивает более высокий крутящий момент в области низких скоростей по сравнению с атмосферными двигателем аналогичного размера. Когда двигатель работает на низких

оборотах, но в области высокого крутящего момента, потери на продувку также могут быть уменьшены из-за замедленного открытия выпускного клапана. Поскольку потери на трение в двигателе являются функцией частоты вращения двигателя и нагрузки двигателя, при которой скорость двигателя вносит основной вклад в механические потери, тогда снижение скорости может помочь уменьшить потери на трение и привести к более эффективному режиму работы. Таким образом, требуемая мощность достигается в рабочих точках с более высоким КПД. Однако, поскольку одноступенчатые двигатели с турбонаддувом и наддувом имеют предельный крутящий момент в области низких скоростей по сравнению с атмосферными двигателями с аналогичным пиковым крутящим моментом и мощностью, это будет препятствовать развитию снижения скорости двигателя в легковом автомобиле.

1 Применение компрессоров в двигателях внутреннего сгорания

1.1 Уменьшение размеров современного двигателя

Мощность двигателя внутреннего сгорания часто ограничивается числом оборотов двигателя и рабочим объемом, так как от них зависит, сколько воздуха можно заполнить цилиндром [5]. Однако по мере роста спроса на низкоуглеродный образ жизни требования регулирования выбросов транспортных средств становятся намного более строгими, уменьшение габаритов двигателя становится привлекательным направлением. Эта технология достигается за счет сочетания с уменьшением рабочего объема двигателя и увеличением удельной мощности. В этом случае двигатель может иметь более высокое среднее эффективное давление в тормозной системе (BMEP) и лучшую экономию топлива. Двигатель уменьшенного размера будет терять мощность и крутящий момент, поскольку рабочий объем двигателя уменьшается. На двигателях уменьшенных размеров потребуются навесные устройства, которые помогут подать больше воздуха в цилиндр и позволят сжечь больше топлива. Таким образом, размер двигателя может быть уменьшен без потери крутящего момента или выходной мощности. Кроме того, поскольку размер двигателя меньше, тепловые потери, потери на трение и характеристики сгорания будут улучшены при использовании соответствующей методологии управления [6].

Для достижения этой функции обычно используются бустерные устройства, которые могут накачивать больше воздуха в цилиндр, увеличивать давление в цилиндре двигателя и BMEP. На рисунке 1 показано, чем двигатель с турбонаддувом отличается от атмосферного двигателя того же размера и мощности [7].

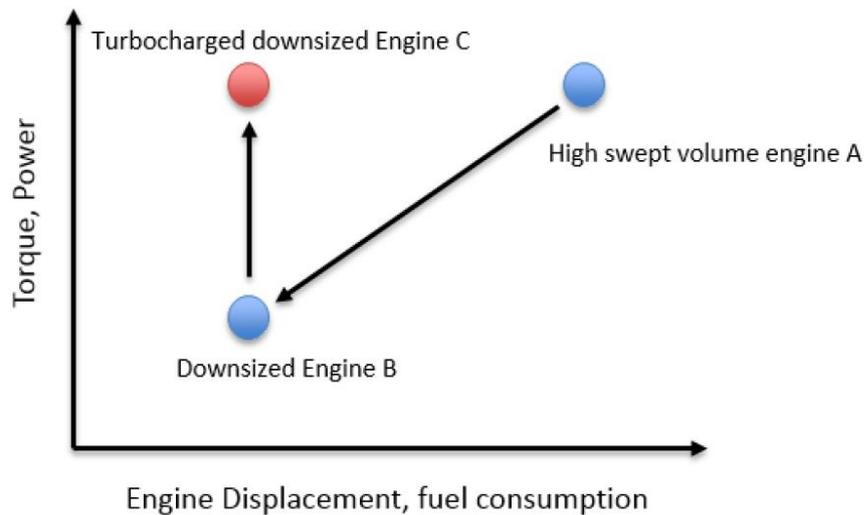


Рисунок 1 – Принцип уменьшения размера двигателя

По сравнению с атмосферным двигателем двигатель уменьшенного размера имеет следующие преимущества [8].

1. Снижены насосные потери двигателя. В бензиновой системе двигатель с наддувом меньшего размера имеет более высокое давление во впускном коллекторе по сравнению с атмосферным двигателем с той же выходной мощностью, степень дроссельной заслонки может быть уменьшена, двигатель меньшего размера может работать ближе к точке максимальной эффективности. При использовании турбонагнетателя компрессор может нагнетать больше воздуха в цилиндр и толкать поршень вниз, что помогает снизить насосные потери.
2. Повышение общего механического КПД за счет снижения потерь на трение. По сравнению с атмосферным двигателем того же размера, двигатель с более высокой удельной мощностью имел более высокие потери на трение из-за увеличенных размеров подшипников, нагрузки пружины и др., однако, если сравнить двигатель с той же выходной мощностью, то по мере того, как двигатель становится меньше, некоторые компоненты, такие как

поршни, тарельчатые клапаны и подшипники, будут меньше, размер двигателя уменьшится, потери на трение уменьшаются.

3. Более высокое давление на входе и температура, создаваемые турбонагнетателем, улучшает смесеобразование и распыление топлива. Это также будет способствовать улучшению турбулентности в цилиндрах, ускорению скорости горения для повышения эффективности сгорания.
4. Снижение теплотерь. Энергия выхлопных газов, рекуперлируемая турбиной, и уменьшение площади поверхности двигателя за счет уменьшения размера двигателя помогут уменьшить потери тепла.
5. Двигатель уменьшенного размера имеет меньший вес, что способствует повышению динамичности автомобиля и расходу топлива.

Большие преимущества уменьшения размера двигателя заставляют людей уделять больше внимания технологии наддува, а турбонаддув является наиболее приемлемым для применения в легковых автомобилях, поскольку он может обеспечить достаточный наддув без потребления дополнительной энергии. За последние несколько десятилетий было проведено множество исследований. Компания MANLE Powertrain разработала 3-цилиндровый бензиновый двигатель объемом 1,2 л с двухступенчатым турбонагнетателем. По сравнению с атмосферным двигателем объемом 2,4 л с такой же выходной мощностью этот двигатель позволяет снизить выбросы CO₂ на 50 %, а его экономия топлива по сравнению с двигателем 2,4 л. по ездовому циклу — примерно на 25–30 % [9].

Двигатель уменьшенного размера с технологией наддува всегда имеет более высокую удельную выходную мощность за счет модификации общей трансмиссии, позволяющей сместить рабочие точки двигателя на более низкую скорость, что называется снижением скорости двигателя.

Уменьшение размеров двигателя и снижение скорости широко распространены в настоящее время в конструкции транспортных средств, технологии наддува также играют значительную роль на этом этапе. Накачивая больше воздуха в цилиндры двигателя для улучшения внутреннего давления, можно впрыскивать больше топлива в двигатель, и ВМЕР увеличивается. Кроме того, с бустерами двигатель может работать с высоким крутящим моментом, но с низкой частотой вращения, что еще больше повышает эффективность двигателя. На рисунке 2 показано сравнение удельного расхода топлива при торможении для различных атмосферных двигателей и двигателей с турбонаддувом, которые имеют одинаковую выходную мощность и крутящий момент. Двигатель уменьшенного размера имеет более низкий BSFC в тех же рабочих точках. Турбодвигатель объемом 1,8 л имеет гораздо более низкий BSFC, но одинаковую выходную мощность в большинстве рабочих участков по карте нагрузки [10].

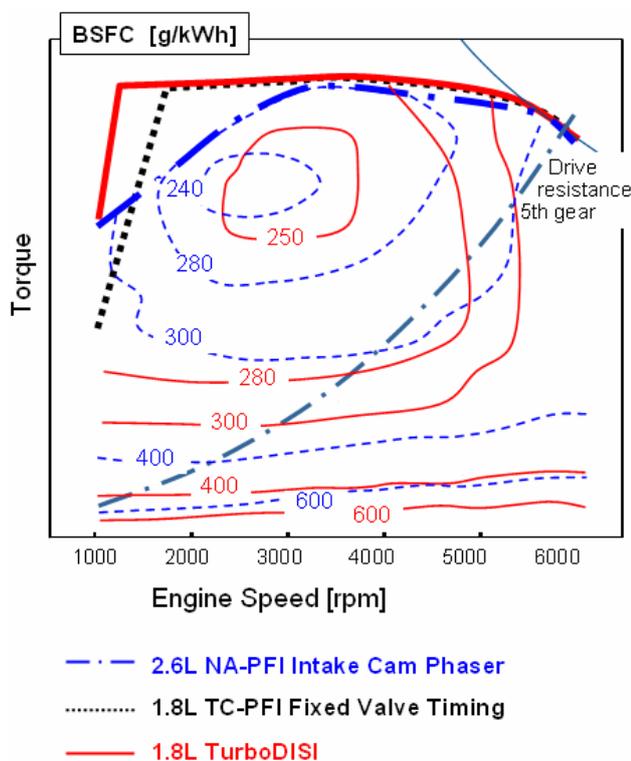


Рисунок 2 – Карты нагрузки и удельного эффективного расхода топлива (BSFC) для различных двигателей

1.2 Проблемы двигателя с турбонаддувом уменьшенного размера

Было доказано многими исследованиями [10,11,12,13], что уменьшение размеров двигателя повышает эффективность и экономию топлива.

Эффективное уменьшение габаритов достигается за счет турбонагнетателя, который рециркулирует впустую энергию выхлопных газов. Однако по мере того, как уменьшение размеров двигателя становится все более агрессивным, требования к системе наддува со временем возрастают, более высокое давление и температуру газа становится все труднее контролировать. В настоящее время с турбированным двигателем столкнулись со следующими проблемами [14]:

1. Проблема с детонацией. В бензиновом двигателе существует ограничение пределов самовоспламенения с воздушно-топливной смесью, так как давление и температура в цилиндре становятся выше для более высокой требуемой нагрузки. Газ в цилиндре имеет все большую вероятность самовоспламенения, что является неконтролируемым процессом. Детонация приведет к ухудшению работы двигателя и механическим повреждениям. Есть несколько способов избежать детонации: использование топлива с более высоким октановым числом или снижение степени сжатия может непосредственно снизить вредные эффекты, связанные с детонацией.
2. Отсутствие крутящего момента на малых оборотах. При использовании турбонагнетателя меньший по габаритам двигатель может развивать более высокий крутящий момент, но в условиях низкой скорости компрессор не может обеспечить достаточное давление наддува из-за утечки энергии на стороне турбины. Эта утечка пикового крутящего момента на низкой скорости повлияет на отрыв от состояния покоя и производительность при маневрах на малых нагрузках. Справиться с этим поможет помощник в

области низких скоростей. Например, на рисунке 3 показан пример карт крутящего момента для различных двигателей: безнаддувный двигатель объемом 1 л может развивать только 70 Н/м в пиковой точке, в то время как атмосферный двигатель 1,4 л может развивать 115 Н/м. После применения турбонагнетателя на 1-литровом двигателе максимальный крутящий момент увеличивается до 112 Н/м, что аналогично 1,4-литровому атмосферному двигателю, однако крутящий момент на низких оборотах слишком мал по сравнению с 1,4-литровым двигателем. После использования другого электрического нагнетателя для создания дополнительного давления наддува в условиях низкой скорости проблема решена.

3. Плохая переходная характеристика в области низких скоростей. Когда автомобиль запускается или происходят высокие изменения нагрузки, компрессору требуется время для достижения целевой скорости вращения для достижения определенного давления наддува из-за инерции турбонагнетателя и мощности, необходимой для его ускорения. В этот период крутящий момент двигателя и карта мощности не являются линейными, что заставит водителей чувствовать себя некомфортно. Это явление получило название турболаг или турбо-яма. Эта проблема вместе с недостатком крутящего момента на низких скоростях создает серьезную проблему для работы на низких скоростях в системе двигателя с турбонаддувом.
4. Конструкция воздушного тракта. Двигатель уменьшенного размера имеет более высокую температуру в цилиндрах, и для охлаждения впускного воздуха необходимо использовать другие охладители. Кроме того, из-за гораздо более строгого регулирования выбросов необходимо устанавливать устройства доочистки на стороне выхлопа, например, EGR, DPF и катализаторы используются для снижения выбросов транспортных средств и улучшения работы

двигателя. Эти устройства будут влиять на температуру и давление двигателя до и после, а также на производительность двигателя. Тщательная разработка этих устройств с турбонагнетателями, безусловно, поможет повысить производительность системы.

5. Проблема с температурой на входе в устройства доочистки. Система доочистки двигателя должна быть более эффективной, поскольку нормативы выбросов изменились, поскольку такая система снижает эффективность двигателя и может получить значительную выгоду от повышения температуры выхлопных газов на стороне устройства впуска. Требуется компромисс между системой турбонагнетателя и системой доочистки (поскольку турбина будет снижать температуру выхлопных газов), использование тепла выхлопных газов должно быть более эффективным, чтобы удовлетворить требования для всей системы двигателя.

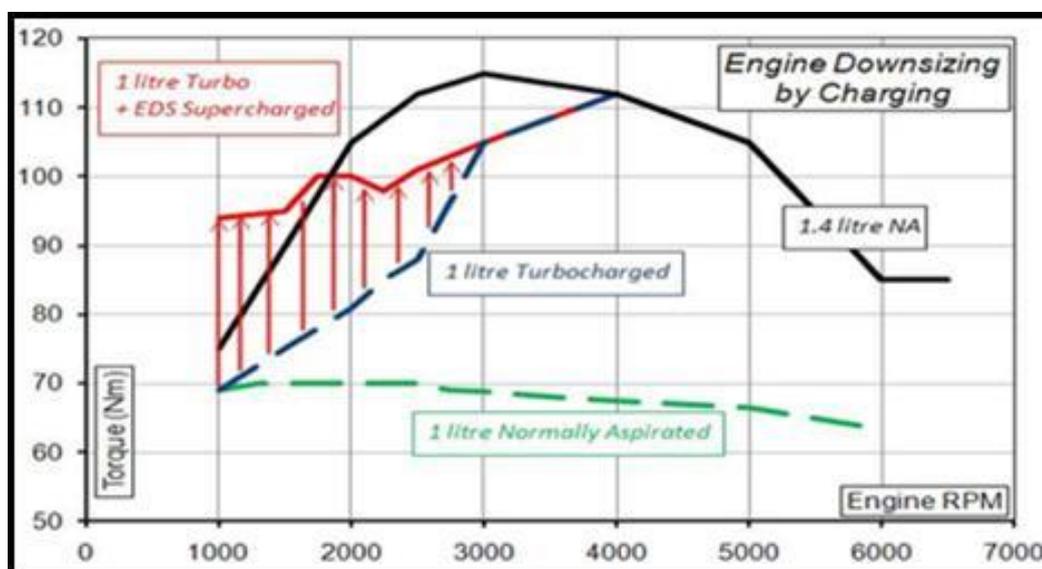


Рисунок 3 – Карта крутящего момента двигателя с уменьшенным объемом

Еще одна серьезная проблема, существующая в двигателе уменьшенного размера, — это проблема согласования между двигателем и турбокомпрессором, более того, когда система наддува имеет два или более

ступенчатых устройства наддува, также необходимо учитывать согласование между каждым устройством наддува [15].

1.3 Основы наддува и турбокомпрессоров

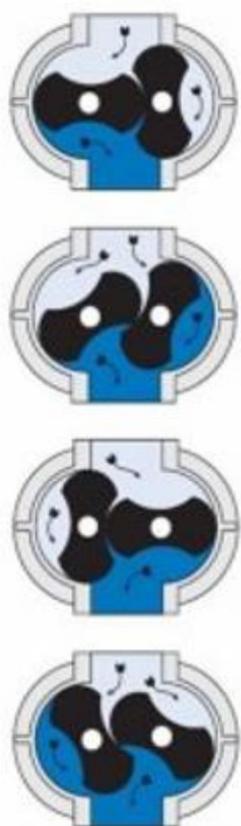
Технология повышения давления имеет более чем 100-летнюю историю.

Нагнетатели и турбокомпрессоры широко используются для уменьшения размеров двигателей и снижения выбросов транспортных средств; однако, естественно, атмосферные двигатели по-прежнему играют основную роль в современном автомобилестроении, поскольку некоторые недостатки в наддувных устройствах существуют и требуют решения, как и прежде.

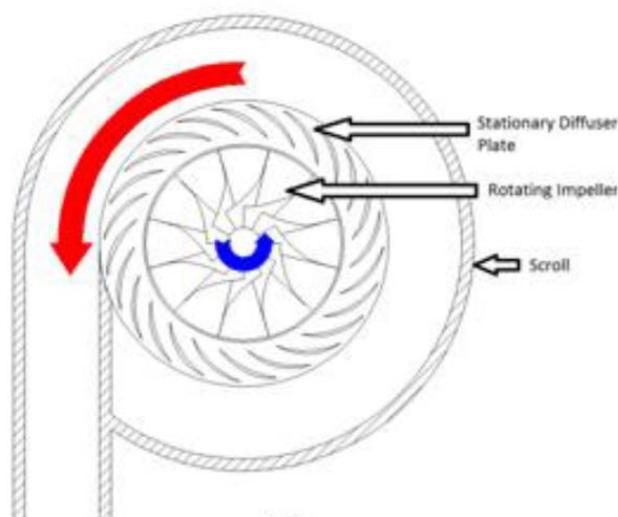
Нагнетатели более распространены в дизельных двигателях с высокой нагрузкой или в системах двигателей с высоким наддувом. Нагнетатель имеет компрессор, который напрямую приводится в движение коленчатым валом двигателя через зубчатую передачу или систему ремней и шкивов, поэтому в цилиндры нагнетается больше свежего воздуха. Существует два типа нагнетателей, которые определяются тем, как они подают наддувочный воздух: объемные компрессоры и центробежные компрессоры [16].

Объемные компрессоры легче приводятся в действие коленчатым валом двигателя из-за их низкой скорости и большого размера; он сжимает газ за счет уменьшения объема газа при смещении механической связи. Газ будет сжат в дискретном объеме и направлен к выходному порту. Этот тип компрессора обычно имеет систему труб, которая может улавливать и выпускать воздух в цикле. Существует множество конструкций объемных компрессоров с различной геометрией; например, компрессоры Рутса, лопастные и винтовые. Эти компрессоры в основном используются в легковых автомобилях в автомобильной сфере. Двухкорневой нагнетатель Eaton используется в бензиновом двигателе Audi V6 3L, что снижает расход

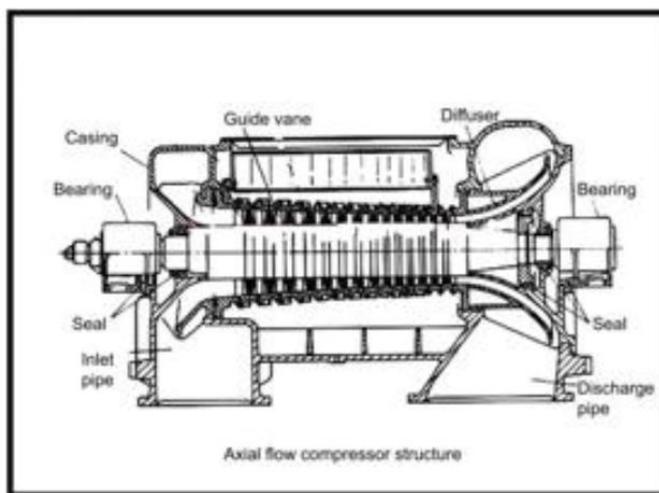
топлива с 10,9 л/100 км до 10,2 л/100 км. Тернер и др. также использовали нагнетатель роторного типа, устанавливаемый последовательно с другим турбокомпрессором. Мощность и крутящий момент увеличены на 35% по сравнению с 2,0-литровым бензиновым двигателем и соответствуют 5,0-литровому двигателю V8. Нагнетатель роторного типа может обеспечить высокий наддув для двигателей уменьшенного размера; однако считается, что он имеет низкую эффективность из-за конструкции без внутреннего сжатия [17].



а)



б)



в)

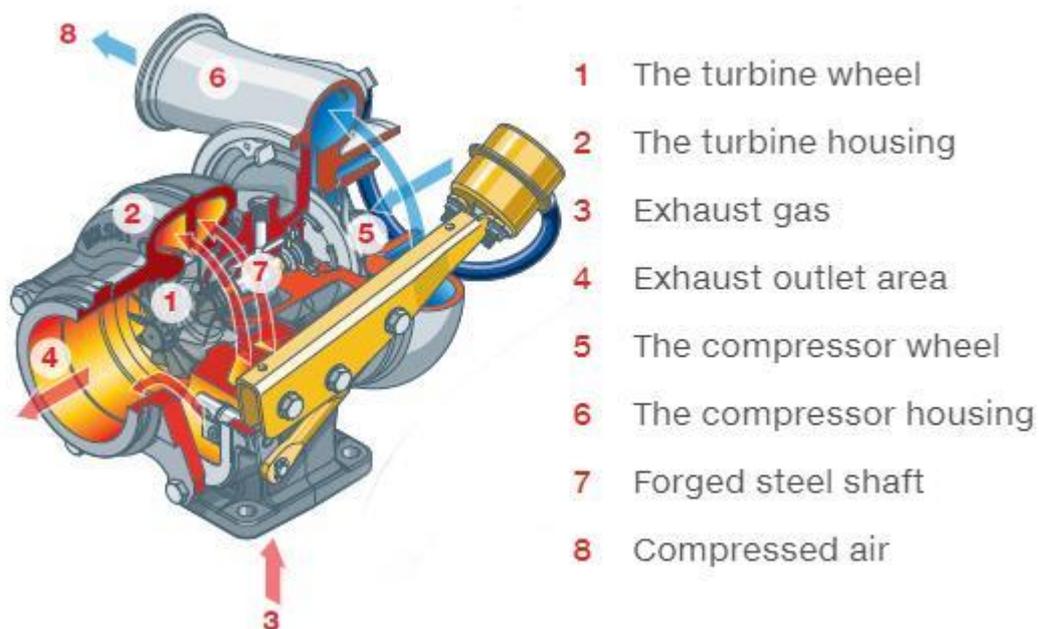
Рисунок 4 – Виды приводных компрессоров: (а) Компрессор прямого размещения (винтовой); (б) Центробежный компрессор; (в) Осевой компрессор.

Динамический компрессор сжимает воздух за счет вращения крыльчатки сжатия. Он разгонит воздух до высокой скорости, а затем выпустит воздух через диффузор, а кинетическая энергия преобразуется в статическое давление. Динамический компрессор бывает центробежного типа и осевого типа; первый обычно имеет более низкий диапазон расхода воздуха и степень давления; он обычно используется в транспортных средствах.

Центробежные компрессоры, называемые нагнетателями, создают давление наддува, ускоряя всасываемый воздух до высокой скорости и преобразовывая его в воздух высокого давления путем диффузии. Эти нагнетатели обычно меньше, но вращаются быстрее. Наддув, который они обеспечивают, является квадратом скорости вращения, а это означает, что они могут производить небольшой наддув только при низких оборотах двигателя. Кроме того, из-за требований высокой скорости центробежный компрессор обычно приводится в действие соединением коленчатого вала с повышающими шестернями, что приводит к большим механическим потерям. Центробежный компрессор часто сочетается с турбиной в качестве турбоагнетателя, использующего энергию выхлопных газов для привода компрессора [18].

Нагнетатели могут обеспечить высокую степень наддува и отличную переходную характеристику; однако они будут стоить мощности двигателя и уменьшат расход топлива автомобиля. Когда двигатель работает на высоких оборотах, внутреннее трение нагнетателей сильно увеличивается, что отрицательно влияет на вращение нагнетателя и создает много шума. Нагнетатели редко используются в двигателях небольшого размера; вместо этого они более востребованы для двигателей с высокой нагрузкой и в аэродинамической области [19].

Из-за низкой эффективности и высокой точности изготовления турбокомпрессоры (рисунок 5) почти монополизировали применение наддува в производстве автомобилей повседневного использования.



- 1 The turbine wheel
- 2 The turbine housing
- 3 Exhaust gas
- 4 Exhaust outlet area
- 5 The compressor wheel
- 6 The compressor housing
- 7 Forged steel shaft
- 8 Compressed air

Рисунок 5 – Структура турбокомпрессора

Турбокомпрессоры могут накачивать больше воздуха в цилиндры за счет превышения давления воздуха.

В отличие от нагнетателей, турбонагнетатели имеют турбину в выпускном коллекторе, которая может увеличить сопротивление выхлопа. Когда двигатель работает, выхлоп из цилиндров раскручивает турбину. Эта турбина соединена с компрессором валом [20].

Компрессор установлен на стороне впуска двигателя, который представляет собой тип центробежного насоса, приводимого в действие крутящим моментом от вала. Чем больше выхлопных газов проходит через лопатку турбины, тем быстрее она вращается и тем выше давление всасываемого воздуха.

Как упоминалось выше, компрессор турбонагнетателя обычно относится к центробежному типу, который меньше, эффективнее и быстрее. Воздух ускоряется компрессорным колесом и поворачивается от осевого к радиальному направлению, что является конструкцией геометрии компрессора. Затем улитка компрессорного колеса уменьшает высокоскоростной поток, превращая его в воздух высокого давления и

плотности. Этот воздух с наддувом будет проходить через промежуточный охладитель перед тем, как попасть в двигатель. Интеркулер снизит температуру воздуха и еще больше повысит плотность воздуха, что поможет увеличить ВМЕР двигателя [21].

Турбины на стороне выхлопа предназначены для сбора энергии из выхлопных газов. Подобно компрессору, турбина часто имеет улитку и колесо. Некоторые важные турбины также имеют сопловые кольца. Когда выхлопной газ с высокой скоростью и температурой проходит через турбину, улитка и колесо будут выпускать газ из радиального в осевое направление. Газ ускоряется, но давление и температура ниже. Если есть сопловое кольцо, это еще больше ускорит газ и изменит угол потока газа, чтобы он был ближе к колесу.

С термодинамической точки зрения турбонагнетатели рециркулируют энергию выхлопных газов (скорость и тепло), что является энергосберегающим, а дополнительная мощность обычно выше, чем у нагнетателей, в зависимости от согласования турбонагнетателя. Потенциально он имеет более низкий BSFC по сравнению с двигателями с наддувом аналогичной мощности и атмосферными двигателями. Нагнетатели приводятся в действие коленчатым валом двигателя, благодаря чему давление на входе в двигатель превышает давление на выходе. Насосная работа является положительной величиной, однако приводной нагнетатель приводит к сжиганию большего количества топлива. Наоборот, турбина с турбонагнетателем увеличивает противодавление в двигателе, и насосные потери в процессе продувки двигателя увеличиваются.

1.4 Охлаждение наддувочного воздуха

Тенденция к увеличению мощности двигателей и уменьшению размеров приводит к увеличению доли двигателей с турбонаддувом для легковых автомобилей. Сегодня двигатели, как правило, заряжаются

охлаждаемым воздухом [22]. Достигаемая таким образом более высокая плотность наддувочного воздуха увеличивает производительность и эффективность двигателя. Однако увеличивается не только доля двигателей с турбонаддувом, но, в связи с постоянными требованиями к снижению расхода и выбросов, также требования к охлаждению наддувочного воздуха. емкость, которая может быть обеспечена за счет охлаждения хладагентом вместо охлаждения воздухом. Из-за стоимости системы эта технология до сих пор использовалась только в сегменте более дорогих легковых автомобилей. Новые разработки также позволяют регулировать охлаждение наддувочного воздуха, что означает, что выбросы углеводородов могут быть уменьшены в дополнение к сокращению выбросов NO, а эффективность окончательной обработки выхлопных газов может быть повышена. Помимо улучшенной холодопроизводительности, к охлаждению наддувочного воздуха предъявляется еще одно требование: регулирование температуры технологического воздуха двигателя путем регулирования охлаждения наддувочного воздуха. Регулирование температуры становится необходимым из-за постоянно растущих требований к окончательной обработке выхлопных газов, когда температура наддувочного воздуха играет важную роль. Таким образом, охлаждение наддувочного воздуха охлаждающей жидкостью дает решающие преимущества даже в грузовых автомобилях [23].

Типы систем охлаждения наддувочного воздуха (рисунок 6):

- с воздушным охлаждением и охлаждающей жидкостью;
- прямые и косвенные.

Задача систем охлаждения наддувочного воздуха: это увеличит мощность двигателя за счет зарядки (больше воздуха для горения, больше кислорода) [24]

Преимущества применения систем охлаждения наддувочного воздуха [25]:

- Повышенная динамическая охлаждающая способность

- Повышенная эффективность двигателя за счет увеличения плотности наддувочного воздуха.
- Пониженная температура сгорания, приводящая к улучшенным показателям выбросов.
- Меньше оксидов азота



Рисунок 6 – Типы систем охлаждения наддувочного воздуха

1.4.1 Основы

Турбонаддув выхлопных газов. Выходная мощность двигателя внутреннего сгорания зависит от количества сожженного топлива. Для полного сгорания 1 кг топлива в бензиновом двигателе требуется 14,7 кг воздуха, так называемое стехиометрическое соотношение. Следовательно, эффективным способом увеличения выходной мощности является турбонаддув двигателей внутреннего сгорания [26].

1.4.2 Требования

Повышенная охлаждающая способность.

В легковых автомобилях растущая потребность в охлаждающей способности соответствует возрастающим ограничениям в отношении места для установки в моторном отсеке. Сегодня компактные охладители наддувочного воздуха по-прежнему доминируют. Решением проблемы небольшой монтажной глубины является увеличение компактного охладителя наддувочного воздуха до плоского охладителя, устанавливаемого

перед охладителем охлаждающей жидкости, что является стандартом для тяжелых коммерческих автомобилей. Соответственно, этот тип конструкции используется все чаще. Однако это невозможно для многих транспортных средств, потому что необходимое пространство для установки уже назначено или недоступно из-за других требований, таких как защита пешеходов. С помощью двух новых систем можно решить конфликт между установочным пространством и требованиями к производительности: предварительное охлаждение наддувочного воздуха и косвенное охлаждение наддувочного воздуха [27].

1.4.3 Прямое охлаждение наддувочного воздуха

Предварительное охлаждение наддувочного воздуха или прямое охлаждение наддувочного воздуха. Благодаря использованию нового предварительного охладителя наддувочного воздуха, охлаждающая жидкость которого подается из контура двигателя, часть отработанного тепла наддувочного воздуха передается от охладителя наддувочного воздуха к охладителю охлаждающей жидкости. Таким образом, дополнительное отходящее тепло наддувочного воздуха, которое образуется в результате повышения производительности, рассеивается через предварительный охладитель, и концепция охладитель наддувочного воздуха блочного типа. Предварительная подача наддувочного воздуха, как и в случае компактного охладителя, расположена между турбоагрегатом и охладителем наддувочного воздуха (рисунок 7). Предварительное охлаждение наддувочного воздуха может значительно повысить эффективность существующей концепции.

Расчетное пространство, необходимое для охладителя наддувочного воздуха охлаждающей жидкости, составляет около 40-60% от пространства, необходимого для охладителя наддувочного воздуха [28].

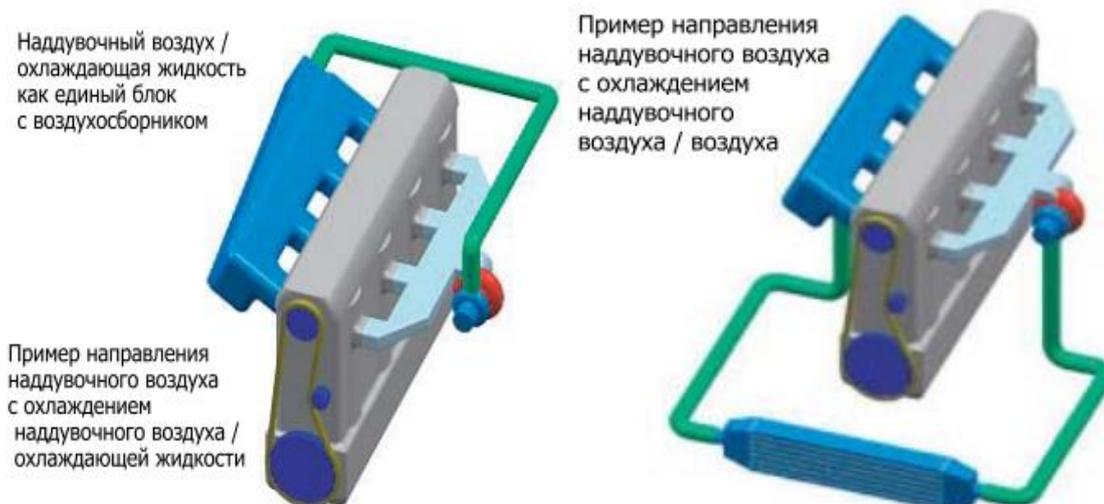


Рисунок 7 – Примерные схемы предварительного охлаждения наддувочного воздуха

1.4.4 Косвенный способ охлаждения наддувочного воздуха

Вторая возможность решить конфликт между установочным пространством и требованиями к производительности — это не прямое охлаждение наддувочного воздуха. В легковых автомобилях эта система охлаждения обычно включает полный контур охлаждающей жидкости, независимый от контура охлаждения двигателя. В схему интегрированы низкотемпературный охладитель охлаждающей жидкости и охладитель наддувочного воздуха охлаждающей жидкости. Отработанное тепло наддувочного воздуха сначала передается охлаждающей жидкости, а затем рассеивается в окружающую среду в низкотемпературном охладителе охлаждающей жидкости, который расположен в передней части автомобиля, где охладитель наддувочного воздуха расположен в случае обычного воздухоохладителя. охлаждение наддувочного воздуха. Поскольку низкотемпературный охладитель требует значительно меньше места, чем сопоставимый охладитель наддувочного воздуха, пространство доступно в передней части. Кроме того, не нужны объемные трубопроводы наддувочного воздуха от передней части автомобиля к двигателю, общая схема представлена на рисунке 8. В целом, упаковка в передней части

значительно упрощена, что соответственно улучшает поток охлаждающего воздуха через моторный отсек [29].



Рисунок 7 – Примерная схема непрямого охлаждения наддувочного воздуха через низкотемпературный охладитель.

Непрямое охлаждение наддувочного воздуха дает следующие положительные эффекты охлаждения по сравнению с предварительным охлаждением наддувочного воздуха (прямое):

- Значительно уменьшенное падение давления наддувочного воздуха.
- Улучшенная динамика двигателя за счет меньшего объема наддувочного воздуха.
- Повышенная динамическая охлаждающая способность
- Повышенная эффективность двигателя за счет большей плотности наддувочного воздуха.

1.4.5 Регулирование температуры охлаждаемого наддувочного воздуха двигателя

После холодного пуска, а также при экстремально низких температурах наружного воздуха во время движения целесообразно прекратить охлаждение наддувочного воздуха. Таким образом, двигатель и каталитический преобразователь быстрее достигают своей оптимальной

рабочей температуры, что снижает «выбросы при холодном запуске», в основном углеводороды (НС). В случае охладителя наддувочного воздуха это возможно с большими затратами только с помощью байпаса на стороне наддувочного воздуха. Однако в случае косвенного охлаждения наддувочного воздуха простое регулирование объемного расхода охлаждающей жидкости позволяет не только останавливать охлаждение наддувочного воздуха, но и регулировать его температуру. Путем объединения контура охлаждающей жидкости для охлаждения наддувочного воздуха с контуром для охлаждения двигателя и интеллектуального регулирования расхода охлаждающей жидкости косвенное охлаждение наддувочного воздуха можно расширить до регулирования температуры наддувочного воздуха. Наддувочный воздух может проходить через горячую охлаждающую жидкость контура двигателя или холодную охлаждающую жидкость низкотемпературного контура, как это показано на рисунке 8.

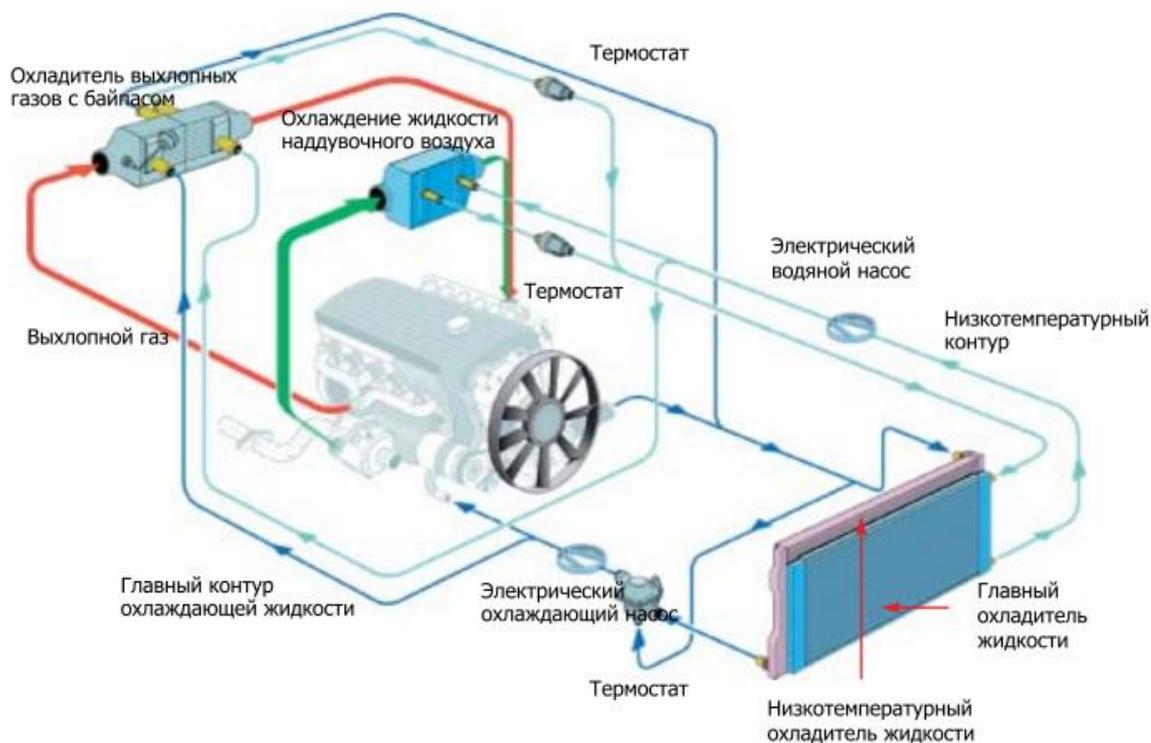


Рисунок 8 – Система регулирования температуры охлаждаемого наддувочного воздуха двигателя

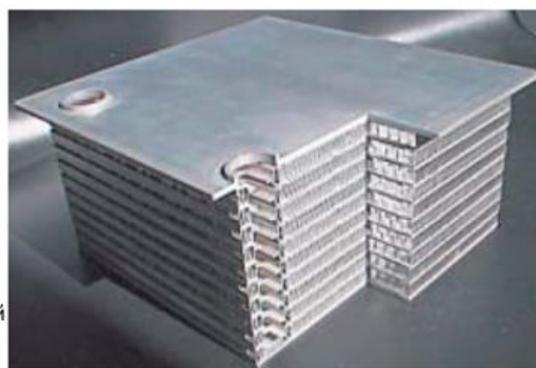
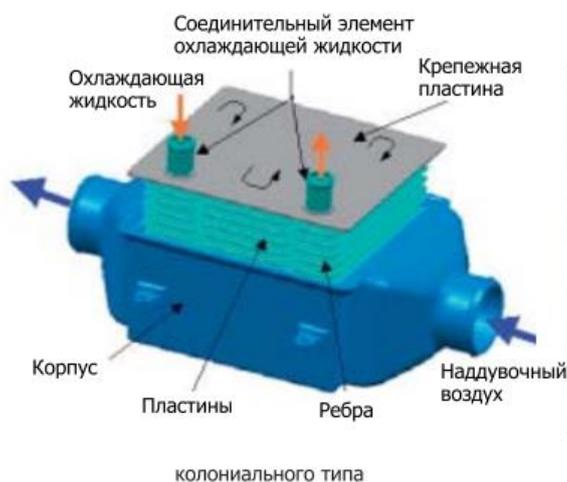
Регулирование температуры наддувочного воздуха важно для окончательной обработки выхлопных газов фильтрами твердых частиц и каталитическими нейтрализаторами, поскольку для оптимальной работы в обоих случаях требуется определенная минимальная температура выхлопных газов. Для каталитического нейтрализатора эта температура совпадает с температурой его зажигания, для сажевого фильтра эта температура является температурой регенерации, необходимой для сжигания внедренной сажи. В режиме частичной нагрузки автомобиля (город, остановка и движение) эта температура выхлопных газов не всегда достигается. В таких случаях выбросы также могут быть уменьшены путем прекращения охлаждения или даже нагревания наддувочного воздуха, поскольку температура выхлопных газов в любом случае повышается этими мерами. Оба варианта проще всего реализовать путем непрямого охлаждения наддувочного воздуха.

1.4.6 Перспективы применения систем охлаждения наддувочного воздуха

Возрастающие требования к охладителям наддувочного воздуха в отношении давления и температуры требуют новой конструкции и новых материалов для матрицы охладителя и воздушных камер. Сегодня в легковых автомобилях наддувочный воздух имеет температуру до 150 ° C и давление 2,2 бара на входе в охладитель. В будущем температура и давление вырастут до 200 ° C и 3 бар соответственно. Для соответствия этим требованиям воздушные камеры изготовлены из термостойкого пластика или охладитель наддувочного воздуха, а воздушные камеры полностью изготовлены из алюминия (рисунок 9).

Еще большие нагрузки ожидаются в грузовых автомобилях. Ожидается, что по сравнению с сегодняшними 200 ° C и 3 барами более низкие предельные значения выбросов EURO-5 приведут к 260 ° C и до 4 бар. Благодаря изменениям в конструкции охладителя наддувочного воздуха уровень натяжения, который регулируется под действием давления, будет снижен, чтобы можно было легко выдерживать более высокие

нагрузки. Благодаря своей компактной конструкции охладитель наддувочного воздуха обладает дополнительным потенциалом повышения устойчивости.



Установка в литом или пластиковом корпусе

а)

б)

Рисунок 9 – Современный дизайн охладителей: (а) изготовлен из термостойкого пластика; (б) изготовлен из алюминия

Выводы по первому разделу

Проведенный обзор современного состояния двигателей с турбонаддувом показал значительные возможности улучшения характеристик двигателя за счет использования современных технологий охлаждения наддувочного воздуха.

Сравнение производительности новых концептов. Повышение производительности, которое достигается за счет новых концепций «предварительного охлаждения наддувочного воздуха» и «непрямого охлаждения наддувочного воздуха», можно увидеть в сравнении с преобладающими компактными охладителями наддувочного воздуха и более мощными охладителями плоского наддувочного воздуха. Значительно улучшено охлаждение наддувочного воздуха. Кроме того, падение давления наддувочного воздуха существенно снижается за счет непрямого охлаждения наддувочного воздуха. Охладители наддувочного воздуха для более высоких требований к стабильности.

2 Тепловой расчет проектируемого двигателя

Основные характеристики двигателя на базе серийного двигателя ВАЗ-11186 с турбонаддувом и системой охлаждения наддувочного воздуха, принятого для расчета приведены в таблице 1, а общий вид его конструкции на рисунке 10.

Таблица 1 – Технические характеристики двигателя

| | |
|---|---------------------------------|
| Тип | 4-тактный с искровым зажиганием |
| Число и расположение цилиндров | 4 – рядно |
| Порядок работы цилиндров | 1-3-4-2 |
| Диаметр цилиндров, мм | 82 |
| Ход поршня, мм | 75,6 |
| Длина шатуна, мм | 132,3 |
| Рабочий объем, л | 1,596 |
| Степень сжатия | 10,3 |
| Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин | 5400 |
| Максимальный частота вращения коленчатого вала, об/мин | 6000 |
| Минимальная частота вращения коленчатого вала при режиме холостого хода, об/мин | 840 |
| Номинальная мощность при частоте вращения коленчатого вала 5400 об/мин, кВт | 87 |
| Максимальный крутящий момент, Нм при 3800 мин ⁻¹ | 140 |

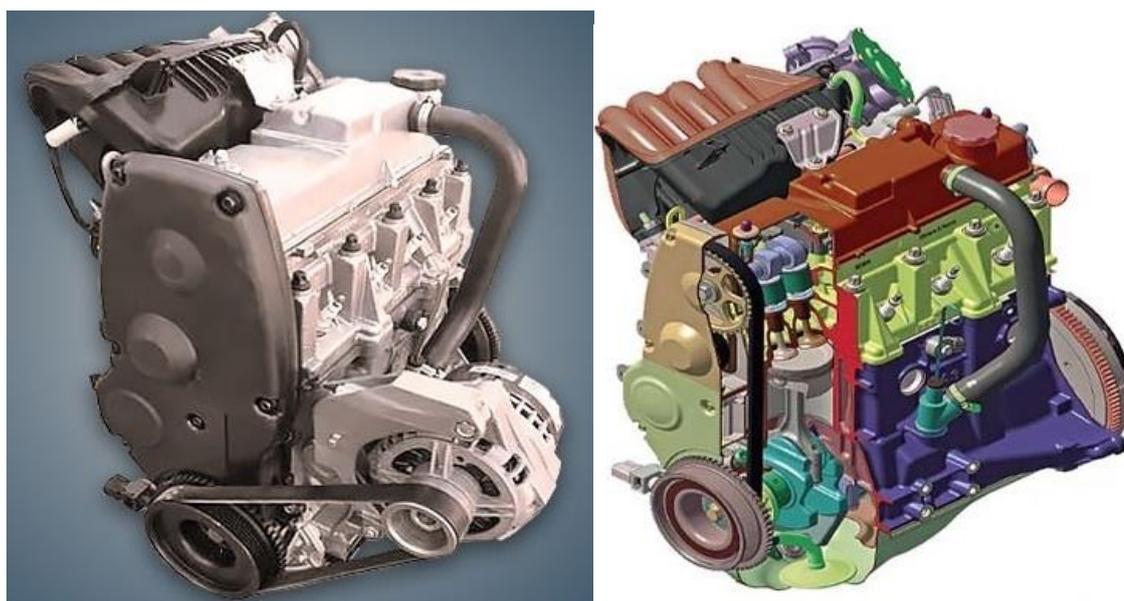


Рисунок 10 – Общий вид двигателя ВАЗ-11186, взятого как базовый для расчета

Тепловой расчет производится по методике И.И. Вибе, для двигателя с турбонаддувом и степенью повышения давления 1,6. При таких параметрах наддува и температуре окружающего воздуха в 20° С, температура воздуха после компрессора составит 72,67° С или 345,82 К. Примем для расчета температуру наддувочного воздуха после охладителя 30° С, 40° С и 50° С, с учетом рекомендаций по расчету основных параметров, предложенных в учебниках [1,2,3,4,5]. Результаты расчета представлены в виде таблиц и графиков.

Так как при изменении скоростного режима при работе на внешней скоростной характеристике максимальный коэффициент избытка воздуха ограничен 1 в связи с требованиями к токсичности отработавших газов, то результаты расчета параметров рабочего тела проводятся (таблица 2) для одного состава смеси, без учета частоты вращения. Анализ результатов расчета процесса впуска приведен в таблице 3.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров рабочего тела

| L ₀ , кмоль возд/кг топл | I ₀ , кг возд/кг топл | M ₁ , кмоль гор.см./кг топл. | M _{CO2} , кмоль CO ₂ /кг топл. | M _{H2O} , кмоль H ₂ O/кг топл. | M _{N2} , кмоль N ₂ /кг топл. | M ₂ , кмоль пр.сг./кг топл. | μ _o |
|---|--|---|---|--|--|--|----------------|
| 0,51683 | 14,957 | 0,52552 | 0,07125 | 0,0725 | 0,409327 | 0,553077 | 1,052432 |

Таблица 3 – Результаты расчета процесса впуска

| n, мин ⁻¹ | Δp _a , Мпа | p _a , Мпа | T _г , К | p _г , Мпа | γ _г | T _a , К | η _v | V _a , м ³ /кг | ω _{вп} , м/с |
|---|--------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Базовый двигатель ВАЗ-11186 | | | | | | | | | |
| 840 | 0,0001 | 0,099898 | 1086,144 | 0,103784 | 0,033258 | 332,3946 | 0,906587 | 0,9123 | 7,97407 |
| 2000 | 0,0006 | 0,0994218 | 1098,289 | 0,105111 | 0,032994 | 330,5162 | 0,91708 | 0,9115 | 18,9859 |
| 3800 | 0,0021 | 0,0979127 | 1126,341 | 0,109316 | 0,033393 | 328,6704 | 0,917241 | 0,9204 | 36,0732 |
| 5400 | 0,0042 | 0,095785 | 1148,466 | 0,115245 | 0,034504 | 327,4972 | 0,917914 | 0,9375 | 51,2618 |
| 6000 | 0,005204 | 0,0947963 | 1162,824 | 0,118 | 0,035739 | 327,8884 | 0,897211 | 0,9484 | 56,9576 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | | | | | |
| 840 | 0,0002 | 0,1598422 | 1087,539 | 0,168275 | 0,033292 | 328,3406 | 0,949089 | 0,5685 | 7,97407 |
| 2000 | 0,0009 | 0,1591054 | 1126,767 | 0,180764 | 0,034574 | 330,6151 | 0,946813 | 0,575 | 18,9859 |
| 3800 | 0,0032 | 0,1567705 | 1230,592 | 0,220344 | 0,03987 | 338,6865 | 0,915389 | 0,5979 | 36,0732 |
| 5400 | 0,0065 | 0,1534785 | 1356,133 | 0,276149 | 0,047354 | 350,7074 | 0,876801 | 0,6323 | 51,2618 |
| 6000 | 0,00805 | 0,1519487 | 1413,46 | 0,30208 | 0,052069 | 357,9297 | 0,838267 | 0,6519 | 56,9576 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | | | | | |
| 840 | 0,0002 | 0,1598472 | 1118,568 | 0,168275 | 0,033464 | 339,1139 | 0,949123 | 0,5874 | 7,97407 |
| 2000 | 0,0009 | 0,159134 | 1152,066 | 0,180764 | 0,035084 | 341,3451 | 0,947005 | 0,5939 | 18,9859 |

Продолжение таблицы 3

| | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|---------|
| 3800 | 0,0031 | 0,1568737 | 1259,999 | 0,220344 | 0,040334 | 349,6656 | 0,916088 | 0,6171 | 36,0732 |
| 5400 | 0,0063 | 0,1536867 | 1392,863 | 0,276149 | 0,047606 | 362,0851 | 0,878242 | 0,6523 | 51,2618 |
| 6000 | 0,00779 | 0,1522058 | 1452,491 | 0,30208 | 0,052193 | 369,542 | 0,840029 | 0,6722 | 56,9576 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | | | | | |
| 840 | 0,0001 | 0,159852 | 1152,344 | 0,168275 | 0,03348 | 349,9362 | 0,949154 | 0,6061 | 7,97407 |
| 2000 | 0,0008 | 0,1591608 | 1191,754 | 0,180764 | 0,034887 | 352,3049 | 0,947185 | 0,6129 | 18,9859 |
| 3800 | 0,003 | 0,1569704 | 1296,969 | 0,220344 | 0,040307 | 360,8049 | 0,916744 | 0,6364 | 36,0732 |
| 5400 | 0,0061 | 0,1538821 | 1434,362 | 0,276149 | 0,047679 | 373,5217 | 0,879595 | 0,6721 | 51,2618 |
| 6000 | 0,00755 | 0,152447 | 1496,956 | 0,30208 | 0,052136 | 381,2177 | 0,841682 | 0,6924 | 56,9576 |

Результата расчета параметров в конце сжатия и начала воспламенения показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета параметров в конце сжатия и начала воспламенения

| n , мин ⁻¹ | μ | n_l | Угол опережения зажигания, ° ПКВ | V_y , м ³ /кг | P_y , МПа | T_y , К |
|---|------------|----------|-------------------------------------|----------------------------|-------------|-----------|
| Базовый двигатель ВАЗ-11186 | | | | | | |
| 840 | 1,0507446 | 1,3758 | 20 | 0,120311 | 1,621605 | 711,5538 |
| 2000 | 1,0507576 | 1,3759 | 24 | 0,133828 | 1,392795 | 679,8204 |
| 3800 | 1,050738 | 1,3761 | 28 | 0,151135 | 1,17632 | 648,4078 |
| 5400 | 1,05068 | 1,3762 | 32 | 0,172401 | 0,984852 | 619,2548 |
| 6000 | 1,050623 | 1,376197 | 35 | 0,189763 | 0,867824 | 600,6222 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | | |
| 840 | 1,050743 | 1,3762 | 18 | 0,071257 | 2,78448 | 716,993 |
| 2000 | 1,05068 | 1,3759 | 22 | 0,079952 | 2,402432 | 694,0965 |
| 3800 | 1,050422 | 1,3752 | 26 | 0,092798 | 2,031761 | 681,3248 |
| 5400 | 1,050062 | 1,374 | 30 | 0,109888 | 1,699401 | 674,8189 |
| 6000 | 1,04983733 | 1,373361 | 32 | 0,11988 | 1,554827 | 673,5519 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | | |
| 840 | 1,0507345 | 1,3752 | 16 | 0,070184 | 2,958163 | 749,844 |
| 2000 | 1,050655 | 1,375 | 20 | 0,078322 | 2,571671 | 727,4646 |
| 3800 | 1,050399 | 1,3741 | 25 | 0,093157 | 2,108283 | 709,341 |
| 5400 | 1,05005 | 1,373 | 27 | 0,104138 | 1,908599 | 717,8548 |
| 6000 | 1,049831 | 1,372281 | 29 | 0,113556 | 1,746922 | 716,4651 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | | |
| 840 | 1,050734 | 1,3741 | 13 | 0,06784 | 3,24031 | 793,9352 |
| 2000 | 1,050665 | 1,3739 | 17 | 0,074977 | 2,853326 | 772,6631 |
| 3800 | 1,0504008 | 1,373 | 22 | 0,088486 | 2,361326 | 754,6428 |
| 5400 | 1,050046 | 1,3719 | 25 | 0,101447 | 2,059493 | 754,5906 |
| 6000 | 1,04983415 | 1,371219 | 27 | 0,110532 | 1,886268 | 753,0178 |

Из таблицы 4 видно снижение угла опережения зажигания, что соответственно способствовало повышению плотности заряда в момент воспламенения, это выражается через удельного снижение объема при

значительном увеличении давления и гораздо менее значительным ростом температуры.

Анализ результатов коэффициентов термодинамического расчета (таблица 5) показал повышение коэффициента использования теплоты в связи со снижением тепловых потерь в стенку цилиндра и систему охлаждения, связанных с сокращением продолжительности сгорания при наддуве.

Таблица 5 – Коэффициенты термодинамического расчета

| n , мин ⁻¹ | ξ | q_z , Дж/кг | E_2 , МПа | φ_z , град, пкв. | m |
|---|-------|---------------|-------------|--------------------------|-----|
| Базовый двигатель ВА3-11186 | | | | | |
| 840 | 0,86 | 2291,4 | 51,741213 | 50 | 3 |
| 2000 | 0,88 | 2345,3 | 53,005139 | 56 | 3 |
| 3800 | 0,9 | 2397,7 | 53,666069 | 62 | 3 |
| 5400 | 0,9 | 2395,1 | 52,631373 | 68 | 3 |
| 6000 | 0,91 | 2418,852 | 52,541294 | 75 | 3 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | |
| 840 | 0,87 | 2318 | 84,001906 | 47 | 2,9 |
| 2000 | 0,89 | 2368,4 | 84,843116 | 53 | 2,9 |
| 3800 | 0,91 | 2409,2 | 83,01469 | 59 | 2,9 |
| 5400 | 0,92 | 2418,3 | 78,781249 | 65 | 2,9 |
| 6000 | 0,93 | 2433,643 | 76,90671 | 71 | 2,9 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | |
| 840 | 0,89 | 2370,9 | 83,148135 | 44 | 2,8 |
| 2000 | 0,90 | 2393,8 | 83,029875 | 50 | 2,8 |
| 3800 | 0,92 | 2434,6 | 81,266295 | 55 | 2,8 |
| 5400 | 0,94 | 2470,3 | 78,010601 | 61 | 2,8 |
| 6000 | 0,95 | 2485,687 | 76,17177 | 66 | 2,8 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | |
| 840 | 0,91 | 2424,1 | 82,388487 | 39 | 2,7 |
| 2000 | 0,93 | 2474 | 83,158298 | 46 | 2,7 |
| 3800 | 0,94 | 2487,6 | 80,521111 | 50 | 2,7 |
| 5400 | 0,96 | 2522,7 | 77,323852 | 56 | 2,7 |
| 6000 | 0,97 | 2538,155 | 75,516893 | 60 | 2,7 |

Анализ результатов расчета процесса расширения и выпуска (таблица б) показал, что с повышением степени температуры наддувочного воздуха происходит повышение температуры конца сгорания при снижении температуры отработавших газов, за счет большего теплоиспользования в процессе расширения и увеличения степени последующего расширения, что приводит к улучшению условий работы трехкомпонентного каталитического

нейтрализатора, так как при повышенных температурах имеется вероятность его перегрева и выхода из окна эффективной работы.

Таблица 6 – Результаты расчета процесса расширения и выпуска

| n , мин ⁻¹ | Vz' , м ³ | Tz' , К | Pz' , МПа | δ | n_2 | P_b , МПа | T_b , К | T_r , К | Δ , % |
|---|------------------------|-------------|-------------|----------|--------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| Базовый двигатель ВАЗ-11186 | | | | | | | | | |
| 840 | 0,1585 | 2722,32 | 4,946722 | 5,754481 | 1,183 | 0,62348 | 1974,473 | 1086,14 | 0,1054 |
| 2000 | 0,1676 | 2724,76 | 4,682779 | 5,43766 | 1,184 | 0,63081 | 1996 | 1098,29 | 0,3004 |
| 3800 | 0,1791 | 2727,17 | 4,387219 | 5,13962 | 1,182 | 0,63311 | 2023 | 1126,34 | 0,1192 |
| 5400 | 0,1929 | 2686,38 | 4,012031 | 4,86028 | 1,183 | 0,61755 | 2010 | 1148,47 | 0,1278 |
| 6000 | 0,2177 | 2637,21 | 3,488909 | 4,35571 | 1,183 | 0,61103 | 2012 | 1162,82 | 0,2434 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | | | | | |
| 840 | 0,096 | 2740,284847 | 8,297383 | 5,9198 | 1,1833 | 1,011368 | 1977,309 | 1087,54 | 0,234 |
| 2000 | 0,1028 | 2744,75 | 7,762642 | 5,59373 | 1,184 | 1,01135 | 2000 | 1126,77 | 0,157 |
| 3800 | 0,1131 | 2750,45 | 7,06901 | 5,28629 | 1,184 | 0,98589 | 2028 | 1230,59 | 0,0481 |
| 5400 | 0,1265 | 2736,24 | 6,283636 | 4,9976 | 1,184 | 0,9361 | 2037,2 | 1356,13 | 0,0836 |
| 6000 | 0,1457 | 2687,17 | 5,359365 | 4,4753 | 1,184 | 0,90962 | 2041 | 1413,46 | 0,2454 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | | | | | |
| 840 | 0,0965 | 2817,98 | 8,498864 | 6,089741 | 1,182 | 1,005122 | 2029,53 | 1118,57 | 0,32 |
| 2000 | 0,1032 | 2797,89 | 7,885661 | 5,75448 | 1,182 | 0,99692 | 2035 | 1152,07 | 0,6172 |
| 3800 | 0,1072 | 2842,27 | 7,707202 | 5,75448 | 1,183 | 0,97463 | 2068 | 1260 | 0,3983 |
| 5400 | 0,1269 | 2811,86 | 6,440711 | 5,13962 | 1,183 | 0,93069 | 2088 | 1392,86 | 0,206 |
| 6000 | 0,1422 | 2778,44 | 5,679294 | 4,7275 | 1,183 | 0,90553 | 2094 | 1452,49 | 0,1718 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | | | | | |
| 840 | 0,0941 | 2922,79 | 9,037355 | 6,442462 | 1,182 | 1,002653 | 2089,099 | 1152,34 | 0,2038 |
| 2000 | 0,1035 | 2904,74 | 8,161535 | 5,91985 | 1,182 | 1,00058 | 2108 | 1191,75 | 0,316 |
| 3800 | 0,1045 | 2944,28 | 8,193142 | 6,08974 | 1,182 | 0,97197 | 2127 | 1296,97 | 0,1521 |
| 5400 | 0,1201 | 2929,5 | 7,088419 | 5,59373 | 1,182 | 0,93003 | 2150 | 1434,36 | 0,305 |
| 6000 | 0,131 | 2912,45 | 6,463235 | 5,28629 | 1,182 | 0,90639 | 2159 | 1496,96 | 0,1308 |

Анализ результатов расчета индикаторных показателей рабочего цикла (таблица 7) показал, значительное улучшение мощностных показателей с применением наддува, при этом снижение мощности при увеличении температуры наддувочного воздуха на каждые 10° С, составило 1,5 – 2%. Также следует отметить рост среднего индикаторного давления при увеличении степени сжатия при снижении температуры наддувочного воздуха.

Анализ результатов расчета эффективных показателей рабочего цикла (таблица 8) показал, что все эффекты, которые мы наблюдали у индикаторных показателей при снижении температуры наддувочного

воздуха, также присутствуют и у эффективных показателей работы двигателя.

Таблица 7 – Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла

| n , мин ⁻¹ | L_i , кДж | P_i , Мпа | N_i , кВт | η_i | g_i , г/кВт ч |
|---|-------------|-------------|-------------|----------|-----------------|
| Базовый двигатель ВАЗ-11186 | | | | | |
| 840 | 1,2540817 | 1,522446 | 17,01921 | 0,489629 | 167,3704 |
| 2000 | 1,2740001 | 1,548002 | 41,20213 | 0,492152 | 166,5124 |
| 3800 | 1,2899348 | 1,552243 | 78,49849 | 0,493414 | 166,0867 |
| 5400 | 1,2764712 | 1,508045 | 108,3742 | 0,479013 | 171,08 |
| 6000 | 1,2659358 | 1,478394 | 118,0483 | 0,480431 | 170,5751 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | |
| 840 | 1,316167 | 2,562829 | 28,6495 | 0,508856 | 161,0464 |
| 2000 | 1,3039522 | 2,511046 | 66,83482 | 0,499773 | 163,9733 |
| 3800 | 1,286544 | 2,38409 | 120,5659 | 0,490795 | 166,973 |
| 5400 | 1,2685943 | 2,223003 | 159,7541 | 0,477773 | 171,5238 |
| 6000 | 1,2402135 | 2,108628 | 168,3718 | 0,474024 | 172,8805 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | |
| 840 | 1,32173 | 2,491406 | 27,85107 | 0,510975 | 160,3787 |
| 2000 | 1,3065846 | 2,436183 | 64,84224 | 0,500766 | 163,6481 |
| 3800 | 1,2991929 | 2,332607 | 117,9623 | 0,495658 | 165,3348 |
| 5400 | 1,2854043 | 2,184579 | 156,9928 | 0,484207 | 169,2448 |
| 6000 | 1,2448555 | 2,05383 | 163,9962 | 0,475935 | 172,1863 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | |
| 840 | 1,327708 | 2,426734 | 27,12812 | 0,513588 | 159,5627 |
| 2000 | 1,310465 | 2,369383 | 63,06426 | 0,502493 | 163,0859 |
| 3800 | 1,3117654 | 2,285262 | 115,568 | 0,500745 | 163,655 |
| 5400 | 1,2863489 | 2,123312 | 152,5898 | 0,484909 | 168,9996 |
| 6000 | 1,2998197 | 2,083883 | 166,3959 | 0,497342 | 164,7751 |

Таблица 8 – Результаты расчета эффективных показателей рабочего цикла

| n , мин ⁻¹ | $V_{п.ср}$, м/с | p_m , Мпа | p_e , Мпа | η_m | η_e | g_e , г/(кВт.ч) | N_e , кВт | M_e , Н.м | G_t , кг/ч |
|---|------------------|-------------|-------------|----------|----------|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| Базовый двигатель ВАЗ-11186 | | | | | | | | | |
| 840 | 2,1168 | 0,0579 | 1,4645 | 0,96196 | 0,471 | 173,98967 | 16,3717 | 186,1173 | 2,84851 |
| 2000 | 5,04 | 0,091 | 1,4571 | 0,94125 | 0,46324 | 176,90648 | 38,7813 | 185,1672 | 6,86067 |
| 3800 | 9,576 | 0,1422 | 1,41 | 0,90838 | 0,44821 | 182,83741 | 71,3068 | 179,1922 | 13,0376 |
| 5400 | 13,608 | 0,1878 | 1,3203 | 0,87549 | 0,41937 | 195,41111 | 94,8803 | 167,7852 | 18,5407 |
| 6000 | 15,12 | 0,2049 | 1,2735 | 0,86143 | 0,41386 | 198,01308 | 101,691 | 161,8458 | 20,1361 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | | | | | |
| 840 | 2,1168 | 0,0579 | 2,5049 | 0,9774 | 0,49736 | 164,77017 | 28,002 | 318,3328 | 4,6139 |
| 2000 | 5,04 | 0,091 | 2,4201 | 0,96378 | 0,48167 | 170,13572 | 64,414 | 307,5543 | 10,9591 |
| 3800 | 9,576 | 0,1422 | 2,2419 | 0,94035 | 0,46152 | 177,5646 | 113,374 | 284,9064 | 20,1313 |
| 5400 | 13,608 | 0,1878 | 2,0352 | 0,91553 | 0,42791 | 187,34854 | 146,26 | 258,6447 | 27,4016 |
| 6000 | 15,12 | 0,2049 | 1,9038 | 0,90285 | 0,42797 | 191,48333 | 152,014 | 241,9382 | 29,1082 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | | | | | |
| 840 | 2,1168 | 0,114 | 2,3774 | 0,95425 | 0,4876 | 168,0675 | 26,5769 | 302,132 | 4,46672 |
| 2000 | 5,04 | 0,1485 | 2,2877 | 0,93906 | 0,47025 | 174,26884 | 60,8905 | 290,7305 | 10,6113 |
| 3800 | 9,576 | 0,202 | 2,1306 | 0,9134 | 0,45274 | 181,00971 | 107,747 | 270,7657 | 19,5033 |
| 5400 | 13,608 | 0,2496 | 1,935 | 0,88576 | 0,42889 | 191,07376 | 139,057 | 245,9073 | 26,5702 |

Продолжение таблицы 8

| | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|---------|---------|-----------|---------|----------|---------|
| 6000 | 15,12 | 0,2674 | 1,7864 | 0,8698 | 0,41397 | 197,96157 | 142,643 | 227,0239 | 28,2379 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | | | | | |
| 840 | 2,1168 | 0,114 | 2,3128 | 0,95303 | 0,48947 | 167,42635 | 25,854 | 293,9134 | 4,32864 |
| 2000 | 5,04 | 0,1485 | 2,2209 | 0,93734 | 0,47101 | 173,9885 | 59,1125 | 282,2413 | 10,2849 |
| 3800 | 9,576 | 0,202 | 2,0833 | 0,91161 | 0,45648 | 179,52327 | 105,353 | 264,7488 | 18,9133 |
| 5400 | 13,608 | 0,2496 | 1,8737 | 0,88246 | 0,42791 | 191,50972 | 134,654 | 238,1213 | 25,7876 |
| 6000 | 15,12 | 0,2674 | 1,8165 | 0,87167 | 0,43352 | 189,03287 | 145,043 | 230,8432 | 27,4179 |

Анализ результатов расчета теплового баланса (таблица 9) показал, снижение тепловых потерь с в систему охлаждения примерно на 1 – 2 % на при наддуве за счет повышения энергоемкости заряда и наличие инерционности тепловых потоков в стенке камеры сгорания.

Таблица 9 – Результаты расчета теплового баланса

| п, мин ⁻¹ | Q ₀ , Дж/с | Q _e , Дж/с | q _e , % | Q _b , Дж/с | q _b , % | Q _г , Дж/с | q _г , % | Q _{ост} , Дж/с | q _{ост} , % |
|---|--------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------|
| Базовый двигатель ВАЗ-11186 | | | | | | | | | |
| 840 | 34759 | 16372 | 47,1 | 6399,42 | 18,4106 | 11323,46 | 32,5767 | 664,753 | 1,91244 |
| 2000 | 83718 | 38781 | 46,324 | 16028,9 | 19,1463 | 27652,092 | 33,0299 | 1255,913 | 1,50017 |
| 3800 | 159093 | 71307 | 44,821 | 29792,4 | 18,7265 | 54721,464 | 34,396 | 3271,89 | 2,05659 |
| 5400 | 226245 | 94880 | 41,937 | 45505 | 20,1132 | 80099,3 | 35,4038 | 5760,414 | 2,5461 |
| 6000 | 245713 | 101691 | 41,386 | 49091,3 | 19,9791 | 88461,042 | 36,0017 | 6470,371 | 2,6333 |
| Двигатель с наддувом и температурой 30° С | | | | | | | | | |
| 840 | 56302 | 28002 | 49,736 | 8733,31 | 15,5116 | 18852,2 | 33,4842 | 1,268518 | 1,26852 |
| 2000 | 133730 | 64414 | 48,167 | 22257,6 | 16,6436 | 46303,525 | 34,6246 | 0,564678 | 0,56468 |
| 3800 | 245654 | 113374 | 46,152 | 29792,4 | 12,1278 | 95275,91 | 38,7845 | 2,935755 | 2,93575 |
| 5400 | 334372 | 146260 | 43,742 | 32126,2 | 9,60791 | 148676,58 | 44,4644 | 2,185961 | 2,18596 |
| 6000 | 355197 | 152014 | 42,797 | 34585,1 | 9,73689 | 166501,91 | 46,876 | 0,589958 | 0,58996 |
| Двигатель с наддувом и температурой 40° С | | | | | | | | | |
| 840 | 54506 | 26577 | 48,76 | 10202,3 | 18,7178 | 17043,435 | 31,2691 | 683,0815 | 1,25323 |
| 2000 | 129486 | 60890 | 47,025 | 26227,9 | 20,2554 | 41837,635 | 32,3106 | 529,9587 | 0,40928 |
| 3800 | 237991 | 107747 | 45,274 | 41903,9 | 17,6073 | 85937,876 | 36,1096 | 2402,603 | 1,00953 |
| 5400 | 324227 | 139057 | 42,889 | 45505 | 14,0349 | 133893,38 | 41,2962 | 5770,902 | 1,7799 |
| 6000 | 344577 | 142643 | 41,397 | 49091,3 | 14,2468 | 149884,61 | 43,4982 | 2957,568 | 0,85832 |
| Двигатель с наддувом и температурой 50° С | | | | | | | | | |
| 840 | 52821 | 25854 | 48,947 | 8733,31 | 16,5338 | 16846,257 | 31,8932 | 1387,244 | 2,62632 |
| 2000 | 125503 | 59112 | 47,101 | 22257,6 | 17,7347 | 41601,758 | 33,1481 | 2531,034 | 2,01672 |
| 3800 | 230792 | 105353 | 45,648 | 35333 | 15,3094 | 85311,006 | 36,9645 | 4795,191 | 2,07771 |
| 5400 | 314677 | 134654 | 42,791 | 38234,8 | 12,1505 | 132712,31 | 42,1741 | 9075,561 | 2,88409 |
| 6000 | 334571 | 145043 | 43,352 | 34585,1 | 10,3372 | 148501,5 | 44,3857 | 6441,107 | 1,92519 |

Приведем основные термодинамические параметры работы двигателя по результатам теплового расчета в таблице 10, 11, 12 и 13 для частот вращения 840, 2000, 3800 и 5400 мин⁻¹, соответственно.

Таблица 10 – Основные термодинамические параметры работы двигателя при частоте вращения 840 мин⁻¹.

| Угол ПКВ, град. | Объем цилиндра | P _i , базовый | P _i , с наддувом (30° C) | P _i , с наддувом (40° C) | P _i , с наддувом (50° C) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 230 | 0,387807 | 0,119657943 | 0,191469204 | 0,191409937 | 0,191430666 |
| 231 | 0,385619 | 0,120592729 | 0,192965428 | 0,192902861 | 0,192924407 |
| 232 | 0,38339 | 0,121558344 | 0,194511 | 0,194445 | 0,194467395 |
| 233 | 0,38112 | 0,122555697 | 0,196107375 | 0,196037806 | 0,196061083 |
| 234 | 0,378808 | 0,123585736 | 0,197756072 | 0,197682791 | 0,197706985 |
| 235 | 0,376456 | 0,12464945 | 0,199458673 | 0,199381533 | 0,19940668 |
| 236 | 0,374063 | 0,12574787 | 0,201216831 | 0,201135675 | 0,201161813 |
| 237 | 0,371629 | 0,126882071 | 0,203032266 | 0,202946934 | 0,202974102 |
| 238 | 0,369155 | 0,128053176 | 0,204906775 | 0,204817098 | 0,204845338 |
| 239 | 0,366642 | 0,129262354 | 0,20684223 | 0,206748034 | 0,206777387 |
| 240 | 0,364089 | 0,130510826 | 0,208840586 | 0,208741688 | 0,208772199 |
| 241 | 0,361497 | 0,131799866 | 0,210903882 | 0,210800091 | 0,210831807 |
| 242 | 0,358867 | 0,133130803 | 0,213034246 | 0,212925364 | 0,212958333 |
| 243 | 0,356198 | 0,134505023 | 0,215233899 | 0,215119717 | 0,215153989 |
| 244 | 0,353491 | 0,135923975 | 0,217505159 | 0,21738546 | 0,217421089 |
| 245 | 0,350747 | 0,13738917 | 0,219850446 | 0,219725004 | 0,219762044 |
| 246 | 0,347965 | 0,138902188 | 0,222272287 | 0,222140866 | 0,222179374 |
| 247 | 0,345147 | 0,140464676 | 0,224773323 | 0,224635673 | 0,22467571 |
| 248 | 0,342293 | 0,142078356 | 0,22735631 | 0,227212173 | 0,227253801 |
| 249 | 0,339404 | 0,143745029 | 0,230024129 | 0,229873234 | 0,229916519 |
| 250 | 0,336479 | 0,145466574 | 0,23277979 | 0,232621854 | 0,232666865 |
| 251 | 0,33352 | 0,147244956 | 0,235626441 | 0,235461165 | 0,235507974 |
| 252 | 0,330528 | 0,14908223 | 0,23856737 | 0,238394445 | 0,238443126 |
| 253 | 0,327502 | 0,150980544 | 0,241606018 | 0,241425117 | 0,241475749 |
| 254 | 0,324443 | 0,152942146 | 0,244745982 | 0,244556764 | 0,24460943 |
| 255 | 0,321352 | 0,154969387 | 0,247991027 | 0,247793133 | 0,24784792 |
| 256 | 0,31823 | 0,157064725 | 0,251345092 | 0,251138147 | 0,251195144 |
| 257 | 0,315078 | 0,159230737 | 0,254812298 | 0,254595908 | 0,254655211 |
| 258 | 0,311895 | 0,161470117 | 0,258396962 | 0,258170713 | 0,258232422 |
| 259 | 0,308684 | 0,163785689 | 0,262103604 | 0,261867062 | 0,261931282 |
| 260 | 0,305444 | 0,166180408 | 0,265936957 | 0,265689667 | 0,265756506 |
| 261 | 0,302177 | 0,168657372 | 0,269901981 | 0,269643464 | 0,269713038 |
| 262 | 0,298882 | 0,171219828 | 0,274003874 | 0,273733627 | 0,273806058 |
| 263 | 0,295563 | 0,173871179 | 0,278248085 | 0,27796558 | 0,278040993 |
| 264 | 0,292218 | 0,176614991 | 0,282640327 | 0,282345007 | 0,282423537 |
| 265 | 0,288849 | 0,179455008 | 0,287186592 | 0,286877872 | 0,28695966 |
| 266 | 0,285457 | 0,182395154 | 0,291893165 | 0,291570431 | 0,291655624 |
| 267 | 0,282042 | 0,18543955 | 0,296766644 | 0,296429248 | 0,296518001 |
| 268 | 0,278607 | 0,18859252 | 0,301813952 | 0,301461211 | 0,301553688 |
| 269 | 0,275151 | 0,191858602 | 0,307042359 | 0,306673556 | 0,306769929 |
| 270 | 0,271677 | 0,195242566 | 0,312459499 | 0,312073877 | 0,312174328 |
| 271 | 0,268184 | 0,198749419 | 0,318073393 | 0,317670154 | 0,317774873 |
| 272 | 0,264674 | 0,202384425 | 0,323892468 | 0,323470772 | 0,323579961 |
| 273 | 0,261148 | 0,206153114 | 0,329925582 | 0,329484541 | 0,329598413 |
| 274 | 0,257607 | 0,210061302 | 0,336182047 | 0,335720726 | 0,335839504 |
| 275 | 0,254052 | 0,214115105 | 0,342671656 | 0,342189068 | 0,342312988 |
| 276 | 0,250485 | 0,218320955 | 0,34940471 | 0,348899813 | 0,349029124 |
| 277 | 0,246907 | 0,222685619 | 0,356392048 | 0,355863741 | 0,355998706 |
| 278 | 0,243318 | 0,227216222 | 0,363645076 | 0,363092195 | 0,363233093 |

Продолжение таблицы 10

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 279 | 0,239721 | 0,231920261 | 0,371175801 | 0,370597118 | 0,370744242 |
| 280 | 0,236116 | 0,236805629 | 0,378996866 | 0,378391081 | 0,378544741 |
| 281 | 0,232504 | 0,241880643 | 0,387121585 | 0,386487325 | 0,386647848 |
| 282 | 0,228888 | 0,247154058 | 0,395563985 | 0,394899796 | 0,395067529 |
| 283 | 0,225267 | 0,252635104 | 0,404338843 | 0,403643186 | 0,403818496 |
| 284 | 0,221644 | 0,258333505 | 0,413461732 | 0,41273298 | 0,412916255 |
| 285 | 0,21802 | 0,264259509 | 0,422949068 | 0,422185497 | 0,422377148 |
| 286 | 0,214396 | 0,270423924 | 0,432818156 | 0,432017941 | 0,432218401 |
| 287 | 0,210774 | 0,276838143 | 0,443087244 | 0,442248448 | 0,442458179 |
| 288 | 0,207154 | 0,28351418 | 0,453775573 | 0,452896147 | 0,453115637 |
| 289 | 0,203539 | 0,290464708 | 0,46490344 | 0,463981208 | 0,464210974 |
| 290 | 0,19993 | 0,297703093 | 0,476492251 | 0,475524908 | 0,475765498 |
| 291 | 0,196327 | 0,305243436 | 0,48856459 | 0,487549691 | 0,487801686 |
| 292 | 0,192734 | 0,313100612 | 0,501144283 | 0,500079231 | 0,500343248 |
| 293 | 0,18915 | 0,321290316 | 0,514256465 | 0,513138504 | 0,513415198 |
| 294 | 0,185578 | 0,329829105 | 0,527927655 | 0,526753862 | 0,527043926 |
| 295 | 0,182018 | 0,338734448 | 0,542185832 | 0,540953099 | 0,541257271 |
| 296 | 0,178473 | 0,348024771 | 0,557060512 | 0,555765538 | 0,556084601 |
| 297 | 0,174944 | 0,357719514 | 0,572582826 | 0,571222106 | 0,571556892 |
| 298 | 0,171433 | 0,367839176 | 0,588785613 | 0,587355419 | 0,587706811 |
| 299 | 0,167939 | 0,378405374 | 0,605703497 | 0,604199868 | 0,604568805 |
| 300 | 0,164467 | 0,389440898 | 0,623372979 | 0,621791705 | 0,622179184 |
| 301 | 0,161016 | 0,400969764 | 0,641832528 | 0,640169131 | 0,640576213 |
| 302 | 0,157588 | 0,413017271 | 0,661122671 | 0,659372389 | 0,659800201 |
| 303 | 0,154185 | 0,425610062 | 0,681286082 | 0,679443849 | 0,67989359 |
| 304 | 0,150808 | 0,438776173 | 0,702367671 | 0,700428102 | 0,700901046 |
| 305 | 0,147458 | 0,452545094 | 0,724414675 | 0,722372039 | 0,722869542 |
| 306 | 0,144138 | 0,466947815 | 0,74747674 | 0,745324942 | 0,745848444 |
| 307 | 0,140848 | 0,482016881 | 0,771605996 | 0,769338553 | 0,769889586 |
| 308 | 0,137591 | 0,49778643 | 0,796857131 | 0,794467148 | 0,795047342 |
| 309 | 0,134367 | 0,514292234 | 0,823287452 | 0,820767594 | 0,821378681 |
| 310 | 0,131177 | 0,531571727 | 0,850956925 | 0,848299395 | 0,848943216 |
| 311 | 0,128024 | 0,549664024 | 0,879928211 | 0,87712472 | 0,877803232 |
| 312 | 0,124909 | 0,568609922 | 0,910266672 | 0,907308411 | 0,908023691 |
| 313 | 0,121833 | 0,588451895 | 0,942040351 | 0,93891796 | 0,939672218 |
| 314 | 0,118798 | 0,609234056 | 0,97531992 | 0,972023463 | 0,97281904 |
| 315 | 0,115805 | 0,631002103 | 1,010178596 | 1,006697524 | 1,007536908 |
| 316 | 0,112855 | 0,653803234 | 1,046691994 | 1,043015121 | 1,043900949 |
| 317 | 0,10995 | 0,677686026 | 1,084937945 | 1,081053415 | 1,081988478 |
| 318 | 0,107091 | 0,702700271 | 1,124996229 | 1,120891485 | 1,121878742 |
| 319 | 0,104279 | 0,728896771 | 1,16694824 | 1,162610001 | 1,163652578 |
| 320 | 0,101516 | 0,756327063 | 1,210876561 | 1,20629079 | 1,207391992 |
| 321 | 0,098803 | 0,785043093 | 1,256864428 | 1,252016314 | 1,253179625 |
| 322 | 0,096142 | 0,815096808 | 1,30499508 | 1,299869014 | 1,301098106 |
| 323 | 0,093532 | 0,846539655 | 1,355350962 | 1,349930526 | 1,351229259 |
| 324 | 0,090977 | 0,879421995 | 1,40801278 | 1,402280736 | 1,403653163 |
| 325 | 0,088477 | 0,913792394 | 1,463058371 | 1,456996661 | 1,458447026 |
| 326 | 0,086032 | 0,9496968 | 1,52056138 | 1,514151134 | 1,515683869 |
| 327 | 0,083646 | 0,987177576 | 1,580589711 | 1,573811268 | 1,575430991 |
| 328 | 0,081317 | 1,026272386 | 1,643203748 | 1,636036686 | 1,637748193 |
| 329 | 0,079048 | 1,067012918 | 1,708454302 | 1,700877494 | 1,702685742 |
| 330 | 0,07684 | 1,109423435 | 1,776380294 | 1,768371969 | 1,770282066 |
| 331 | 0,074694 | 1,153519141 | 1,847006137 | 1,838543975 | 1,840561156 |

Продолжение таблицы 10

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 332 | 0,07261 | 1,199304365 | 1,920338826 | 1,911400069 | 1,913529669 |
| 333 | 0,07059 | 1,246770555 | 1,996364721 | 1,986926318 | 1,989173741 |
| 334 | 0,068634 | 1,295894096 | 2,075046058 | 2,065084835 | 2,067455509 |
| 335 | 0,066745 | 1,346633964 | 2,15631718 | 2,145810052 | 2,148309383 |
| 336 | 0,064922 | 1,39892924 | 2,240080565 | 2,229004776 | 2,231638089 |
| 337 | 0,063166 | 1,45269653 | 2,326202682 | 2,314536091 | 2,317308567 |
| 338 | 0,061479 | 1,507827343 | 2,414509792 | 2,402231198 | 2,405147792 |
| 339 | 0,05986 | 1,564185487 | 2,50478378 | 2,491873289 | 2,494938649 |
| 340 | 0,058312 | 1,621604597 | 2,596758187 | 2,583197619 | 2,586415988 |
| 341 | 0,056835 | 1,679601883 | 2,690114601 | 2,675887938 | 2,679263049 |
| 342 | 0,055428 | 1,738578999 | 2,784479623 | 2,769573492 | 2,773108456 |
| 343 | 0,054094 | 1,798796364 | 2,878947086 | 2,863826824 | 2,867524008 |
| 344 | 0,052833 | 1,86072689 | 2,974340786 | 2,958162629 | 2,962023535 |
| 345 | 0,051644 | 1,925072855 | 3,071301283 | 3,051512203 | 3,05606308 |
| 346 | 0,05053 | 1,992777018 | 3,170960221 | 3,144934953 | 3,149042671 |
| 347 | 0,04949 | 2,065024941 | 3,274971636 | 3,23931696 | 3,240309957 |
| 348 | 0,048526 | 2,143235251 | 3,385525935 | 3,33619094 | 3,328511076 |
| 349 | 0,047636 | 2,229034694 | 3,505338752 | 3,437766094 | 3,415505993 |
| 350 | 0,046823 | 2,324215486 | 3,637606731 | 3,54692978 | 3,503019183 |
| 351 | 0,046085 | 2,430673677 | 3,785923533 | 3,667209834 | 3,593838378 |
| 352 | 0,045425 | 2,550328969 | 3,954152171 | 3,80268703 | 3,691822749 |
| 353 | 0,044841 | 2,68502835 | 4,146254092 | 3,957850121 | 3,801846269 |
| 354 | 0,044335 | 2,836437696 | 4,366080576 | 4,137391445 | 3,92965538 |
| 355 | 0,043906 | 3,005926811 | 4,617136753 | 4,34594853 | 4,081625105 |
| 356 | 0,043555 | 3,194453971 | 4,902331845 | 4,587804796 | 4,264409034 |
| 357 | 0,043281 | 3,402456081 | 5,223730254 | 4,866568303 | 4,484494817 |
| 358 | 0,043086 | 3,629750226 | 5,582317371 | 5,184849811 | 4,747693701 |
| 359 | 0,042969 | 3,875452124 | 5,977792382 | 5,543960383 | 5,058604214 |
| 360 | 0,04293 | 4,137916878 | 6,408399234 | 5,943645911 | 5,420092489 |
| 361 | 0,042969 | 4,414707485 | 6,870806854 | 6,38187365 | 5,83282624 |
| 362 | 0,043086 | 4,702596541 | 7,36005059 | 6,854685544 | 6,294892206 |
| 363 | 0,043281 | 4,997606085 | 7,86954747 | 7,356134483 | 6,801524013 |
| 364 | 0,043555 | 5,295089297 | 8,391197354 | 7,878321161 | 7,344970792 |
| 365 | 0,043906 | 5,589855682 | 8,915579125 | 8,411548487 | 7,914542471 |
| 366 | 0,044335 | 5,87633836 | 9,432245562 | 8,944606051 | 8,496869019 |
| 367 | 0,044841 | 6,148798457 | 9,930112504 | 9,465188105 | 9,076402102 |
| 368 | 0,045425 | 6,401557678 | 10,39792808 | 9,960435397 | 9,636166282 |
| 369 | 0,046085 | 6,629246418 | 10,82479747 | 10,41757547 | 10,15873434 |
| 370 | 0,046823 | 6,827051712 | 11,20072918 | 10,82462002 | 10,62736238 |
| 371 | 0,047636 | 6,990947503 | 11,51716172 | 11,17106402 | 11,02718231 |
| 372 | 0,048526 | 7,117889435 | 11,7674263 | 11,44852302 | 11,34632101 |
| 373 | 0,04949 | 7,205957984 | 11,94710315 | 11,65124352 | 11,57680479 |
| 374 | 0,05053 | 7,254437206 | 12,05423579 | 11,77642959 | 11,71512153 |
| 375 | 0,051644 | 7,263821504 | 12,08938006 | 11,82434564 | 11,76235191 |
| 376 | 0,052833 | 7,235749172 | 12,0554809 | 11,79817997 | 11,72384201 |
| 377 | 0,054094 | 7,172868265 | 11,95758803 | 11,70368229 | 11,60846151 |
| 378 | 0,055428 | 7,078646839 | 11,80243929 | 11,54861714 | 11,42755893 |
| 379 | 0,056835 | 6,957144816 | 11,59795477 | 11,34209805 | 11,19377329 |
| 380 | 0,058312 | 6,812768003 | 11,35269371 | 11,09388041 | 10,91987651 |
| 381 | 0,05986 | 6,650025573 | 11,07532737 | 10,8136923 | 10,61780037 |
| 382 | 0,061479 | 6,473310536 | 10,77417546 | 10,51066997 | 10,29795098 |
| 383 | 0,063166 | 6,286718658 | 10,45684158 | 10,19294387 | 9,968847823 |
| 384 | 0,064922 | 6,093915669 | 10,12996693 | 9,867393522 | 9,637060831 |

Продолжение таблицы 10

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 385 | 0,066745 | 5,89805626 | 9,799104818 | 9,539564019 | 9,307373199 |
| 386 | 0,068634 | 5,701752439 | 9,468703543 | 9,21371563 | 8,983077611 |
| 387 | 0,07059 | 5,507083967 | 9,142174434 | 8,89296642 | 8,690066529 |
| 388 | 0,07261 | 5,315640565 | 8,822016914 | 8,579485035 | 8,40538134 |
| 389 | 0,074694 | 5,128584434 | 8,509972372 | 8,297476308 | 8,129259594 |
| 390 | 0,07684 | 4,946722203 | 8,229615992 | 8,024374539 | 7,861853467 |
| 391 | 0,079048 | 4,783594917 | 7,958492835 | 7,76025871 | 7,603240644 |
| 392 | 0,081317 | 4,626036048 | 7,69661591 | 7,505142067 | 7,353434456 |
| 393 | 0,083646 | 4,474018341 | 7,443940544 | 7,258981671 | 7,112393222 |
| 394 | 0,086032 | 4,327485215 | 7,200373317 | 7,021687098 | 6,880028761 |
| 395 | 0,088477 | 4,186355619 | 6,965780132 | 6,793128285 | 6,656214078 |
| 396 | 0,090977 | 4,050528382 | 6,739993437 | 6,573142566 | 6,440790244 |
| 397 | 0,093532 | 3,919886068 | 6,522818627 | 6,361540904 | 6,233572495 |
| 398 | 0,096142 | 3,794298377 | 6,31403969 | 6,158113385 | 6,034355613 |
| 399 | 0,098803 | 3,673625109 | 6,11342414 | 5,96263402 | 5,842918626 |
| 400 | 0,101516 | 3,557718747 | 5,920727294 | 5,774864917 | 5,659028888 |
| 401 | 0,104279 | 3,446426671 | 5,735695964 | 5,594559869 | 5,482445596 |
| 402 | 0,107091 | 3,339593057 | 5,558071608 | 5,421467428 | 5,312922798 |
| 403 | 0,10995 | 3,237060492 | 5,387593009 | 5,255333512 | 5,150211945 |
| 404 | 0,112855 | 3,13867132 | 5,223998525 | 5,095903597 | 4,994064041 |
| 405 | 0,115805 | 3,044268778 | 5,067027965 | 4,942924547 | 4,844231432 |
| 406 | 0,118798 | 2,953697926 | 4,916424137 | 4,796146126 | 4,700469285 |
| 407 | 0,121833 | 2,866806399 | 4,771934114 | 4,655322223 | 4,562536792 |
| 408 | 0,124909 | 2,783445025 | 4,633310238 | 4,520211839 | 4,43019814 |
| 409 | 0,128024 | 2,703468296 | 4,500310926 | 4,390579872 | 4,30322327 |
| 410 | 0,131177 | 2,62673474 | 4,372701279 | 4,266197709 | 4,181388469 |
| 411 | 0,134367 | 2,553107195 | 4,250253538 | 4,146843673 | 4,064476801 |
| 412 | 0,137591 | 2,482453 | 4,132747405 | 4,032303339 | 3,952278419 |
| 413 | 0,140848 | 2,414644121 | 4,019970258 | 3,922369738 | 3,844590769 |
| 414 | 0,144138 | 2,34955722 | 3,911717259 | 3,816843473 | 3,741218698 |
| 415 | 0,147458 | 2,287073674 | 3,807791393 | 3,715532752 | 3,64197449 |
| 416 | 0,150808 | 2,227079561 | 3,708003442 | 3,618253362 | 3,546677844 |
| 417 | 0,154185 | 2,169465606 | 3,612171899 | 3,524828592 | 3,455155797 |
| 418 | 0,157588 | 2,114127108 | 3,520122846 | 3,435089111 | 3,367242604 |
| 419 | 0,161016 | 2,060963844 | 3,431689796 | 3,348872817 | 3,282779589 |
| 420 | 0,164467 | 2,009879953 | 3,346713504 | 3,266024652 | 3,201614973 |
| 421 | 0,167939 | 1,960783819 | 3,265041766 | 3,18639641 | 3,123603676 |
| 422 | 0,171433 | 1,913587931 | 3,186529196 | 3,109846516 | 3,048607107 |
| 423 | 0,174944 | 1,868208747 | 3,111036995 | 3,036239806 | 2,976492948 |
| 424 | 0,178473 | 1,824566548 | 3,038432711 | 2,965447293 | 2,907134925 |
| 425 | 0,182018 | 1,782585296 | 2,968590003 | 2,897345935 | 2,840412582 |
| 426 | 0,185578 | 1,742192485 | 2,901388392 | 2,831818396 | 2,776211045 |
| 427 | 0,18915 | 1,703318993 | 2,836713025 | 2,768752815 | 2,714420799 |
| 428 | 0,192734 | 1,665898944 | 2,77445443 | 2,708042569 | 2,654937453 |
| 429 | 0,196327 | 1,62986956 | 2,714508287 | 2,649586047 | 2,597661526 |
| 430 | 0,19993 | 1,595171028 | 2,656775194 | 2,593286431 | 2,542498221 |
| 431 | 0,203539 | 1,561746362 | 2,601160447 | 2,53905147 | 2,489357215 |
| 432 | 0,207154 | 1,529541271 | 2,54757382 | 2,486793275 | 2,438152454 |
| 433 | 0,210774 | 1,498504037 | 2,495929357 | 2,436428114 | 2,388801951 |
| 434 | 0,214396 | 1,46858539 | 2,446145168 | 2,387876214 | 2,341227597 |
| 435 | 0,21802 | 1,439738391 | 2,398143238 | 2,341061573 | 2,29535497 |
| 436 | 0,221644 | 1,411918321 | 2,351849236 | 2,295911777 | 2,251113162 |
| 437 | 0,225267 | 1,385082569 | 2,307192336 | 2,252357824 | 2,208434606 |
| 438 | 0,228888 | 1,359190533 | 2,264105047 | 2,210333962 | 2,167254915 |

Продолжение таблицы 10

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 439 | 0,232504 | 1,334203521 | 2,222523051 | 2,169777523 | 2,127512721 |
| 440 | 0,236116 | 1,310084651 | 2,182385041 | 2,130628777 | 2,089149532 |
| 441 | 0,239721 | 1,28679877 | 2,143632576 | 2,092830781 | 2,052109585 |
| 442 | 0,243318 | 1,26431236 | 2,106209937 | 2,056329245 | 2,016339713 |
| 443 | 0,246907 | 1,242593462 | 2,070063994 | 2,021072399 | 1,981789218 |
| 444 | 0,250485 | 1,221611596 | 2,035144072 | 1,987010865 | 1,948409742 |
| 445 | 0,254052 | 1,201337688 | 2,001401836 | 1,954097542 | 1,916155156 |
| 446 | 0,257607 | 1,181744 | 1,968791167 | 1,922287491 | 1,884981449 |
| 447 | 0,261148 | 1,162804062 | 1,937268058 | 1,891537825 | 1,854846618 |
| 448 | 0,264674 | 1,144492612 | 1,906790505 | 1,861807612 | 1,825710575 |
| 449 | 0,268184 | 1,126785534 | 1,877318408 | 1,833057774 | 1,797535047 |
| 450 | 0,271677 | 1,109659799 | 1,84881348 | 1,805250996 | 1,770283486 |
| 451 | 0,275151 | 1,093093417 | 1,821239152 | 1,778351641 | 1,743920988 |
| 452 | 0,278607 | 1,077065381 | 1,794560493 | 1,752325665 | 1,718414208 |
| 453 | 0,282042 | 1,061555618 | 1,768744128 | 1,727140538 | 1,693731286 |
| 454 | 0,285457 | 1,046544947 | 1,743758159 | 1,702765172 | 1,669841771 |
| 455 | 0,288849 | 1,032015035 | 1,719572097 | 1,679169852 | 1,646716556 |
| 456 | 0,292218 | 1,01794835 | 1,696156791 | 1,656326162 | 1,62432781 |
| 457 | 0,295563 | 1,004328131 | 1,673484362 | 1,634206931 | 1,602648917 |
| 458 | 0,298882 | 0,991138342 | 1,651528146 | 1,612786166 | 1,581654417 |
| 459 | 0,302177 | 0,978363643 | 1,630262628 | 1,592039001 | 1,56131995 |
| 460 | 0,305444 | 0,965989355 | 1,609663397 | 1,571941636 | 1,541622206 |
| 461 | 0,308684 | 0,954001427 | 1,589707083 | 1,552471294 | 1,522538872 |
| 462 | 0,311895 | 0,942386408 | 1,570371315 | 1,533606165 | 1,504048583 |
| 463 | 0,315078 | 0,931131417 | 1,551634669 | 1,515325367 | 1,486130884 |
| 464 | 0,31823 | 0,920224119 | 1,533476628 | 1,497608897 | 1,468766179 |
| 465 | 0,321352 | 0,909652696 | 1,515877535 | 1,480437594 | 1,451935699 |
| 466 | 0,324443 | 0,899405825 | 1,498818557 | 1,463793096 | 1,435621455 |
| 467 | 0,327502 | 0,889472653 | 1,482281643 | 1,447657808 | 1,41980621 |
| 468 | 0,330528 | 0,879842781 | 1,466249491 | 1,432014861 | 1,404473438 |
| 469 | 0,33352 | 0,870506234 | 1,450705514 | 1,416848082 | 1,389607297 |
| 470 | 0,336479 | 0,86145345 | 1,435633803 | 1,402141963 | 1,375192592 |
| 471 | 0,339404 | 0,852675258 | 1,421019102 | 1,387881629 | 1,361214752 |
| 472 | 0,342293 | 0,84416286 | 1,406846776 | 1,37405281 | 1,347659796 |
| 473 | 0,345147 | 0,835907814 | 1,393102782 | 1,360641817 | 1,334514312 |
| 474 | 0,347965 | 0,82790202 | 1,379773645 | 1,347635509 | 1,321765427 |
| 475 | 0,350747 | 0,820137705 | 1,366846432 | 1,335021278 | 1,309400787 |
| 476 | 0,353491 | 0,812607405 | 1,354308729 | 1,322787019 | 1,297408534 |
| 477 | 0,356198 | 0,805303957 | 1,342148617 | 1,310921109 | 1,285777279 |
| 478 | 0,358867 | 0,798220481 | 1,330354651 | 1,299412389 | 1,274496091 |
| 479 | 0,361497 | 0,791350371 | 1,31891584 | 1,288250143 | 1,263554468 |
| 480 | 0,364089 | 0,784687283 | 1,307821628 | 1,277424078 | 1,252942327 |
| 481 | 0,366642 | 0,778225122 | 1,297061876 | 1,266924305 | 1,242649979 |
| 482 | 0,369155 | 0,771958032 | 1,286626842 | 1,256741326 | 1,232668117 |
| 483 | 0,371629 | 0,76588039 | 1,276507168 | 1,246866014 | 1,222987799 |
| 484 | 0,374063 | 0,75998679 | 1,26669386 | 1,237289601 | 1,213600434 |
| 485 | 0,376456 | 0,754272039 | 1,257178278 | 1,228003659 | 1,204497763 |
| 486 | 0,378808 | 0,748731146 | 1,247952117 | 1,21900009 | 1,195671853 |
| 487 | 0,38112 | 0,743359314 | 1,239007396 | 1,210271111 | 1,187115077 |
| 488 | 0,38339 | 0,738151933 | 1,230336444 | 1,201809241 | 1,178820105 |
| 489 | 0,385619 | 0,733104572 | 1,221931889 | 1,193607291 | 1,170779893 |
| 490 | 0,387807 | 0,728212974 | 1,213786645 | 1,185658349 | 1,162987668 |
| 500 | 0,407355 | 0,687037576 | 1,145221262 | 1,118743379 | 1,097390681 |
| 510 | 0,422596 | 0,587037576 | 1,045221262 | 1,018743379 | 0,997390681 |

Таблица 11 – Основные термодинамические параметры работы двигателя при частоте вращения 2000 мин⁻¹.

| Угол ПКВ, град. | Объем цилиндра | P _i , базовый | P _i , с наддувом (30° C) | P _i , с наддувом (40° C) | P _i , с наддувом (50° C) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 230 | 0,387807 | 0,11909068 | 0,190581641 | 0,190555849 | 0,190597942 |
| 231 | 0,385619 | 0,12002117 | 0,192070712 | 0,192042112 | 0,192084968 |
| 232 | 0,38339 | 0,120982349 | 0,193608893 | 0,19357737 | 0,193621018 |
| 233 | 0,38112 | 0,121975121 | 0,195197632 | 0,195163069 | 0,195207538 |
| 234 | 0,378808 | 0,12300043 | 0,196838441 | 0,196800714 | 0,196846035 |
| 235 | 0,376456 | 0,12405926 | 0,198532895 | 0,198491875 | 0,198538081 |
| 236 | 0,374063 | 0,125152639 | 0,200282637 | 0,200238191 | 0,200285313 |
| 237 | 0,371629 | 0,126281637 | 0,20208938 | 0,202041368 | 0,202089442 |
| 238 | 0,369155 | 0,12744737 | 0,20395491 | 0,203903187 | 0,203952249 |
| 239 | 0,366642 | 0,128651004 | 0,205881093 | 0,205825507 | 0,205875594 |
| 240 | 0,364089 | 0,129893752 | 0,207869873 | 0,207810265 | 0,207861416 |
| 241 | 0,361497 | 0,131176885 | 0,209923279 | 0,209859483 | 0,209911739 |
| 242 | 0,358867 | 0,132501724 | 0,212043428 | 0,211975272 | 0,212028674 |
| 243 | 0,356198 | 0,133869651 | 0,214232531 | 0,214159834 | 0,214214426 |
| 244 | 0,353491 | 0,135282106 | 0,216492893 | 0,216415468 | 0,216471295 |
| 245 | 0,350747 | 0,136740596 | 0,218826924 | 0,218744572 | 0,218801683 |
| 246 | 0,347965 | 0,138246691 | 0,221237138 | 0,221149654 | 0,221208097 |
| 247 | 0,345147 | 0,139802033 | 0,223726163 | 0,223633333 | 0,223693156 |
| 248 | 0,342293 | 0,141408335 | 0,22629674 | 0,226198333 | 0,226259598 |
| 249 | 0,339404 | 0,143067391 | 0,228951738 | 0,22884752 | 0,228910278 |
| 250 | 0,336479 | 0,14478107 | 0,231694151 | 0,231583875 | 0,231648186 |
| 251 | 0,33352 | 0,146551331 | 0,234527111 | 0,234410518 | 0,234476441 |
| 252 | 0,330528 | 0,148380217 | 0,237453891 | 0,237330708 | 0,237398309 |
| 253 | 0,327502 | 0,150269869 | 0,240477914 | 0,240347857 | 0,240417202 |
| 254 | 0,324443 | 0,152222524 | 0,243602761 | 0,24346553 | 0,243536689 |
| 255 | 0,321352 | 0,154240521 | 0,246832176 | 0,246687459 | 0,246760504 |
| 256 | 0,31823 | 0,15632631 | 0,250170078 | 0,250017547 | 0,250092554 |
| 257 | 0,315078 | 0,158482454 | 0,253620571 | 0,253459879 | 0,253536929 |
| 258 | 0,311895 | 0,160711637 | 0,257187947 | 0,257018733 | 0,257097909 |
| 259 | 0,308684 | 0,163016669 | 0,260876706 | 0,260698589 | 0,260779978 |
| 260 | 0,305444 | 0,165400493 | 0,264691556 | 0,264504137 | 0,264587831 |
| 261 | 0,302177 | 0,167866194 | 0,268637434 | 0,268440292 | 0,268526386 |
| 262 | 0,298882 | 0,170417003 | 0,272719512 | 0,272512205 | 0,2726008 |
| 263 | 0,295563 | 0,173056308 | 0,27694321 | 0,276725274 | 0,276816476 |
| 264 | 0,292218 | 0,175787661 | 0,281314213 | 0,281085159 | 0,281179079 |
| 265 | 0,288849 | 0,178614788 | 0,285838485 | 0,285597799 | 0,285694551 |
| 266 | 0,285457 | 0,181541598 | 0,290522278 | 0,290269419 | 0,290369126 |
| 267 | 0,282042 | 0,184572191 | 0,295372158 | 0,295106555 | 0,295209344 |
| 268 | 0,278607 | 0,187710873 | 0,300395013 | 0,300116066 | 0,300222071 |
| 269 | 0,275151 | 0,190962164 | 0,305598076 | 0,305305152 | 0,305414515 |
| 270 | 0,271677 | 0,194330811 | 0,310988944 | 0,310681377 | 0,310794246 |
| 271 | 0,268184 | 0,197821799 | 0,316575598 | 0,316252683 | 0,316369213 |
| 272 | 0,264674 | 0,20144037 | 0,322366421 | 0,322027417 | 0,322147774 |
| 273 | 0,261148 | 0,20519203 | 0,328370229 | 0,328014353 | 0,328138707 |
| 274 | 0,257607 | 0,209082569 | 0,334596285 | 0,334222712 | 0,334351245 |
| 275 | 0,254052 | 0,213118076 | 0,341054335 | 0,340662191 | 0,340795095 |
| 276 | 0,250485 | 0,217304956 | 0,347754628 | 0,347342992 | 0,347480468 |
| 277 | 0,246907 | 0,221649947 | 0,354707947 | 0,354275846 | 0,354418106 |
| 278 | 0,243318 | 0,22616014 | 0,361925642 | 0,361472047 | 0,361619314 |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 279 | 0,239721 | 0,230843003 | 0,369419659 | 0,368943482 | 0,369095992 |
| 280 | 0,236116 | 0,235706393 | 0,377202577 | 0,376702668 | 0,37686067 |
| 281 | 0,232504 | 0,240758591 | 0,385287643 | 0,384762786 | 0,384926541 |
| 282 | 0,228888 | 0,246008315 | 0,393688814 | 0,393137719 | 0,393307505 |
| 283 | 0,225267 | 0,251464754 | 0,402420791 | 0,401842096 | 0,402018205 |
| 284 | 0,221644 | 0,25713759 | 0,41149907 | 0,410891331 | 0,411074072 |
| 285 | 0,21802 | 0,263037029 | 0,420939982 | 0,42030167 | 0,420491369 |
| 286 | 0,214396 | 0,269173829 | 0,430760747 | 0,43009024 | 0,430287242 |
| 287 | 0,210774 | 0,275559336 | 0,440979517 | 0,440275098 | 0,440479768 |
| 288 | 0,207154 | 0,282205512 | 0,451615438 | 0,450875285 | 0,451088008 |
| 289 | 0,203539 | 0,289124975 | 0,462688703 | 0,461910884 | 0,462132068 |
| 290 | 0,19993 | 0,296331034 | 0,47422061 | 0,473403076 | 0,473633152 |
| 291 | 0,196327 | 0,30383773 | 0,486233627 | 0,485374202 | 0,485613629 |
| 292 | 0,192734 | 0,311659874 | 0,498751458 | 0,497847834 | 0,498097095 |
| 293 | 0,18915 | 0,319813093 | 0,511799112 | 0,510848837 | 0,511108443 |
| 294 | 0,185578 | 0,328313875 | 0,525402972 | 0,524403441 | 0,524673937 |
| 295 | 0,182018 | 0,337179612 | 0,539590873 | 0,53853932 | 0,538821282 |
| 296 | 0,178473 | 0,346428655 | 0,554392179 | 0,553285664 | 0,553579702 |
| 297 | 0,174944 | 0,356080357 | 0,569837866 | 0,568673264 | 0,568980025 |
| 298 | 0,171433 | 0,366155133 | 0,5859606 | 0,584734589 | 0,585054759 |
| 299 | 0,167939 | 0,376674509 | 0,602794829 | 0,601503877 | 0,601838185 |
| 300 | 0,164467 | 0,387661175 | 0,620376868 | 0,619017217 | 0,619366436 |
| 301 | 0,161016 | 0,399139047 | 0,638744986 | 0,637312641 | 0,637677591 |
| 302 | 0,157588 | 0,411133319 | 0,657939502 | 0,656430213 | 0,656811763 |
| 303 | 0,154185 | 0,423670518 | 0,678002869 | 0,676412113 | 0,676811188 |
| 304 | 0,150808 | 0,436778565 | 0,698979767 | 0,697302731 | 0,697720312 |
| 305 | 0,147458 | 0,450486823 | 0,720917189 | 0,719148753 | 0,719585881 |
| 306 | 0,144138 | 0,464826155 | 0,743864521 | 0,741999238 | 0,742457019 |
| 307 | 0,140848 | 0,479828967 | 0,767873625 | 0,765905698 | 0,766385306 |
| 308 | 0,137591 | 0,495529256 | 0,792998906 | 0,790922167 | 0,791424848 |
| 309 | 0,134367 | 0,511962644 | 0,819297371 | 0,817105258 | 0,817632335 |
| 310 | 0,131177 | 0,529166409 | 0,846828675 | 0,84451421 | 0,845067087 |
| 311 | 0,128024 | 0,547179501 | 0,875655152 | 0,873210915 | 0,873791082 |
| 312 | 0,124909 | 0,566042552 | 0,905841822 | 0,903259923 | 0,903868961 |
| 313 | 0,121833 | 0,585797856 | 0,937456373 | 0,934728428 | 0,935368012 |
| 314 | 0,118798 | 0,606489345 | 0,970569106 | 0,967686211 | 0,968358119 |
| 315 | 0,115805 | 0,628162529 | 1,005252853 | 1,002205553 | 1,002911667 |
| 316 | 0,112855 | 0,650864412 | 1,041582834 | 1,038361099 | 1,039103411 |
| 317 | 0,10995 | 0,67464337 | 1,079636465 | 1,076229662 | 1,077010281 |
| 318 | 0,107091 | 0,699548994 | 1,119493108 | 1,115889972 | 1,116711126 |
| 319 | 0,104279 | 0,725631875 | 1,161233724 | 1,157422335 | 1,158286379 |
| 320 | 0,101516 | 0,752943344 | 1,204940457 | 1,200908217 | 1,201817634 |
| 321 | 0,098803 | 0,781535137 | 1,250696102 | 1,24642971 | 1,247387114 |
| 322 | 0,096142 | 0,811458989 | 1,298583449 | 1,294068887 | 1,29507703 |
| 323 | 0,093532 | 0,842766142 | 1,348684504 | 1,34390702 | 1,344968792 |
| 324 | 0,090977 | 0,875506757 | 1,401079537 | 1,396023639 | 1,397142066 |
| 325 | 0,088477 | 0,909729207 | 1,455845962 | 1,450495417 | 1,451673667 |
| 326 | 0,086032 | 0,945479261 | 1,513057021 | 1,507394862 | 1,508636237 |
| 327 | 0,083646 | 0,982799118 | 1,572780247 | 1,566788787 | 1,568096722 |
| 328 | 0,081317 | 1,021726299 | 1,635075684 | 1,62873655 | 1,630114607 |
| 329 | 0,079048 | 1,062292375 | 1,699993857 | 1,693288033 | 1,694739889 |
| 330 | 0,07684 | 1,104521523 | 1,767573457 | 1,760481342 | 1,76201078 |
| 331 | 0,074694 | 1,148428903 | 1,837838741 | 1,830340235 | 1,831951125 |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 332 | 0,07261 | 1,194018843 | 1,910796638 | 1,902871238 | 1,904567518 |
| 333 | 0,07059 | 1,241282847 | 1,986433551 | 1,978060482 | 1,979846133 |
| 334 | 0,068634 | 1,290197417 | 2,064711877 | 2,05587025 | 2,057749262 |
| 335 | 0,066745 | 1,340721721 | 2,145566272 | 2,136235264 | 2,138211606 |
| 336 | 0,064922 | 1,392795115 | 2,228899686 | 2,219058765 | 2,221136337 |
| 337 | 0,063166 | 1,446223896 | 2,314579252 | 2,304208433 | 2,306391017 |
| 338 | 0,061479 | 1,501198912 | 2,402432105 | 2,391512237 | 2,393803442 |
| 339 | 0,05986 | 1,55789862 | 2,491933087 | 2,480754337 | 2,483157535 |
| 340 | 0,058312 | 1,61662409 | 2,583546485 | 2,57167117 | 2,574189425 |
| 341 | 0,056835 | 1,677810756 | 2,677620862 | 2,663488691 | 2,666583889 |
| 342 | 0,055428 | 1,742038244 | 2,77476852 | 2,756858351 | 2,759971359 |
| 343 | 0,054094 | 1,810036937 | 2,875888918 | 2,852198659 | 2,853925727 |
| 344 | 0,052833 | 1,882689674 | 2,982186536 | 2,950267599 | 2,947124231 |
| 345 | 0,051644 | 1,961026878 | 3,09517983 | 3,05218963 | 3,040716367 |
| 346 | 0,05053 | 2,046213457 | 3,216697511 | 3,159473504 | 3,135307531 |
| 347 | 0,04949 | 2,139526041 | 3,348858282 | 3,274016089 | 3,231999231 |
| 348 | 0,048526 | 2,242319627 | 3,494030591 | 3,39808697 | 3,332418613 |
| 349 | 0,047636 | 2,355983416 | 3,654769958 | 3,534288816 | 3,438729536 |
| 350 | 0,046823 | 2,481886418 | 3,833732995 | 3,685489526 | 3,553617258 |
| 351 | 0,046085 | 2,621314295 | 4,033569263 | 3,854724114 | 3,680238784 |
| 352 | 0,045425 | 2,775399671 | 4,256794165 | 4,045066987 | 3,822132226 |
| 353 | 0,044841 | 2,945048663 | 4,505647948 | 4,259478348 | 3,983081509 |
| 354 | 0,044335 | 3,130866798 | 4,781947144 | 4,500631306 | 4,16693722 |
| 355 | 0,043906 | 3,333087602 | 5,086935442 | 4,770728331 | 4,377399711 |
| 356 | 0,043555 | 3,551507286 | 5,421141076 | 5,071316689 | 4,617775549 |
| 357 | 0,043281 | 3,785428996 | 5,784247734 | 5,403112543 | 4,890721845 |
| 358 | 0,043086 | 4,033620158 | 6,174985886 | 5,765842945 | 5,197994276 |
| 359 | 0,042969 | 4,294286511 | 6,591051503 | 6,158114524 | 5,540213907 |
| 360 | 0,04293 | 4,565066225 | 7,029059255 | 6,57731756 | 5,916666451 |
| 361 | 0,042969 | 4,843047194 | 7,484537146 | 7,019574291 | 6,325146331 |
| 362 | 0,043086 | 5,124809783 | 7,95196891 | 7,479740254 | 6,761857681 |
| 363 | 0,043281 | 5,406496238 | 8,424888951 | 7,951466714 | 7,221384705 |
| 364 | 0,043555 | 5,683906417 | 8,896032195 | 8,427330279 | 7,696743822 |
| 365 | 0,043906 | 5,952617777 | 9,357537844 | 8,899032398 | 8,179528381 |
| 366 | 0,044335 | 6,208125594 | 9,801201918 | 9,357666606 | 8,66015267 |
| 367 | 0,044841 | 6,445997561 | 10,21876916 | 9,794045562 | 9,128195124 |
| 368 | 0,045425 | 6,662035298 | 10,60225051 | 10,19907357 | 9,572831387 |
| 369 | 0,046085 | 6,852434064 | 10,9442489 | 10,56414432 | 9,9833373 |
| 370 | 0,046823 | 7,013931429 | 11,2382733 | 10,88153862 | 10,34963123 |
| 371 | 0,047636 | 7,1439357 | 11,47902048 | 11,14479399 | 10,66281629 |
| 372 | 0,048526 | 7,240625792 | 11,66260421 | 11,34901761 | 10,91567733 |
| 373 | 0,04949 | 7,303015784 | 11,78671488 | 11,49111642 | 11,10308703 |
| 374 | 0,05053 | 7,330979671 | 11,85069678 | 11,56992418 | 11,22228018 |
| 375 | 0,051644 | 7,325234522 | 11,85553657 | 11,58621307 | 11,27296615 |
| 376 | 0,052833 | 7,287283215 | 11,80376345 | 11,54258788 | 11,25726534 |
| 377 | 0,054094 | 7,219320909 | 11,69926869 | 11,44327167 | 11,17947432 |
| 378 | 0,055428 | 7,124112032 | 11,54705924 | 11,29380218 | 11,04568371 |
| 379 | 0,056835 | 7,004846672 | 11,35296521 | 11,10066661 | 10,86329001 |
| 380 | 0,058312 | 6,864986534 | 11,12332457 | 10,87090777 | 10,64045355 |
| 381 | 0,05986 | 6,708110944 | 10,86466926 | 10,61173564 | 10,38555934 |
| 382 | 0,061479 | 6,537772787 | 10,58343534 | 10,33017575 | 10,10673266 |
| 383 | 0,063166 | 6,357372713 | 10,28571564 | 10,03277905 | 9,811450135 |
| 384 | 0,064922 | 6,17005777 | 9,977068053 | 9,725409208 | 9,506270231 |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 385 | 0,066745 | 5,978647949 | 9,66238565 | 9,413112713 | 9,196688941 |
| 386 | 0,068634 | 5,785591485 | 9,34582841 | 9,100068136 | 8,887109669 |
| 387 | 0,07059 | 5,592947205 | 9,030810645 | 8,789602718 | 8,580904222 |
| 388 | 0,07261 | 5,402390277 | 8,720033912 | 8,484259856 | 8,280535421 |
| 389 | 0,074694 | 5,215236354 | 8,415552949 | 8,185899105 | 7,987711449 |
| 390 | 0,07684 | 5,032478537 | 8,11886167 | 7,895811288 | 7,724812401 |
| 391 | 0,079048 | 4,854831646 | 7,830987403 | 7,635821269 | 7,470563353 |
| 392 | 0,081317 | 4,682778941 | 7,573088974 | 7,384693333 | 7,224977075 |
| 393 | 0,083646 | 4,528858199 | 7,324259437 | 7,142384964 | 6,988012247 |
| 394 | 0,086032 | 4,380491953 | 7,084406257 | 6,908806898 | 6,759581838 |
| 395 | 0,088477 | 4,237598038 | 6,853396849 | 6,683830861 | 6,539560662 |
| 396 | 0,090977 | 4,100073923 | 6,631065692 | 6,467296487 | 6,327792145 |
| 397 | 0,093532 | 3,96780061 | 6,41722064 | 6,259017462 | 6,124094327 |
| 398 | 0,096142 | 3,840646077 | 6,211648484 | 6,058786928 | 5,92826515 |
| 399 | 0,098803 | 3,718468287 | 6,014119813 | 5,866382217 | 5,740087082 |
| 400 | 0,101516 | 3,601117793 | 5,824393229 | 5,681568952 | 5,559331131 |
| 401 | 0,104279 | 3,488439988 | 5,642218981 | 5,504104583 | 5,385760301 |
| 402 | 0,107091 | 3,380277028 | 5,467342073 | 5,333741413 | 5,219132547 |
| 403 | 0,10995 | 3,27646946 | 5,299504894 | 5,170229165 | 5,059203291 |
| 404 | 0,112855 | 3,176857593 | 5,138449444 | 5,013317135 | 4,905727528 |
| 405 | 0,115805 | 3,081282643 | 4,983919174 | 4,862756002 | 4,758461588 |
| 406 | 0,118798 | 2,989587675 | 4,835660513 | 4,718299305 | 4,617164591 |
| 407 | 0,121833 | 2,90161837 | 4,69342411 | 4,579704657 | 4,481599628 |
| 408 | 0,124909 | 2,817223639 | 4,556965828 | 4,446734713 | 4,351534712 |
| 409 | 0,128024 | 2,736256112 | 4,42604753 | 4,319157942 | 4,226743529 |
| 410 | 0,131177 | 2,658572508 | 4,300437681 | 4,196749208 | 4,107006012 |
| 411 | 0,134367 | 2,584033912 | 4,179911796 | 4,079290213 | 3,992108773 |
| 412 | 0,137591 | 2,51250597 | 4,064252757 | 3,966569807 | 3,881845401 |
| 413 | 0,140848 | 2,443859016 | 3,953251017 | 3,858384183 | 3,776016665 |
| 414 | 0,144138 | 2,377968141 | 3,846704712 | 3,754536997 | 3,674430619 |
| 415 | 0,147458 | 2,314713215 | 3,744419696 | 3,654839397 | 3,57690264 |
| 416 | 0,150808 | 2,253978868 | 3,646209513 | 3,559109997 | 3,483255401 |
| 417 | 0,154185 | 2,195654436 | 3,551895314 | 3,467174802 | 3,393318796 |
| 418 | 0,157588 | 2,139633891 | 3,461305733 | 3,378867087 | 3,306929821 |
| 419 | 0,161016 | 2,08581574 | 3,374276733 | 3,294027246 | 3,223932432 |
| 420 | 0,164467 | 2,034102909 | 3,290651419 | 3,212502613 | 3,144177367 |
| 421 | 0,167939 | 1,984402622 | 3,210279836 | 3,13414727 | 3,067521957 |
| 422 | 0,171433 | 1,936626261 | 3,133018753 | 3,05882183 | 2,993829919 |
| 423 | 0,174944 | 1,890689231 | 3,058731431 | 2,986393219 | 2,922971138 |
| 424 | 0,178473 | 1,846510805 | 2,987287392 | 2,916734448 | 2,854821449 |
| 425 | 0,182018 | 1,804013988 | 2,918562178 | 2,849724383 | 2,789262406 |
| 426 | 0,185578 | 1,763125358 | 2,852437111 | 2,785247508 | 2,726181058 |
| 427 | 0,18915 | 1,723774924 | 2,788799056 | 2,723193698 | 2,665469722 |
| 428 | 0,192734 | 1,68589598 | 2,727540186 | 2,663457989 | 2,60702576 |
| 429 | 0,196327 | 1,64942496 | 2,668557748 | 2,605940351 | 2,550751358 |
| 430 | 0,19993 | 1,614301297 | 2,611753838 | 2,550545471 | 2,496553314 |
| 431 | 0,203539 | 1,580467291 | 2,55703518 | 2,497182538 | 2,444342823 |
| 432 | 0,207154 | 1,54786797 | 2,504312912 | 2,445765034 | 2,394035282 |
| 433 | 0,210774 | 1,516450967 | 2,45350238 | 2,396210533 | 2,345550085 |
| 434 | 0,214396 | 1,486166394 | 2,404522936 | 2,348440509 | 2,29881044 |
| 435 | 0,21802 | 1,456966725 | 2,35729775 | 2,302380147 | 2,253743183 |
| 436 | 0,221644 | 1,428806679 | 2,311753621 | 2,257958167 | 2,210278607 |
| 437 | 0,225267 | 1,401643114 | 2,267820804 | 2,215106648 | 2,168350286 |
| 438 | 0,228888 | 1,37543492 | 2,22543284 | 2,173760867 | 2,127894924 |

Продолжение таблицы 11

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 439 | 0,232504 | 1,350142919 | 2,184526391 | 2,13385914 | 2,088852196 |
| 440 | 0,236116 | 1,325729772 | 2,145041092 | 2,095342674 | 2,051164601 |
| 441 | 0,239721 | 1,302159885 | 2,106919396 | 2,05815542 | 2,014777323 |
| 442 | 0,243318 | 1,279399323 | 2,070106442 | 2,022243942 | 1,979638102 |
| 443 | 0,246907 | 1,257415727 | 2,034549915 | 1,987557283 | 1,945697099 |
| 444 | 0,250485 | 1,236178239 | 2,000199923 | 1,954046843 | 1,912906782 |
| 445 | 0,254052 | 1,215657421 | 1,967008875 | 1,921666263 | 1,881221808 |
| 446 | 0,257607 | 1,195825191 | 1,934931365 | 1,890371311 | 1,850598917 |
| 447 | 0,261148 | 1,17665475 | 1,903924067 | 1,860119777 | 1,820996825 |
| 448 | 0,264674 | 1,158120521 | 1,873945628 | 1,830871375 | 1,792376126 |
| 449 | 0,268184 | 1,140198088 | 1,844956569 | 1,802587643 | 1,764699204 |
| 450 | 0,271677 | 1,122864137 | 1,816919199 | 1,775231857 | 1,737930136 |
| 451 | 0,275151 | 1,106096403 | 1,789797517 | 1,748768942 | 1,712034616 |
| 452 | 0,278607 | 1,089873619 | 1,763557136 | 1,723165393 | 1,686979872 |
| 453 | 0,282042 | 1,074175465 | 1,738165201 | 1,698389196 | 1,662734588 |
| 454 | 0,285457 | 1,058982521 | 1,713590312 | 1,674409754 | 1,639268839 |
| 455 | 0,288849 | 1,044276225 | 1,689802458 | 1,651197822 | 1,616554017 |
| 456 | 0,292218 | 1,030038831 | 1,666772942 | 1,628725437 | 1,594562768 |
| 457 | 0,295563 | 1,016253367 | 1,644474324 | 1,606965857 | 1,573268937 |
| 458 | 0,298882 | 1,002903601 | 1,622880356 | 1,585893503 | 1,5526475 |
| 459 | 0,302177 | 0,989974003 | 1,601965926 | 1,565483902 | 1,532674519 |
| 460 | 0,305444 | 0,977449712 | 1,581707005 | 1,545713635 | 1,513327085 |
| 461 | 0,308684 | 0,965316503 | 1,562080592 | 1,526560284 | 1,494583269 |
| 462 | 0,311895 | 0,953560759 | 1,543064667 | 1,508002389 | 1,476422078 |
| 463 | 0,315078 | 0,94216944 | 1,524638146 | 1,490019398 | 1,458823407 |
| 464 | 0,31823 | 0,931130059 | 1,506780834 | 1,472591627 | 1,441768002 |
| 465 | 0,321352 | 0,920430652 | 1,489473387 | 1,455700221 | 1,425237416 |
| 466 | 0,324443 | 0,910059756 | 1,472697268 | 1,439327111 | 1,409213974 |
| 467 | 0,327502 | 0,900006386 | 1,456434712 | 1,423454981 | 1,393680736 |
| 468 | 0,330528 | 0,890260011 | 1,440668693 | 1,408067232 | 1,378621464 |
| 469 | 0,33352 | 0,880810537 | 1,425382886 | 1,39314795 | 1,364020588 |
| 470 | 0,336479 | 0,871648283 | 1,410561635 | 1,378681873 | 1,349863181 |
| 471 | 0,339404 | 0,862763964 | 1,396189927 | 1,364654365 | 1,336134921 |
| 472 | 0,342293 | 0,854148674 | 1,38225336 | 1,351051384 | 1,322822074 |
| 473 | 0,345147 | 0,845793869 | 1,368738114 | 1,337859459 | 1,309911457 |
| 474 | 0,347965 | 0,837691348 | 1,35563093 | 1,325065661 | 1,297390424 |
| 475 | 0,350747 | 0,829833241 | 1,342919081 | 1,312657581 | 1,285246836 |
| 476 | 0,353491 | 0,822211996 | 1,330590351 | 1,30062331 | 1,273469039 |
| 477 | 0,356198 | 0,814820359 | 1,318633011 | 1,288951411 | 1,262045846 |
| 478 | 0,358867 | 0,807651366 | 1,3070358 | 1,277630905 | 1,250966514 |
| 479 | 0,361497 | 0,800698331 | 1,295787904 | 1,266651245 | 1,240220726 |
| 480 | 0,364089 | 0,793954831 | 1,284878936 | 1,256002304 | 1,229798573 |
| 481 | 0,366642 | 0,787414696 | 1,274298919 | 1,245674353 | 1,219690537 |
| 482 | 0,369155 | 0,781072001 | 1,264038267 | 1,235658045 | 1,209887473 |
| 483 | 0,371629 | 0,77492105 | 1,254087773 | 1,225944402 | 1,200380595 |
| 484 | 0,374063 | 0,768956374 | 1,244438589 | 1,216524793 | 1,191161463 |
| 485 | 0,376456 | 0,763172715 | 1,235082212 | 1,207390929 | 1,182221963 |
| 486 | 0,378808 | 0,75756502 | 1,226010471 | 1,198534841 | 1,173554299 |
| 487 | 0,38112 | 0,752128434 | 1,217215515 | 1,18994887 | 1,165150979 |
| 488 | 0,38339 | 0,746858292 | 1,208689796 | 1,181625657 | 1,157004801 |
| 489 | 0,385619 | 0,741750108 | 1,200426061 | 1,173558127 | 1,149108845 |
| 490 | 0,387807 | 0,736799571 | 1,192417339 | 1,165739482 | 1,141456456 |
| 500 | 0,407355 | 0,695128397 | 1,125003031 | 1,099922232 | 1,077037842 |
| 510 | 0,422596 | 0,595128397 | 1,025003031 | 0,999922232 | 0,977037842 |

Таблица 12 – Основные термодинамические параметры работы двигателя при частоте вращения 3800 мин⁻¹.

| Угол ПКВ, град. | Объем цилиндра | P _i , базовый | P _i , с наддувом (30° С) | P _i , с наддувом (40° С) | P _i , с наддувом (50° С) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 230 | 0,387807 | 0,117286142 | 0,187767617 | 0,187864022 | 0,187952752 |
| 231 | 0,385619 | 0,118202668 | 0,189233952 | 0,189329931 | 0,189418176 |
| 232 | 0,38339 | 0,119149421 | 0,190748641 | 0,190844171 | 0,190931904 |
| 233 | 0,38112 | 0,120127295 | 0,192313109 | 0,192408167 | 0,192495361 |
| 234 | 0,378808 | 0,121137219 | 0,193928846 | 0,194023403 | 0,19411003 |
| 235 | 0,376456 | 0,122180162 | 0,1955974 | 0,19569143 | 0,19577746 |
| 236 | 0,374063 | 0,123257137 | 0,197320389 | 0,197413862 | 0,197499264 |
| 237 | 0,371629 | 0,124369198 | 0,1990995 | 0,199192386 | 0,199277126 |
| 238 | 0,369155 | 0,125517444 | 0,200936491 | 0,201028757 | 0,201112801 |
| 239 | 0,366642 | 0,126703024 | 0,202833198 | 0,20292481 | 0,203008121 |
| 240 | 0,364089 | 0,127927135 | 0,204791534 | 0,204882456 | 0,204964995 |
| 241 | 0,361497 | 0,129191025 | 0,206813496 | 0,20690369 | 0,206985417 |
| 242 | 0,358867 | 0,130495998 | 0,20890117 | 0,208990595 | 0,209071467 |
| 243 | 0,356198 | 0,131843415 | 0,211056729 | 0,211145343 | 0,211225314 |
| 244 | 0,353491 | 0,133234695 | 0,213282445 | 0,213370203 | 0,213449226 |
| 245 | 0,350747 | 0,134671321 | 0,215580688 | 0,215667542 | 0,215745566 |
| 246 | 0,347965 | 0,136154842 | 0,217953932 | 0,218039834 | 0,218116806 |
| 247 | 0,345147 | 0,137686873 | 0,220404765 | 0,22048966 | 0,220565524 |
| 248 | 0,342293 | 0,139269104 | 0,222935884 | 0,223019717 | 0,223094414 |
| 249 | 0,339404 | 0,1409033 | 0,225550113 | 0,225632825 | 0,225706292 |
| 250 | 0,336479 | 0,142591305 | 0,228250398 | 0,228331927 | 0,228404099 |
| 251 | 0,33352 | 0,144335046 | 0,231039822 | 0,231120102 | 0,231190909 |
| 252 | 0,330528 | 0,146136538 | 0,233921607 | 0,234000567 | 0,234069936 |
| 253 | 0,327502 | 0,147997888 | 0,23689912 | 0,236976689 | 0,237044541 |
| 254 | 0,324443 | 0,149921301 | 0,239975886 | 0,240051984 | 0,240118239 |
| 255 | 0,321352 | 0,151909082 | 0,243155591 | 0,243230136 | 0,243294706 |
| 256 | 0,31823 | 0,153963644 | 0,246442091 | 0,246514996 | 0,246577791 |
| 257 | 0,315078 | 0,156087511 | 0,249839424 | 0,249910597 | 0,249971519 |
| 258 | 0,311895 | 0,158283329 | 0,253351815 | 0,25342116 | 0,253480106 |
| 259 | 0,308684 | 0,160553865 | 0,256983691 | 0,257051103 | 0,257107967 |
| 260 | 0,305444 | 0,162902019 | 0,260739688 | 0,260805058 | 0,260859725 |
| 261 | 0,302177 | 0,165330829 | 0,264624661 | 0,264687874 | 0,264740223 |
| 262 | 0,298882 | 0,16784348 | 0,268643701 | 0,268704634 | 0,268754537 |
| 263 | 0,295563 | 0,170443308 | 0,272802143 | 0,272860667 | 0,272907988 |
| 264 | 0,292218 | 0,173133815 | 0,27710558 | 0,277161557 | 0,277206154 |
| 265 | 0,288849 | 0,175918669 | 0,28155988 | 0,281613165 | 0,281654885 |
| 266 | 0,285457 | 0,178801722 | 0,286171198 | 0,286221636 | 0,286260319 |
| 267 | 0,282042 | 0,181787014 | 0,290945991 | 0,290993419 | 0,291028895 |
| 268 | 0,278607 | 0,184878787 | 0,29589104 | 0,295935284 | 0,295967373 |
| 269 | 0,275151 | 0,188081494 | 0,301013461 | 0,301054338 | 0,301082849 |
| 270 | 0,271677 | 0,191399811 | 0,30632073 | 0,306358045 | 0,306382774 |
| 271 | 0,268184 | 0,194838651 | 0,311820698 | 0,311854244 | 0,311874977 |
| 272 | 0,264674 | 0,198403176 | 0,317521617 | 0,317551174 | 0,317567684 |
| 273 | 0,261148 | 0,202098813 | 0,323432157 | 0,323457493 | 0,323469538 |
| 274 | 0,257607 | 0,205931265 | 0,329561436 | 0,329582303 | 0,329589626 |
| 275 | 0,254052 | 0,209906532 | 0,335919041 | 0,335935176 | 0,335937507 |
| 276 | 0,250485 | 0,214030924 | 0,342515057 | 0,34252618 | 0,342523229 |
| 277 | 0,246907 | 0,218311079 | 0,349360092 | 0,349365909 | 0,349357369 |
| 278 | 0,243318 | 0,222753985 | 0,356465314 | 0,356465508 | 0,356451054 |

Продолжение таблицы 12

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 279 | 0,239721 | 0,227366997 | 0,363842476 | 0,363836712 | 0,363815998 |
| 280 | 0,236116 | 0,232157859 | 0,371503953 | 0,371491876 | 0,371464534 |
| 281 | 0,232504 | 0,237134727 | 0,37946278 | 0,37944401 | 0,37940965 |
| 282 | 0,228888 | 0,242306193 | 0,387732684 | 0,38770682 | 0,387665026 |
| 283 | 0,225267 | 0,247681309 | 0,396328132 | 0,396294743 | 0,396245074 |
| 284 | 0,221644 | 0,253269615 | 0,405264366 | 0,405222997 | 0,405164983 |
| 285 | 0,21802 | 0,259081166 | 0,414557453 | 0,414507619 | 0,414440759 |
| 286 | 0,214396 | 0,265126563 | 0,424224332 | 0,424165515 | 0,424089278 |
| 287 | 0,210774 | 0,271416983 | 0,434282861 | 0,43421451 | 0,43412833 |
| 288 | 0,207154 | 0,277964213 | 0,444751874 | 0,444673403 | 0,444576676 |
| 289 | 0,203539 | 0,284780685 | 0,455651234 | 0,455562017 | 0,455454101 |
| 290 | 0,19993 | 0,291879513 | 0,467001892 | 0,466901263 | 0,466781474 |
| 291 | 0,196327 | 0,299274531 | 0,47882595 | 0,478713198 | 0,478580807 |
| 292 | 0,192734 | 0,306980332 | 0,491146723 | 0,491021092 | 0,490875321 |
| 293 | 0,18915 | 0,315012314 | 0,50398881 | 0,503849492 | 0,503689513 |
| 294 | 0,185578 | 0,323386722 | 0,517378163 | 0,517224296 | 0,517049227 |
| 295 | 0,182018 | 0,332120694 | 0,531342161 | 0,531172825 | 0,530981723 |
| 296 | 0,178473 | 0,341232309 | 0,545909684 | 0,545723899 | 0,54551576 |
| 297 | 0,174944 | 0,350740639 | 0,561111199 | 0,560907917 | 0,560681669 |
| 298 | 0,171433 | 0,360665799 | 0,576978835 | 0,576756939 | 0,576511438 |
| 299 | 0,167939 | 0,371028997 | 0,593546471 | 0,593304769 | 0,593038795 |
| 300 | 0,164467 | 0,381852593 | 0,610849822 | 0,610587039 | 0,61029929 |
| 301 | 0,161016 | 0,393160152 | 0,628926528 | 0,628641304 | 0,628330388 |
| 302 | 0,157588 | 0,404976499 | 0,647816237 | 0,647507119 | 0,647171554 |
| 303 | 0,154185 | 0,417327773 | 0,667560701 | 0,667226138 | 0,666864339 |
| 304 | 0,150808 | 0,430241486 | 0,688203858 | 0,687842193 | 0,687452468 |
| 305 | 0,147458 | 0,443746572 | 0,709791919 | 0,709401382 | 0,708981926 |
| 306 | 0,144138 | 0,457873442 | 0,73237345 | 0,731952152 | 0,731501037 |
| 307 | 0,140848 | 0,47265403 | 0,755999449 | 0,755545372 | 0,755060539 |
| 308 | 0,137591 | 0,488121834 | 0,780723411 | 0,7802344 | 0,779713654 |
| 309 | 0,134367 | 0,504311959 | 0,806601391 | 0,806075146 | 0,805516143 |
| 310 | 0,131177 | 0,521261138 | 0,833692046 | 0,833126112 | 0,83252635 |
| 311 | 0,128024 | 0,539007754 | 0,862056665 | 0,861448422 | 0,860805234 |
| 312 | 0,124909 | 0,557591845 | 0,891759175 | 0,891105829 | 0,890416371 |
| 313 | 0,121833 | 0,577055091 | 0,922866123 | 0,922164695 | 0,921425934 |
| 314 | 0,118798 | 0,597440783 | 0,954446628 | 0,954693942 | 0,953902649 |
| 315 | 0,115805 | 0,618793771 | 0,989572289 | 0,988764963 | 0,987917698 |
| 316 | 0,112855 | 0,641160374 | 1,025317051 | 1,024451486 | 1,02354459 |
| 317 | 0,10995 | 0,664588267 | 1,062757021 | 1,061829387 | 1,060858968 |
| 318 | 0,107091 | 0,689126321 | 1,101970205 | 1,100976434 | 1,099938359 |
| 319 | 0,104279 | 0,714824394 | 1,143036187 | 1,14197196 | 1,140861842 |
| 320 | 0,101516 | 0,741733073 | 1,186035704 | 1,184896442 | 1,183709631 |
| 321 | 0,098803 | 0,769903345 | 1,231050128 | 1,229830982 | 1,228562557 |
| 322 | 0,096142 | 0,799386198 | 1,278160826 | 1,276856668 | 1,275501426 |
| 323 | 0,093532 | 0,830232136 | 1,327448384 | 1,326053802 | 1,324606253 |
| 324 | 0,090977 | 0,862490595 | 1,378991674 | 1,377500969 | 1,375955332 |
| 325 | 0,088477 | 0,896209255 | 1,43286676 | 1,431273939 | 1,429624139 |
| 326 | 0,086032 | 0,931433228 | 1,489145593 | 1,487444373 | 1,485684044 |
| 327 | 0,083646 | 0,96820411 | 1,547894503 | 1,546078315 | 1,544200801 |
| 328 | 0,081317 | 1,006558888 | 1,609172452 | 1,607234452 | 1,605232821 |
| 329 | 0,079048 | 1,046528688 | 1,673029036 | 1,670962116 | 1,66882917 |
| 330 | 0,07684 | 1,088137351 | 1,739502207 | 1,737299018 | 1,73502732 |
| 331 | 0,074694 | 1,131399832 | 1,808615722 | 1,806268702 | 1,8038506 |

Продолжение таблицы 12

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 332 | 0,07261 | 1,176320414 | 1,880376291 | 1,8778777 | 1,875305366 |
| 333 | 0,07059 | 1,222956184 | 1,954770438 | 1,952112407 | 1,949377884 |
| 334 | 0,068634 | 1,271326374 | 2,031761081 | 2,028935667 | 2,026030925 |
| 335 | 0,066745 | 1,321581504 | 2,11112658 | 2,10828311 | 2,105200118 |
| 336 | 0,064922 | 1,373947452 | 2,193134415 | 2,189720354 | 2,186790082 |
| 337 | 0,063166 | 1,428733109 | 2,278026158 | 2,273739235 | 2,270670411 |
| 338 | 0,061479 | 1,486337453 | 2,366187598 | 2,360656915 | 2,356671593 |
| 339 | 0,05986 | 1,547255423 | 2,458163197 | 2,450985277 | 2,443933498 |
| 340 | 0,058312 | 1,612081852 | 2,554668962 | 2,545449824 | 2,533310571 |
| 341 | 0,056835 | 1,681512577 | 2,656602367 | 2,645005739 | 2,625232081 |
| 342 | 0,055428 | 1,756341813 | 2,765047673 | 2,750848958 | 2,720427229 |
| 343 | 0,054094 | 1,837454842 | 2,88127481 | 2,864419746 | 2,819951029 |
| 344 | 0,052833 | 1,925815192 | 3,006729901 | 2,987396013 | 2,925203194 |
| 345 | 0,051644 | 2,022445659 | 3,143015601 | 3,12167365 | 3,037935905 |
| 346 | 0,05053 | 2,128402806 | 3,29185976 | 3,269331496 | 3,160245819 |
| 347 | 0,04949 | 2,244744952 | 3,455071468 | 3,432579265 | 3,294545657 |
| 348 | 0,048526 | 2,372494059 | 3,634484283 | 3,613687794 | 3,443511282 |
| 349 | 0,047636 | 2,512592324 | 3,831887331 | 3,814902276 | 3,610001578 |
| 350 | 0,046823 | 2,665854641 | 4,048945861 | 4,038340431 | 3,796950464 |
| 351 | 0,046085 | 2,832918448 | 4,287113673 | 4,285878815 | 4,007232879 |
| 352 | 0,045425 | 3,014192688 | 4,547540506 | 4,559031393 | 4,243509114 |
| 353 | 0,044841 | 3,20980787 | 4,830978009 | 4,85882522 | 4,508053942 |
| 354 | 0,044335 | 3,419569426 | 5,13768826 | 5,185678568 | 4,802578421 |
| 355 | 0,043906 | 3,642916693 | 5,467359101 | 5,539287252 | 5,128052994 |
| 356 | 0,043555 | 3,878890048 | 5,819030754 | 5,91852535 | 5,484540837 |
| 357 | 0,043281 | 4,126108715 | 6,191038324 | 6,321366922 | 5,871050743 |
| 358 | 0,043086 | 4,382761725 | 6,580974832 | 6,744835636 | 6,285419273 |
| 359 | 0,042969 | 4,646614213 | 6,985679198 | 7,184989149 | 6,724232502 |
| 360 | 0,04293 | 4,915030755 | 7,401253051 | 7,636944488 | 7,182797969 |
| 361 | 0,042969 | 5,18501674 | 7,823109342 | 8,094949299 | 7,655176923 |
| 362 | 0,043086 | 5,453277828 | 8,246054313 | 8,552501669 | 8,134285151 |
| 363 | 0,043281 | 5,716296517 | 8,664402665 | 9,002518251 | 8,612067317 |
| 364 | 0,043555 | 5,97042366 | 9,072123651 | 9,437546945 | 9,079744775 |
| 365 | 0,043906 | 6,211981711 | 9,463013664 | 9,85001653 | 9,528130615 |
| 366 | 0,044335 | 6,43737547 | 9,830888732 | 10,23251199 | 9,947998817 |
| 367 | 0,044841 | 6,643205369 | 10,16978845 | 10,57806112 | 10,33048763 |
| 368 | 0,045425 | 6,826377859 | 10,47418144 | 10,88041559 | 10,66751157 |
| 369 | 0,046085 | 6,984207389 | 10,73916168 | 11,13430894 | 10,95215261 |
| 370 | 0,046823 | 7,114504679 | 10,96062481 | 11,33567405 | 11,17900014 |
| 371 | 0,047636 | 7,215646678 | 11,13541447 | 11,481805 | 11,34441113 |
| 372 | 0,048526 | 7,286624493 | 11,26142994 | 11,57145158 | 11,44666756 |
| 373 | 0,04949 | 7,327066818 | 11,33768864 | 11,60483943 | 11,48601643 |
| 374 | 0,05053 | 7,337237789 | 11,3643399 | 11,58361449 | 11,46458804 |
| 375 | 0,051644 | 7,318009632 | 11,34262907 | 11,51071613 | 11,38620012 |
| 376 | 0,052833 | 7,270811981 | 11,27481479 | 11,39018913 | 11,25606613 |
| 377 | 0,054094 | 7,197561011 | 11,16404474 | 11,22694913 | 11,08043539 |
| 378 | 0,055428 | 7,100572697 | 11,01419821 | 11,02651966 | 10,86619846 |
| 379 | 0,056835 | 6,982465275 | 10,82970568 | 10,79476015 | 10,62049293 |
| 380 | 0,058312 | 6,846056439 | 10,61535674 | 10,53760411 | 10,35034231 |
| 381 | 0,05986 | 6,694260836 | 10,37610807 | 10,26082417 | 10,06235418 |
| 382 | 0,061479 | 6,529993092 | 10,11690247 | 9,969837034 | 9,762494678 |
| 383 | 0,063166 | 6,356080873 | 9,842508239 | 9,669556622 | 9,455946098 |
| 384 | 0,064922 | 6,175191489 | 9,557386252 | 9,364298364 | 9,147044503 |

Продолжение таблицы 12

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 385 | 0,066745 | 5,989774402 | 9,265589055 | 9,057732954 | 8,839286267 |
| 386 | 0,068634 | 5,80202067 | 8,970693818 | 8,752883732 | 8,53538728 |
| 387 | 0,07059 | 5,613839201 | 8,675768041 | 8,452159109 | 8,237376509 |
| 388 | 0,07261 | 5,426848562 | 8,383364769 | 8,157410042 | 7,946706401 |
| 389 | 0,074694 | 5,242382261 | 8,095542343 | 7,870002507 | 7,685475299 |
| 390 | 0,07684 | 5,061504823 | 7,813902737 | 7,590895946 | 7,432495637 |
| 391 | 0,079048 | 4,885035747 | 7,539642253 | 7,340823083 | 7,187840528 |
| 392 | 0,081317 | 4,7135784 | 7,273608692 | 7,099278309 | 6,951522197 |
| 393 | 0,083646 | 4,547551185 | 7,016359923 | 6,866220437 | 6,72350082 |
| 394 | 0,086032 | 4,387218727 | 6,7865853 | 6,641563318 | 6,503692584 |
| 395 | 0,088477 | 4,244259131 | 6,565282982 | 6,425183287 | 6,291976966 |
| 396 | 0,090977 | 4,10666683 | 6,35229439 | 6,216925817 | 6,088203238 |
| 397 | 0,093532 | 3,974323179 | 6,147435443 | 6,016611429 | 5,892196246 |
| 398 | 0,096142 | 3,84709649 | 5,950501879 | 5,8240409 | 5,7037615 |
| 399 | 0,098803 | 3,724845033 | 5,761273917 | 5,638999809 | 5,522689623 |
| 400 | 0,101516 | 3,607419653 | 5,579520291 | 5,461262486 | 5,348760212 |
| 401 | 0,104279 | 3,494666013 | 5,405001737 | 5,290595414 | 5,181745164 |
| 402 | 0,107091 | 3,386426514 | 5,237473963 | 5,126760138 | 5,021411525 |
| 403 | 0,10995 | 3,282541931 | 5,076690177 | 4,969515734 | 4,867523901 |
| 404 | 0,112855 | 3,182852784 | 4,922403211 | 4,818620885 | 4,719846493 |
| 405 | 0,115805 | 3,087200477 | 4,774367288 | 4,673835613 | 4,578144791 |
| 406 | 0,118798 | 2,995428247 | 4,632339487 | 4,534922704 | 4,442186968 |
| 407 | 0,121833 | 2,907381929 | 4,496080928 | 4,401648876 | 4,311745025 |
| 408 | 0,124909 | 2,822910576 | 4,365357726 | 4,273785711 | 4,186595701 |
| 409 | 0,128024 | 2,741866941 | 4,239941745 | 4,151110387 | 4,066521194 |
| 410 | 0,131177 | 2,664107854 | 4,119611176 | 4,033406251 | 3,951309719 |
| 411 | 0,134367 | 2,589494498 | 4,004150962 | 3,920463233 | 3,840755917 |
| 412 | 0,137591 | 2,517892605 | 3,893353102 | 3,812078146 | 3,734661147 |
| 413 | 0,140848 | 2,449172587 | 3,787016853 | 3,70805488 | 3,632833677 |
| 414 | 0,144138 | 2,383209598 | 3,684948829 | 3,608204506 | 3,535088789 |
| 415 | 0,147458 | 2,319883565 | 3,586963039 | 3,512345311 | 3,441248813 |
| 416 | 0,150808 | 2,259079165 | 3,49288086 | 3,420302769 | 3,351143099 |
| 417 | 0,154185 | 2,200685777 | 3,402530954 | 3,33190947 | 3,264607948 |
| 418 | 0,157588 | 2,144597405 | 3,315749155 | 3,247005003 | 3,181486498 |
| 419 | 0,161016 | 2,090712582 | 3,232378315 | 3,165435808 | 3,101628584 |
| 420 | 0,164467 | 2,038934257 | 3,152268131 | 3,087055008 | 3,024890568 |
| 421 | 0,167939 | 1,98916967 | 3,075274949 | 3,011722218 | 2,951135157 |
| 422 | 0,171433 | 1,941330217 | 3,001261553 | 2,93930334 | 2,880231205 |
| 423 | 0,174944 | 1,895331306 | 2,930096949 | 2,869670354 | 2,812053502 |
| 424 | 0,178473 | 1,851092218 | 2,861656142 | 2,802701094 | 2,746482563 |
| 425 | 0,182018 | 1,808535957 | 2,7958199 | 2,738279028 | 2,683404408 |
| 426 | 0,185578 | 1,767589098 | 2,732474534 | 2,676293033 | 2,622710345 |
| 427 | 0,18915 | 1,728181648 | 2,671511661 | 2,616637173 | 2,564296752 |
| 428 | 0,192734 | 1,690246891 | 2,612827983 | 2,559210478 | 2,508064861 |
| 429 | 0,196327 | 1,653721253 | 2,556325066 | 2,503916725 | 2,453920549 |
| 430 | 0,19993 | 1,618544158 | 2,501909118 | 2,450664233 | 2,401774127 |
| 431 | 0,203539 | 1,584657889 | 2,449490784 | 2,399365649 | 2,351540144 |
| 432 | 0,207154 | 1,552007464 | 2,398984933 | 2,349937754 | 2,303137184 |
| 433 | 0,210774 | 1,520540499 | 2,35031047 | 2,302301265 | 2,256487686 |
| 434 | 0,214396 | 1,490207092 | 2,303390136 | 2,25638065 | 2,211517755 |
| 435 | 0,21802 | 1,460959698 | 2,258150328 | 2,212103952 | 2,168156989 |
| 436 | 0,221644 | 1,43275302 | 2,214520921 | 2,169402609 | 2,126338308 |
| 437 | 0,225267 | 1,405543898 | 2,172435101 | 2,128211295 | 2,085997797 |
| 438 | 0,228888 | 1,379291204 | 2,131829201 | 2,08846776 | 2,047074549 |

Продолжение таблицы 12

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 439 | 0,232504 | 1,353955741 | 2,092642546 | 2,050112678 | 2,009510514 |
| 440 | 0,236116 | 1,32950015 | 2,054817306 | 2,013089501 | 1,973250363 |
| 441 | 0,239721 | 1,305888818 | 2,018298353 | 1,977344326 | 1,938241352 |
| 442 | 0,243318 | 1,283087791 | 1,983033131 | 1,942825761 | 1,904433191 |
| 443 | 0,246907 | 1,261064691 | 1,948971523 | 1,909484798 | 1,871777924 |
| 444 | 0,250485 | 1,239788641 | 1,916065735 | 1,877274699 | 1,840229814 |
| 445 | 0,254052 | 1,219230183 | 1,884270175 | 1,846150878 | 1,809745232 |
| 446 | 0,257607 | 1,199361215 | 1,853541346 | 1,816070799 | 1,780282551 |
| 447 | 0,261148 | 1,18015492 | 1,823837742 | 1,78699387 | 1,751802045 |
| 448 | 0,264674 | 1,161585703 | 1,795119747 | 1,758881348 | 1,724265799 |
| 449 | 0,268184 | 1,143629127 | 1,767349544 | 1,731696246 | 1,697637616 |
| 450 | 0,271677 | 1,126261861 | 1,740491022 | 1,705403249 | 1,671882933 |
| 451 | 0,275151 | 1,109461623 | 1,714509696 | 1,679968627 | 1,646968738 |
| 452 | 0,278607 | 1,093207126 | 1,689372623 | 1,655360161 | 1,622863497 |
| 453 | 0,282042 | 1,077478032 | 1,665048329 | 1,631547066 | 1,599537079 |
| 454 | 0,285457 | 1,062254905 | 1,641506735 | 1,608499921 | 1,576960688 |
| 455 | 0,288849 | 1,047519166 | 1,618719089 | 1,586190602 | 1,555106799 |
| 456 | 0,292218 | 1,033253052 | 1,596657902 | 1,564592222 | 1,533949092 |
| 457 | 0,295563 | 1,019439574 | 1,575296885 | 1,543679066 | 1,513462399 |
| 458 | 0,298882 | 1,006062485 | 1,554610896 | 1,52342654 | 1,493622644 |
| 459 | 0,302177 | 0,993106238 | 1,534575877 | 1,50381111 | 1,474406792 |
| 460 | 0,305444 | 0,980555956 | 1,515168809 | 1,484810258 | 1,455792801 |
| 461 | 0,308684 | 0,968397402 | 1,496367657 | 1,466402429 | 1,437759572 |
| 462 | 0,311895 | 0,956616941 | 1,478151328 | 1,448566989 | 1,420286903 |
| 463 | 0,315078 | 0,945201522 | 1,460499623 | 1,431284176 | 1,403355452 |
| 464 | 0,31823 | 0,93413864 | 1,443393197 | 1,414535067 | 1,386946692 |
| 465 | 0,321352 | 0,923416319 | 1,426813518 | 1,398301529 | 1,371042874 |
| 466 | 0,324443 | 0,913023083 | 1,410742829 | 1,382566191 | 1,355626991 |
| 467 | 0,327502 | 0,902947933 | 1,395164112 | 1,367312405 | 1,340682744 |
| 468 | 0,330528 | 0,893180326 | 1,380061055 | 1,35252421 | 1,326194509 |
| 469 | 0,33352 | 0,883710156 | 1,36541802 | 1,338186306 | 1,312147306 |
| 470 | 0,336479 | 0,874527728 | 1,35122001 | 1,32428402 | 1,29852677 |
| 471 | 0,339404 | 0,865623747 | 1,337452642 | 1,310803281 | 1,285319123 |
| 472 | 0,342293 | 0,856989295 | 1,324102119 | 1,297730587 | 1,27251115 |
| 473 | 0,345147 | 0,848615816 | 1,311155203 | 1,285052988 | 1,260090167 |
| 474 | 0,347965 | 0,840495098 | 1,298599192 | 1,272758053 | 1,248044007 |
| 475 | 0,350747 | 0,832619263 | 1,286421894 | 1,260833854 | 1,236360988 |
| 476 | 0,353491 | 0,824980744 | 1,274611607 | 1,249268939 | 1,2250299 |
| 477 | 0,356198 | 0,817572281 | 1,263157094 | 1,238052315 | 1,214039977 |
| 478 | 0,358867 | 0,810386899 | 1,252047569 | 1,227173425 | 1,203380883 |
| 479 | 0,361497 | 0,803417901 | 1,24127267 | 1,216622131 | 1,193042693 |
| 480 | 0,364089 | 0,796658857 | 1,230822449 | 1,206388697 | 1,183015871 |
| 481 | 0,366642 | 0,790103587 | 1,220687347 | 1,19646377 | 1,17329126 |
| 482 | 0,369155 | 0,783746156 | 1,210858182 | 1,186838365 | 1,163860062 |
| 483 | 0,371629 | 0,777580861 | 1,201326133 | 1,177503848 | 1,154713824 |
| 484 | 0,374063 | 0,771602224 | 1,192082725 | 1,168451926 | 1,145844422 |
| 485 | 0,376456 | 0,76580498 | 1,183119811 | 1,159674628 | 1,137244052 |
| 486 | 0,378808 | 0,760184067 | 1,174429566 | 1,151164294 | 1,128905214 |
| 487 | 0,38112 | 0,754734624 | 1,166004467 | 1,142913561 | 1,120820697 |
| 488 | 0,38339 | 0,749451976 | 1,157837284 | 1,134915356 | 1,112983574 |
| 489 | 0,385619 | 0,744331632 | 1,149921068 | 1,127162877 | 1,105387184 |
| 490 | 0,387807 | 0,739369274 | 1,142249142 | 1,119649588 | 1,098025128 |
| 500 | 0,407355 | 0,697597127 | 1,077669896 | 1,056403841 | 1,036050783 |
| 510 | 0,422596 | 0,597597127 | 0,977669896 | 0,956403841 | 0,936050783 |

Таблица 13 – Основные термодинамические параметры работы двигателя при частоте вращения 5400 мин⁻¹.

| Угол ПКВ, град. | Объем цилиндра | P _i , базовый | P _i , с наддувом (30° C) | P _i , с наддувом (40° C) | P _i , с наддувом (50° C) |
|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 230 | 0,387807 | 0,114738914 | 0,183795689 | 0,184020938 | 0,184228276 |
| 231 | 0,385619 | 0,115635599 | 0,185229749 | 0,185455706 | 0,185663506 |
| 232 | 0,38339 | 0,116561859 | 0,186711088 | 0,186937768 | 0,187146035 |
| 233 | 0,38112 | 0,117518566 | 0,1882411 | 0,188468519 | 0,188677258 |
| 234 | 0,378808 | 0,11850663 | 0,189821239 | 0,190049411 | 0,190258628 |
| 235 | 0,376456 | 0,119527 | 0,191453021 | 0,191681959 | 0,191891658 |
| 236 | 0,374063 | 0,120580665 | 0,193138025 | 0,193367745 | 0,19357793 |
| 237 | 0,371629 | 0,121668657 | 0,194877899 | 0,195108415 | 0,195319091 |
| 238 | 0,369155 | 0,122792053 | 0,196674364 | 0,19690569 | 0,197116858 |
| 239 | 0,366642 | 0,123951975 | 0,198529211 | 0,198761361 | 0,198973024 |
| 240 | 0,364089 | 0,125149594 | 0,200444312 | 0,200677299 | 0,200889458 |
| 241 | 0,361497 | 0,126386133 | 0,202421618 | 0,202655455 | 0,202868111 |
| 242 | 0,358867 | 0,127662867 | 0,204463165 | 0,204697867 | 0,204911019 |
| 243 | 0,356198 | 0,128981127 | 0,206571081 | 0,206806658 | 0,207020306 |
| 244 | 0,353491 | 0,130342302 | 0,208747582 | 0,208984047 | 0,20919819 |
| 245 | 0,350747 | 0,131747843 | 0,210994985 | 0,21123235 | 0,211446984 |
| 246 | 0,347965 | 0,133199265 | 0,21331571 | 0,213553985 | 0,213769106 |
| 247 | 0,345147 | 0,134698149 | 0,215712282 | 0,215951478 | 0,21616708 |
| 248 | 0,342293 | 0,136246149 | 0,218187339 | 0,218427466 | 0,218643543 |
| 249 | 0,339404 | 0,13784499 | 0,220743639 | 0,220984705 | 0,22120125 |
| 250 | 0,336479 | 0,139496477 | 0,223384061 | 0,223626076 | 0,223843078 |
| 251 | 0,33352 | 0,141202496 | 0,226111618 | 0,226354589 | 0,226572037 |
| 252 | 0,330528 | 0,142965019 | 0,228929456 | 0,229173389 | 0,22939127 |
| 253 | 0,327502 | 0,144786107 | 0,231840867 | 0,232085768 | 0,232304068 |
| 254 | 0,324443 | 0,146667916 | 0,234849294 | 0,235095166 | 0,235313868 |
| 255 | 0,321352 | 0,148612703 | 0,237958337 | 0,238205185 | 0,238424269 |
| 256 | 0,31823 | 0,150622828 | 0,241171766 | 0,24141959 | 0,241639036 |
| 257 | 0,315078 | 0,152700763 | 0,244493523 | 0,244742324 | 0,244962108 |
| 258 | 0,311895 | 0,154849093 | 0,247927739 | 0,248177515 | 0,24839761 |
| 259 | 0,308684 | 0,157070528 | 0,251478736 | 0,251729484 | 0,25194986 |
| 260 | 0,305444 | 0,159367906 | 0,255151043 | 0,255402758 | 0,255623383 |
| 261 | 0,302177 | 0,161744197 | 0,258949405 | 0,259202079 | 0,259422917 |
| 262 | 0,298882 | 0,16420252 | 0,262878793 | 0,263132417 | 0,263353429 |
| 263 | 0,295563 | 0,166746138 | 0,266944419 | 0,267198981 | 0,267420123 |
| 264 | 0,292218 | 0,169378476 | 0,271151748 | 0,271407233 | 0,271628457 |
| 265 | 0,288849 | 0,172103125 | 0,27550651 | 0,275762901 | 0,275984154 |
| 266 | 0,285457 | 0,174923853 | 0,280014717 | 0,280271993 | 0,280493219 |
| 267 | 0,282042 | 0,177844614 | 0,284682679 | 0,284940814 | 0,285161952 |
| 268 | 0,278607 | 0,180869558 | 0,289517016 | 0,289775983 | 0,289996964 |
| 269 | 0,275151 | 0,184003041 | 0,29452468 | 0,294784447 | 0,295005197 |
| 270 | 0,271677 | 0,18724964 | 0,299712971 | 0,299973503 | 0,300193941 |
| 271 | 0,268184 | 0,190614161 | 0,30508956 | 0,305350814 | 0,305570854 |
| 272 | 0,264674 | 0,194101656 | 0,310662504 | 0,310924434 | 0,311143982 |
| 273 | 0,261148 | 0,197717434 | 0,316440272 | 0,316702826 | 0,316921778 |
| 274 | 0,257607 | 0,201467077 | 0,322431768 | 0,322694887 | 0,322913133 |
| 275 | 0,254052 | 0,205356453 | 0,328646354 | 0,328909975 | 0,329127394 |
| 276 | 0,250485 | 0,209391737 | 0,335093879 | 0,33535793 | 0,335574392 |
| 277 | 0,246907 | 0,213579426 | 0,341784704 | 0,342049105 | 0,342264468 |
| 278 | 0,243318 | 0,217926356 | 0,348729732 | 0,348994396 | 0,349208509 |

Продолжение таблицы 13

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 279 | 0,239721 | 0,222439724 | 0,355940441 | 0,356205272 | 0,356417969 |
| 280 | 0,236116 | 0,227127107 | 0,363428916 | 0,363693807 | 0,36390491 |
| 281 | 0,232504 | 0,231996487 | 0,371207882 | 0,371472718 | 0,371682034 |
| 282 | 0,228888 | 0,237056269 | 0,379290746 | 0,379555398 | 0,379762719 |
| 283 | 0,225267 | 0,242315312 | 0,387691631 | 0,387955959 | 0,38816106 |
| 284 | 0,221644 | 0,247782949 | 0,39642542 | 0,39668927 | 0,39689191 |
| 285 | 0,21802 | 0,25346902 | 0,4055078 | 0,405771005 | 0,405970922 |
| 286 | 0,214396 | 0,259383898 | 0,414955307 | 0,415217685 | 0,415414597 |
| 287 | 0,210774 | 0,265538519 | 0,424785378 | 0,425046729 | 0,425240331 |
| 288 | 0,207154 | 0,271944418 | 0,435016398 | 0,435276504 | 0,435466468 |
| 289 | 0,203539 | 0,278613758 | 0,445667759 | 0,445926382 | 0,446112355 |
| 290 | 0,19993 | 0,285559372 | 0,456759913 | 0,457016796 | 0,457198395 |
| 291 | 0,196327 | 0,292794795 | 0,468314435 | 0,468569297 | 0,468746111 |
| 292 | 0,192734 | 0,30033431 | 0,480354085 | 0,48060662 | 0,480778207 |
| 293 | 0,18915 | 0,30819298 | 0,492902874 | 0,49315275 | 0,493318631 |
| 294 | 0,185578 | 0,316386704 | 0,505986133 | 0,506232989 | 0,506392649 |
| 295 | 0,182018 | 0,324932249 | 0,519630584 | 0,51987403 | 0,520026914 |
| 296 | 0,178473 | 0,333847309 | 0,533864417 | 0,534104027 | 0,534249537 |
| 297 | 0,174944 | 0,343150544 | 0,548717366 | 0,548952678 | 0,54909017 |
| 298 | 0,171433 | 0,352861636 | 0,564220787 | 0,564451301 | 0,564580082 |
| 299 | 0,167939 | 0,363001341 | 0,580407745 | 0,580632919 | 0,580752241 |
| 300 | 0,164467 | 0,373591536 | 0,597313092 | 0,597532339 | 0,597641397 |
| 301 | 0,161016 | 0,384655282 | 0,614973559 | 0,615186243 | 0,615284169 |
| 302 | 0,157588 | 0,396216869 | 0,633427837 | 0,633633267 | 0,633719129 |
| 303 | 0,154185 | 0,408301877 | 0,652716664 | 0,652914095 | 0,652986888 |
| 304 | 0,150808 | 0,420937226 | 0,672882912 | 0,673071538 | 0,67313018 |
| 305 | 0,147458 | 0,434151231 | 0,693971671 | 0,694150617 | 0,694193945 |
| 306 | 0,144138 | 0,447973649 | 0,716030324 | 0,716198647 | 0,716225409 |
| 307 | 0,140848 | 0,46243573 | 0,739108624 | 0,739265305 | 0,739274153 |
| 308 | 0,137591 | 0,477570254 | 0,763258761 | 0,763402697 | 0,763392184 |
| 309 | 0,134367 | 0,493411572 | 0,788535417 | 0,788665419 | 0,788633988 |
| 310 | 0,131177 | 0,50999563 | 0,814995812 | 0,815110596 | 0,815056574 |
| 311 | 0,128024 | 0,527359988 | 0,842699728 | 0,842797909 | 0,842719499 |
| 312 | 0,124909 | 0,545543827 | 0,871709519 | 0,871789605 | 0,871684878 |
| 313 | 0,121833 | 0,564587934 | 0,902090091 | 0,902150475 | 0,902017361 |
| 314 | 0,118798 | 0,584534673 | 0,933908853 | 0,933947804 | 0,933784084 |
| 315 | 0,115805 | 0,605427931 | 0,96723563 | 0,967251286 | 0,967054582 |
| 316 | 0,112855 | 0,627313038 | 1,00214253 | 1,002132893 | 1,001900657 |
| 317 | 0,10995 | 0,650236648 | 1,038703763 | 1,038666686 | 1,038396194 |
| 318 | 0,107091 | 0,674246585 | 1,076995388 | 1,076928569 | 1,07661691 |
| 319 | 0,104279 | 0,699391641 | 1,117094992 | 1,116995967 | 1,116640032 |
| 320 | 0,101516 | 0,725721322 | 1,159081285 | 1,158947417 | 1,158543891 |
| 321 | 0,098803 | 0,753285524 | 1,203033585 | 1,202862056 | 1,202407413 |
| 322 | 0,096142 | 0,782134147 | 1,249031194 | 1,248819004 | 1,248309491 |
| 323 | 0,093532 | 0,812316614 | 1,297152647 | 1,296896599 | 1,296328237 |
| 324 | 0,090977 | 0,843881308 | 1,347474798 | 1,347171498 | 1,346540073 |
| 325 | 0,088477 | 0,876874891 | 1,400071746 | 1,399717599 | 1,399018657 |
| 326 | 0,086032 | 0,911341512 | 1,455013571 | 1,454604777 | 1,453833625 |
| 327 | 0,083646 | 0,947321884 | 1,512364861 | 1,511897413 | 1,51104912 |
| 328 | 0,081317 | 0,984852206 | 1,572183001 | 1,571652693 | 1,570722094 |
| 329 | 0,079048 | 1,024165491 | 1,634516232 | 1,633918661 | 1,632900363 |
| 330 | 0,07684 | 1,065149239 | 1,699401424 | 1,698732001 | 1,697620401 |
| 331 | 0,074694 | 1,107934104 | 1,766819454 | 1,766115555 | 1,764904856 |

Продолжение таблицы 13

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 332 | 0,07261 | 1,152698783 | 1,836917332 | 1,836075548 | 1,834759785 |
| 333 | 0,07059 | 1,199674917 | 1,909891808 | 1,90859853 | 1,907171604 |
| 334 | 0,068634 | 1,249151864 | 1,986022567 | 1,90859853 | 1,982103771 |
| 335 | 0,066745 | 1,301481088 | 2,065680708 | 1,983293278 | 2,059493217 |
| 336 | 0,064922 | 1,357079811 | 2,149336871 | 2,060582245 | 2,138655388 |
| 337 | 0,063166 | 1,416433498 | 2,237568425 | 2,140655062 | 2,220265433 |
| 338 | 0,061479 | 1,480096721 | 2,331065054 | 2,223808013 | 2,304563779 |
| 339 | 0,05986 | 1,548691851 | 2,430631894 | 2,310454981 | 2,391947904 |
| 340 | 0,058312 | 1,622905084 | 2,537189296 | 2,401137489 | 2,48298799 |
| 341 | 0,056835 | 1,703479258 | 2,651768226 | 2,496532955 | 2,578440521 |
| 342 | 0,055428 | 1,791203046 | 2,775500307 | 2,597460044 | 2,679258188 |
| 343 | 0,054094 | 1,886896184 | 2,909601619 | 2,704879845 | 2,786594171 |
| 344 | 0,052833 | 1,991390557 | 3,055349508 | 2,819891501 | 2,901798635 |
| 345 | 0,051644 | 2,10550713 | 3,214051984 | 2,943720895 | 3,026405227 |
| 346 | 0,05053 | 2,23002893 | 3,387009581 | 3,07770113 | 3,162105538 |
| 347 | 0,04949 | 2,365670457 | 3,575469999 | 3,223243808 | 3,310709916 |
| 348 | 0,048526 | 2,513044156 | 3,780576258 | 3,381800547 | 3,474093718 |
| 349 | 0,047636 | 2,672624749 | 4,003309551 | 3,554814724 | 3,654129027 |
| 350 | 0,046823 | 2,844712467 | 4,244428393 | 3,743664072 | 3,852602896 |
| 351 | 0,046085 | 3,029396434 | 4,504406063 | 3,949595458 | 4,071124295 |
| 352 | 0,045425 | 3,226519659 | 4,783368719 | 4,17365377 | 4,311022919 |
| 353 | 0,044841 | 3,435647305 | 5,081036863 | 4,41660744 | 4,573243871 |
| 354 | 0,044335 | 3,656040042 | 5,396673136 | 4,678873559 | 4,858242908 |
| 355 | 0,043906 | 3,886634402 | 5,729039599 | 4,960445933 | 5,16588743 |
| 356 | 0,043555 | 4,12603199 | 6,076367705 | 5,260829663 | 5,495368759 |
| 357 | 0,043281 | 4,37249931 | 6,43634407 | 5,578985996 | 5,845131481 |
| 358 | 0,043086 | 4,623979576 | 6,806114796 | 5,913291247 | 6,21282566 |
| 359 | 0,042969 | 4,878117462 | 7,182310485 | 6,261513454 | 6,595287468 |
| 360 | 0,04293 | 5,132297108 | 7,561093247 | 6,620810093 | 6,988553199 |
| 361 | 0,042969 | 5,383692952 | 7,938225924 | 6,987749586 | 7,387910482 |
| 362 | 0,043086 | 5,629332226 | 8,309162453 | 7,358358427 | 7,787988872 |
| 363 | 0,043281 | 5,866167131 | 8,669157042 | 7,728194563 | 8,182889829 |
| 364 | 0,043555 | 6,091154058 | 9,013388465 | 8,092446246 | 8,566353479 |
| 365 | 0,043906 | 6,301336644 | 9,337094695 | 8,446054019 | 8,931956747 |
| 366 | 0,044335 | 6,493929088 | 9,635712158 | 8,78385184 | 9,273334635 |
| 367 | 0,044841 | 6,666396033 | 9,905013379 | 9,100721918 | 9,584413908 |
| 368 | 0,045425 | 6,816525401 | 10,14123657 | 9,391756541 | 9,859646581 |
| 369 | 0,046085 | 6,942490883 | 10,34120099 | 9,652419303 | 10,09422952 |
| 370 | 0,046823 | 7,042901336 | 10,50240257 | 9,878697741 | 10,28429649 |
| 371 | 0,047636 | 7,116834985 | 10,62308514 | 10,06723946 | 10,42707003 |
| 372 | 0,048526 | 7,163857151 | 10,70228419 | 10,21546452 | 10,52096301 |
| 373 | 0,04949 | 7,184021023 | 10,73984106 | 10,32164795 | 10,56562255 |
| 374 | 0,05053 | 7,177851888 | 10,73638757 | 10,38496789 | 10,56191344 |
| 375 | 0,051644 | 7,146315948 | 10,69330225 | 10,40551688 | 10,51184231 |
| 376 | 0,052833 | 7,090775638 | 10,61264096 | 10,38427576 | 10,41842813 |
| 377 | 0,054094 | 7,012933844 | 10,49704593 | 10,32305209 | 10,28552896 |
| 378 | 0,055428 | 6,914769896 | 10,34963827 | 10,22438695 | 10,11763743 |
| 379 | 0,056835 | 6,798470444 | 10,17389964 | 10,09143591 | 9,91965995 |
| 380 | 0,058312 | 6,666358369 | 9,973549051 | 9,927831301 | 9,696694773 |
| 381 | 0,05986 | 6,520822842 | 9,752420845 | 9,737533911 | 9,453823408 |
| 382 | 0,061479 | 6,364253305 | 9,514349236 | 9,524682529 | 9,195927616 |
| 383 | 0,063166 | 6,198979824 | 9,263064313 | 9,293449368 | 8,927541055 |
| 384 | 0,064922 | 6,027221695 | 9,002103163 | 9,047908577 | 8,652740843 |
| 385 | 0,066745 | 5,85104564 | 8,734738725 | 8,791923637 | 8,375080379 |

Продолжение таблицы 13

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 386 | 0,068634 | 5,672334298 | 8,463927666 | 8,529057656 | 8,09756115 |
| 387 | 0,07059 | 5,492765117 | 8,192277339 | 8,262508699 | 7,822638362 |
| 388 | 0,07261 | 5,313799207 | 7,922030777 | 7,995070317 | 7,552253296 |
| 389 | 0,074694 | 5,136679237 | 7,655067736 | 7,729115758 | 7,287884409 |
| 390 | 0,07684 | 4,962435107 | 7,392919145 | 7,466602884 | 7,030609288 |
| 391 | 0,079048 | 4,791895889 | 7,136791904 | 7,209095893 | 6,781170493 |
| 392 | 0,081317 | 4,625706427 | 6,887600902 | 6,957799414 | 6,558157228 |
| 393 | 0,083646 | 4,464347002 | 6,646005208 | 6,713600501 | 6,342975924 |
| 394 | 0,086032 | 4,30815458 | 6,412445776 | 6,477114407 | 6,135547329 |
| 395 | 0,088477 | 4,157344363 | 6,187182431 | 6,248730636 | 5,935757545 |
| 396 | 0,090977 | 4,012030602 | 5,970328478 | 5,848957094 | 5,743464176 |
| 397 | 0,093532 | 3,882629127 | 5,761881809 | 5,660377908 | 5,558501782 |
| 398 | 0,096142 | 3,758234292 | 5,561751885 | 5,479092779 | 5,380686679 |
| 399 | 0,098803 | 3,638707229 | 5,369782425 | 5,30489952 | 5,209821141 |
| 400 | 0,101516 | 3,523901817 | 5,185769923 | 5,137585366 | 5,045697044 |
| 401 | 0,104279 | 3,413666885 | 5,009478368 | 4,976930182 | 4,888099006 |
| 402 | 0,107091 | 3,307848088 | 4,840650669 | 4,822709203 | 4,736807072 |
| 403 | 0,10995 | 3,206289503 | 4,67901731 | 4,67469535 | 4,591598994 |
| 404 | 0,112855 | 3,108834973 | 4,638173673 | 4,532661196 | 4,452252148 |
| 405 | 0,115805 | 3,015329222 | 4,498609149 | 4,396380588 | 4,318545135 |
| 406 | 0,118798 | 2,925618777 | 4,364711195 | 4,265629991 | 4,190259093 |
| 407 | 0,121833 | 2,839552723 | 4,236254392 | 4,14018959 | 4,067178781 |
| 408 | 0,124909 | 2,7569833 | 4,113018045 | 4,019844159 | 3,949093434 |
| 409 | 0,128024 | 2,677766383 | 3,994786893 | 3,904383759 | 3,835797447 |
| 410 | 0,131177 | 2,601761843 | 3,88135165 | 3,793604269 | 3,727090897 |
| 411 | 0,134367 | 2,528833818 | 3,772509408 | 3,68730778 | 3,622779929 |
| 412 | 0,137591 | 2,458850906 | 3,668063926 | 3,585302874 | 3,522677038 |
| 413 | 0,140848 | 2,39168629 | 3,567825813 | 3,487404808 | 3,42660124 |
| 414 | 0,144138 | 2,327217801 | 3,471612627 | 3,393435607 | 3,334378175 |
| 415 | 0,147458 | 2,265327943 | 3,379248905 | 3,303224102 | 3,245840138 |
| 416 | 0,150808 | 2,205903875 | 3,290566139 | 3,216605899 | 3,160826054 |
| 417 | 0,154185 | 2,14883736 | 3,205402703 | 3,133423311 | 3,07918141 |
| 418 | 0,157588 | 2,09402469 | 3,123603734 | 3,053525248 | 3,000758149 |
| 419 | 0,161016 | 2,041366593 | 3,045020997 | 2,976767076 | 2,925414537 |
| 420 | 0,164467 | 1,99076812 | 2,969512716 | 2,903010461 | 2,853015001 |
| 421 | 0,167939 | 1,942138522 | 2,896943387 | 2,832123186 | 2,78342996 |
| 422 | 0,171433 | 1,895391121 | 2,827183586 | 2,763978961 | 2,716535635 |
| 423 | 0,174944 | 1,850443168 | 2,760109759 | 2,698457218 | 2,652213851 |
| 424 | 0,178473 | 1,807215701 | 2,695604011 | 2,63544291 | 2,590351838 |
| 425 | 0,182018 | 1,765633403 | 2,633553888 | 2,574826296 | 2,530842023 |
| 426 | 0,185578 | 1,725624456 | 2,573852162 | 2,516502732 | 2,473581825 |
| 427 | 0,18915 | 1,687120397 | 2,516396616 | 2,46037246 | 2,418473447 |
| 428 | 0,192734 | 1,650055972 | 2,461089828 | 2,4063404 | 2,365423678 |
| 429 | 0,196327 | 1,614369002 | 2,407838964 | 2,354315948 | 2,314343686 |
| 430 | 0,19993 | 1,58000024 | 2,356555572 | 2,304212773 | 2,265148831 |
| 431 | 0,203539 | 1,546893242 | 2,307155384 | 2,255948626 | 2,217758467 |
| 432 | 0,207154 | 1,514994233 | 2,259558121 | 2,209445149 | 2,172095763 |
| 433 | 0,210774 | 1,484251985 | 2,213687304 | 2,164627693 | 2,128087521 |
| 434 | 0,214396 | 1,454617698 | 2,169470079 | 2,121425143 | 2,085664007 |
| 435 | 0,21802 | 1,426044877 | 2,126837039 | 2,079769748 | 2,044758781 |
| 436 | 0,221644 | 1,398489227 | 2,085722058 | 2,039596959 | 2,005308543 |
| 437 | 0,225267 | 1,371908543 | 2,046062132 | 2,000845272 | 1,967252975 |
| 438 | 0,228888 | 1,34626261 | 2,007797226 | 1,963456081 | 1,930534602 |
| 439 | 0,232504 | 1,3215131 | 1,970870128 | 1,927373533 | 1,895098644 |

Продолжение таблицы 13

| | | | | | |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 440 | 0,236116 | 1,297623484 | 1,935226309 | 1,892544394 | 1,86089289 |
| 441 | 0,239721 | 1,274558941 | 1,900813789 | 1,858917917 | 1,827867567 |
| 442 | 0,243318 | 1,252286274 | 1,867583013 | 1,826445723 | 1,795975219 |
| 443 | 0,246907 | 1,230773825 | 1,835486728 | 1,795081676 | 1,765170594 |
| 444 | 0,250485 | 1,209991404 | 1,80447987 | 1,764781779 | 1,735410533 |
| 445 | 0,254052 | 1,189910215 | 1,774519451 | 1,735504063 | 1,706653867 |
| 446 | 0,257607 | 1,170502781 | 1,745564463 | 1,707208484 | 1,678861315 |
| 447 | 0,261148 | 1,151742885 | 1,717575772 | 1,679856835 | 1,651995394 |
| 448 | 0,264674 | 1,133605505 | 1,690516028 | 1,653412646 | 1,626020324 |
| 449 | 0,268184 | 1,116066753 | 1,664349577 | 1,627841102 | 1,600901952 |
| 450 | 0,271677 | 1,09910382 | 1,639042374 | 1,603108961 | 1,576607664 |
| 451 | 0,275151 | 1,082694924 | 1,614561909 | 1,579184476 | 1,553106311 |
| 452 | 0,278607 | 1,066819257 | 1,590877124 | 1,556037321 | 1,530368139 |
| 453 | 0,282042 | 1,051456938 | 1,567958346 | 1,533638519 | 1,508364716 |
| 454 | 0,285457 | 1,036588969 | 1,54577722 | 1,511960379 | 1,487068872 |
| 455 | 0,288849 | 1,022197188 | 1,524306639 | 1,490976432 | 1,466454636 |
| 456 | 0,292218 | 1,008264233 | 1,50352069 | 1,470661371 | 1,446497173 |
| 457 | 0,295563 | 0,9947735 | 1,483394592 | 1,450990995 | 1,427172737 |
| 458 | 0,298882 | 0,981709106 | 1,46390464 | 1,431942156 | 1,40845861 |
| 459 | 0,302177 | 0,969055857 | 1,445028159 | 1,413492705 | 1,39033306 |
| 460 | 0,305444 | 0,956799213 | 1,426743447 | 1,395621451 | 1,372775287 |
| 461 | 0,308684 | 0,944925257 | 1,409029734 | 1,378308107 | 1,355765386 |
| 462 | 0,311895 | 0,933420666 | 1,391867137 | 1,361533253 | 1,339284296 |
| 463 | 0,315078 | 0,922272681 | 1,375236616 | 1,345278295 | 1,323313767 |
| 464 | 0,31823 | 0,911469084 | 1,359119935 | 1,329525421 | 1,307836319 |
| 465 | 0,321352 | 0,90099817 | 1,343499626 | 1,314257568 | 1,292835206 |
| 466 | 0,324443 | 0,890848722 | 1,32835895 | 1,29945839 | 1,278294382 |
| 467 | 0,327502 | 0,881009992 | 1,313681868 | 1,285112219 | 1,26419847 |
| 468 | 0,330528 | 0,871471678 | 1,299453005 | 1,271204035 | 1,250532727 |
| 469 | 0,33352 | 0,862223902 | 1,285657618 | 1,257719442 | 1,237283022 |
| 470 | 0,336479 | 0,853257191 | 1,272281574 | 1,244644632 | 1,224435801 |
| 471 | 0,339404 | 0,844562462 | 1,259311316 | 1,231966362 | 1,211978067 |
| 472 | 0,342293 | 0,836131 | 1,246733838 | 1,21967193 | 1,199897348 |
| 473 | 0,345147 | 0,827954444 | 1,234536666 | 1,207749148 | 1,188181681 |
| 474 | 0,347965 | 0,820024771 | 1,222707825 | 1,19618632 | 1,176819585 |
| 475 | 0,350747 | 0,81233428 | 1,211235825 | 1,184972222 | 1,16580004 |
| 476 | 0,353491 | 0,804875581 | 1,200109636 | 1,174096079 | 1,155112469 |
| 477 | 0,356198 | 0,797641576 | 1,18931867 | 1,163547546 | 1,144746716 |
| 478 | 0,358867 | 0,790625453 | 1,178852758 | 1,15331669 | 1,13469303 |
| 479 | 0,361497 | 0,783820668 | 1,168702136 | 1,143393973 | 1,124942046 |
| 480 | 0,364089 | 0,777220936 | 1,158857426 | 1,133770234 | 1,115484769 |
| 481 | 0,366642 | 0,77082022 | 1,149309622 | 1,124436671 | 1,106312559 |
| 482 | 0,369155 | 0,764612723 | 1,140050069 | 1,115384832 | 1,097417117 |
| 483 | 0,371629 | 0,758592871 | 1,131070454 | 1,106606595 | 1,088790467 |
| 484 | 0,374063 | 0,752755312 | 1,122362789 | 1,098094154 | 1,080424946 |
| 485 | 0,376456 | 0,747094901 | 1,113919397 | 1,089840011 | 1,072313192 |
| 486 | 0,378808 | 0,741606695 | 1,105732903 | 1,081836958 | 1,064448128 |
| 487 | 0,38112 | 0,736285943 | 1,097796217 | 1,074078071 | 1,056822953 |
| 488 | 0,38339 | 0,731128079 | 1,090102526 | 1,066556691 | 1,04943113 |
| 489 | 0,385619 | 0,726128713 | 1,082645282 | 1,059266421 | 1,042266378 |
| 490 | 0,387807 | 0,721283629 | 1,075418191 | 1,052201113 | 1,035322658 |
| 500 | 0,407355 | 0,680499778 | 1,014584479 | 0,992727643 | 0,976870457 |
| 510 | 0,422596 | 0,580499778 | 0,914584479 | 0,892727643 | 0,876870457 |

Выводы по 2-му разделу бакалаврской работы

Тепловой расчет показал значительное влияние охлаждения наддувочного воздуха на мощностные и экономические характеристики работы двигателя. Получено, что для эффективного использования малолитражного двигателя даже со средним наддувом необходимо применять системы охлаждения наддувочного воздуха. Также необходимо контролировать условия воспламенения и горения при работе с наддувом для недопущения появления нарушения нормального процесса сгорания в виде детонации. Для этого следует контролировать максимальную температуру в процессе сгорания, как вариант — это применение систем анализа ионного тока проводимости в зоне свечи зажигания, где анализ плазмы за фронтом пламени покажет температурное состояние и своевременно контроля за процессом сгорания без детонации.

3 Кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя

3.1 Кинематический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя

Кинематический расчет для центрального кривошипно-шатунного механизма проектируемого двигателя (радиус кривошипа 37,8 мм, а длина шатуна 132,3 мм) проводился по известным методикам приведенным в [1,2], при частоте вращения коленчатого вала 6000 мин^{-1} .

Результаты расчета перемещения, скорости и ускорения поршня приведены на рисунках 11, 12 и 13.

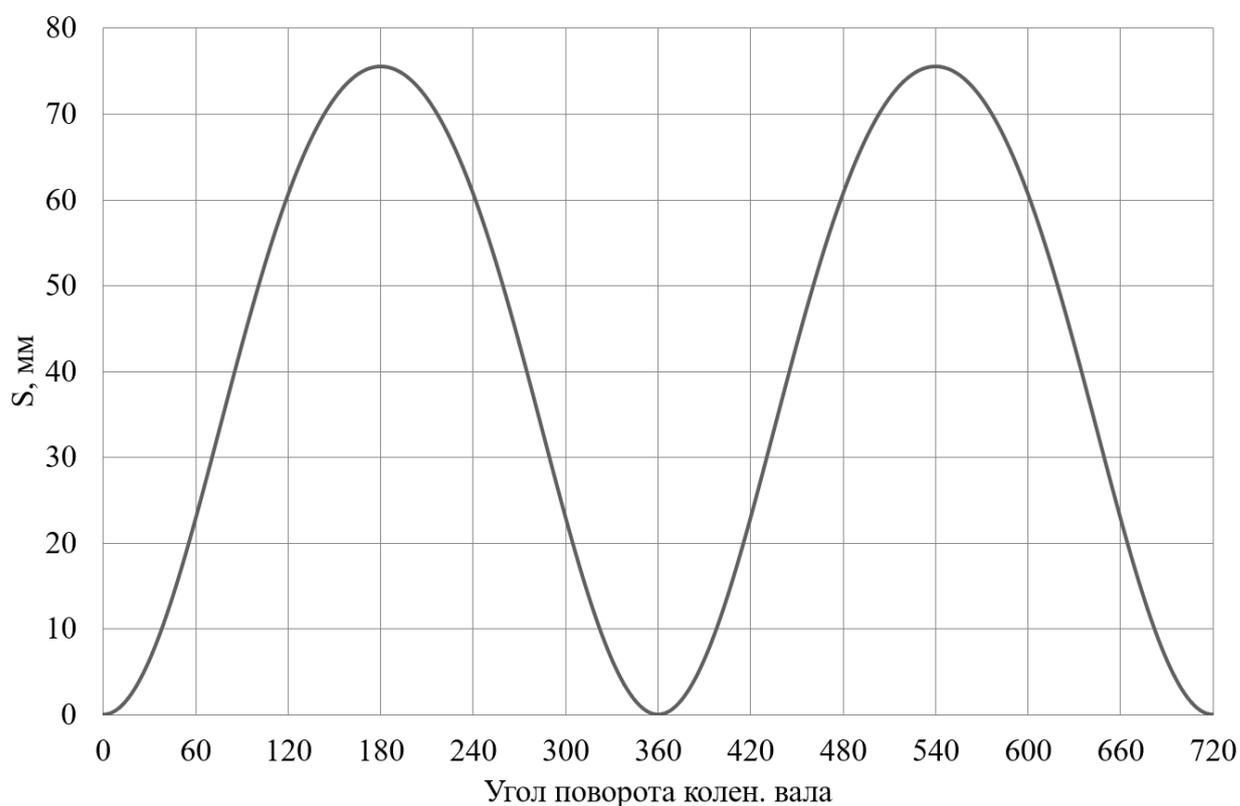


Рисунок 11 – Диаграмма изменения хода поршня

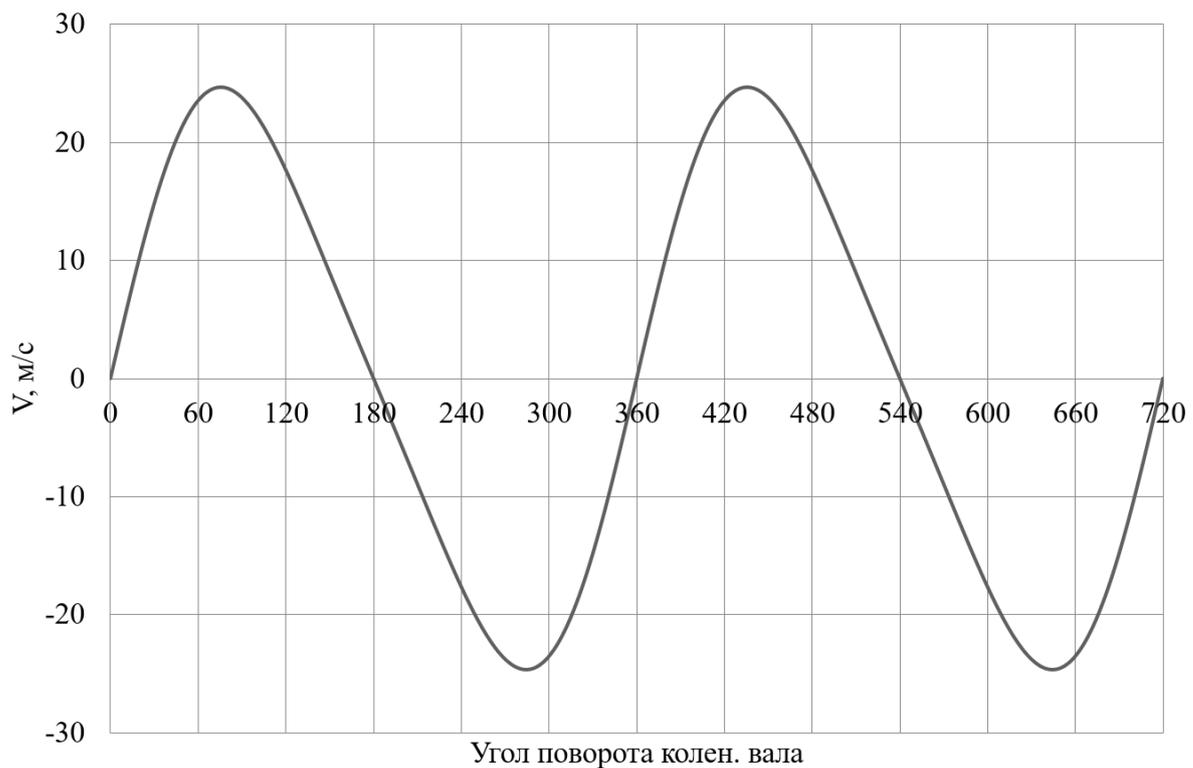


Рисунок 12 – Диаграмма изменения скорости поршня

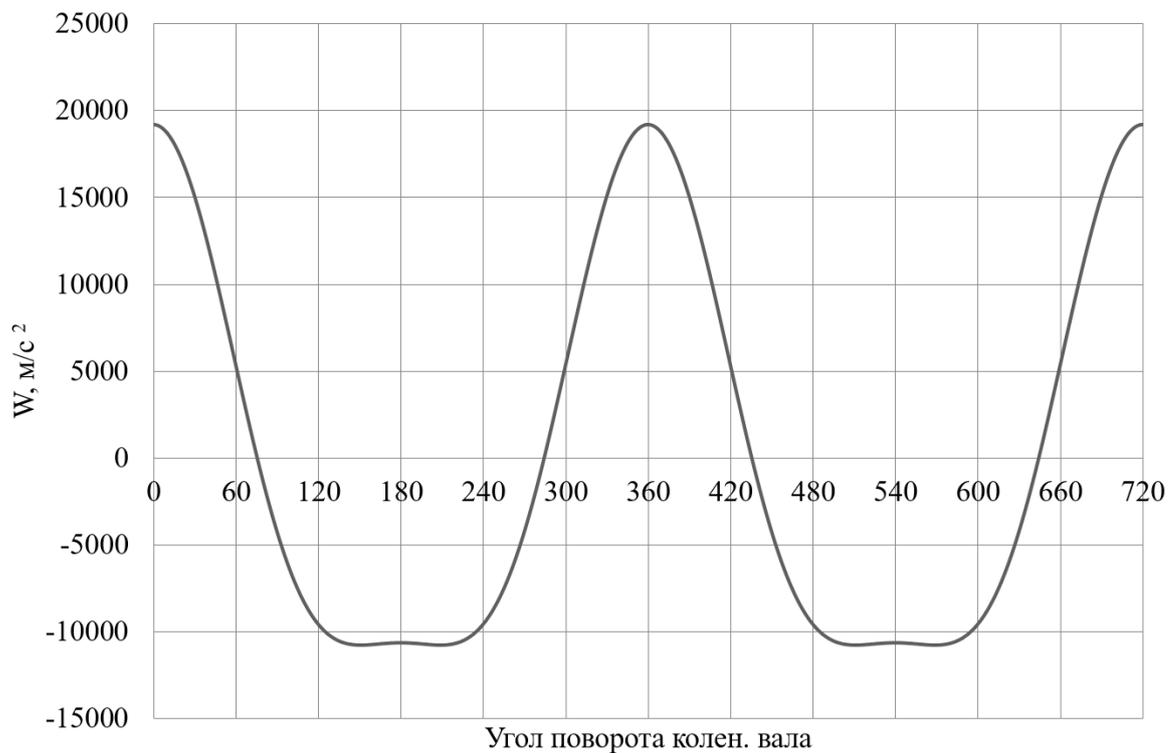


Рисунок 13 – Диаграмма изменения ускорения поршня

По результатам кинематического расчета мы можем определить инерционные силы в динамическом расчете.

3.2 Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя

3.2.1 Расчет основных сил и моментов действующих в КШМ

Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма проектируемого двигателя проводился по известным методикам приведенным в [1,2], при частоте вращения коленчатого вала 6000 мин^{-1} , для условий работы в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 °С, соответственно.

Результаты приведение масс кривошипно-шатунного механизма по двух массовой схеме показаны в таблице 14.

Таблица 14 – Приведение масс кривошипно-шатунного механизма

| Параметр | Величина |
|--|------------|
| Площадь поршня, м^2 | 0,00528102 |
| Удельная масса поршня, $\text{кг}/\text{м}^2$ | 80 |
| Масса поршневой группы, кг | 0,42248 |
| Удельная масса шатуна, $\text{кг}/\text{м}^2$ | 130 |
| Масса шатуна, кг | 0,68653 |
| Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца, кг | 0,189 |
| Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа, кг | 0,49774 |
| Удельная масса одного колена вала, $\text{кг}/\text{м}^2$ | 125 |
| Масса неуравновешенных частей одного колена вала, кг | 0,6601 |
| Массы, совершающие возвратно-поступательное движение | 0,611 |
| Массы, совершающие вращательное движение | 1,15786 |
| Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна, Н | -7427,63 |
| Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа, Н | -9851 |
| Центробежная сила инерции вращающихся масс, Н | -17279 |

Результаты расчета приведены в виде графиков. На рисунке 14 приведены силы инерции возвратно-поступательного движения.

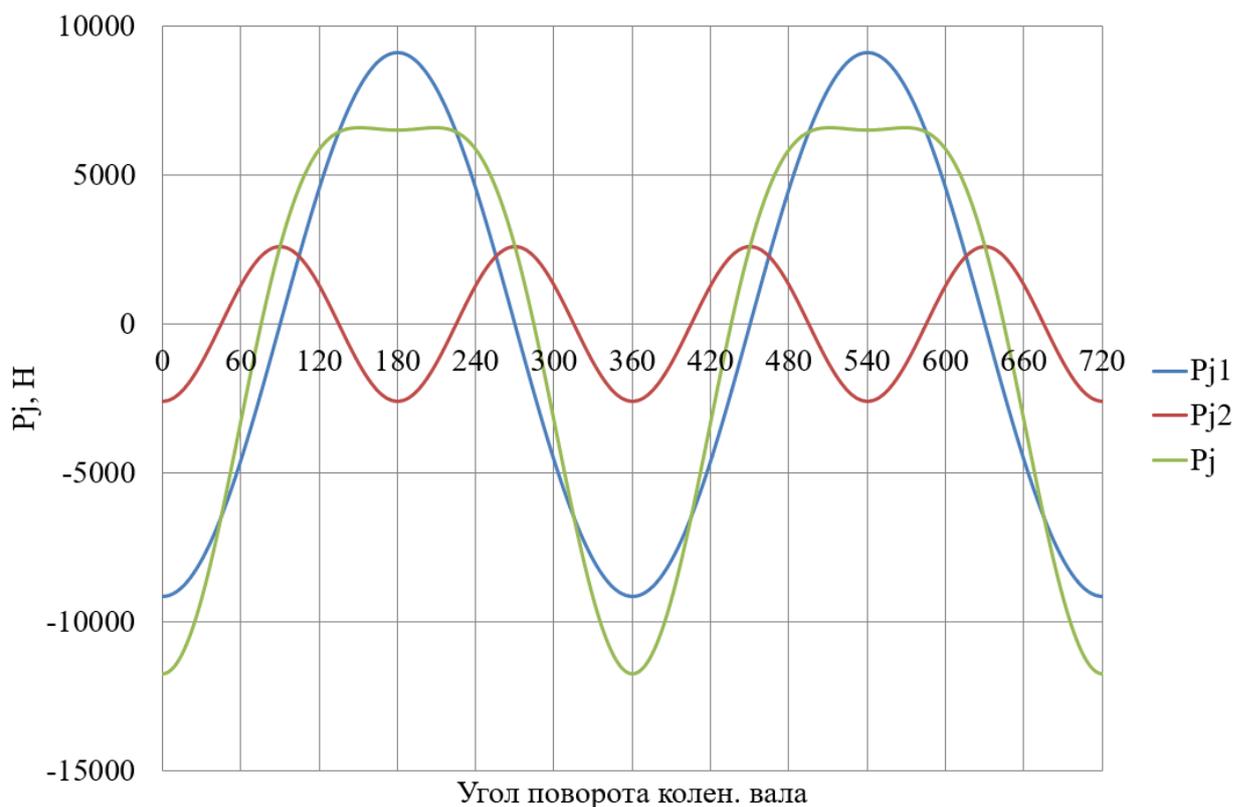


Рисунок 14 – Силы инерции возвратно-поступательного движения поршня и шатуна

На рисунках 15 и 16 приведено сравнение суммарных сил, действующих на поршневой палец двигателя при работе в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно.

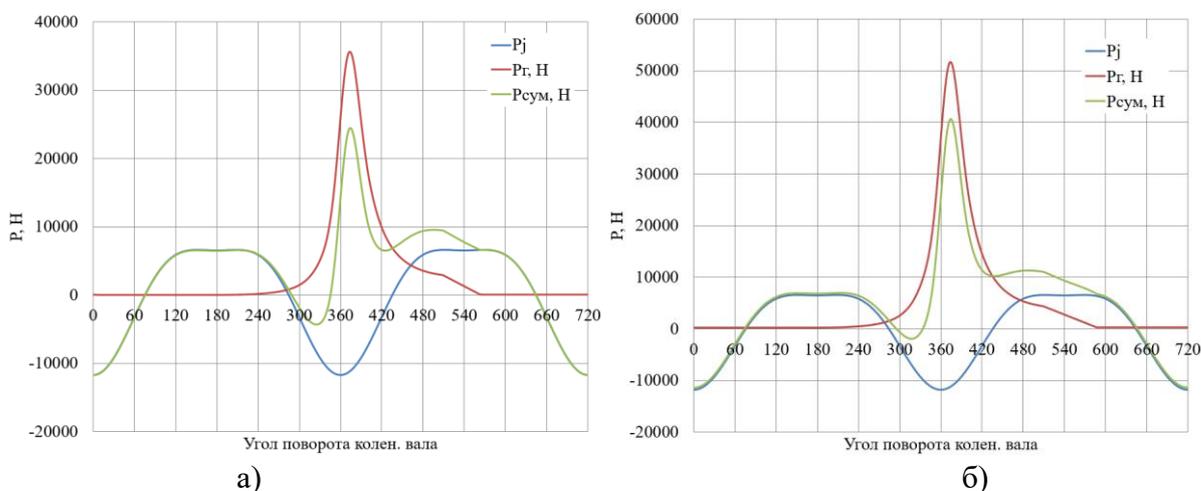


Рисунок 15 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха до 30° С

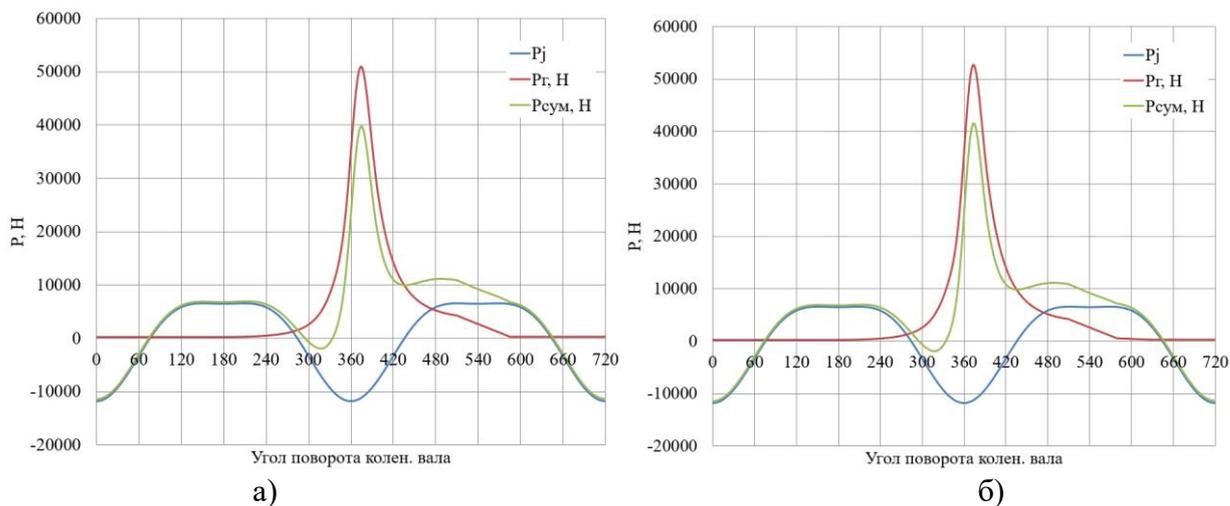


Рисунок 16 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха: (а) до 40° С и (б) до 50° С

На рисунках 17 и 18 приведено сравнение сил, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно. Видим, что наддув приводит к значительному увеличению изгибающих коленчатый вал сил. Принципиального влияния температуры наддувочного воздуха на максимальные значения сил, сосредоточенных в поршневом пальце, не наблюдается.

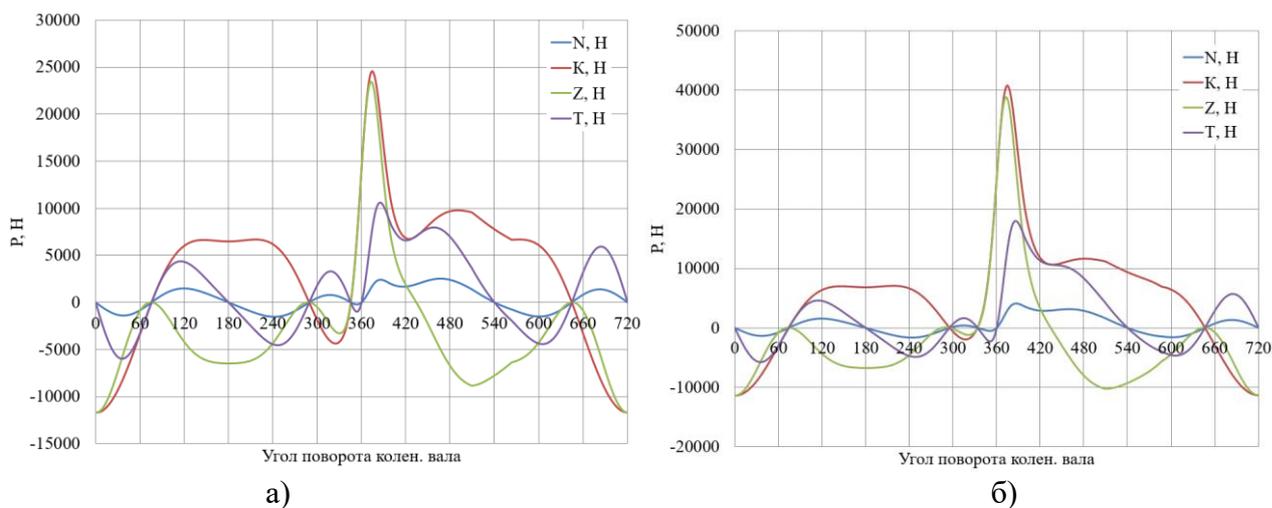


Рисунок 17 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха до 30° С

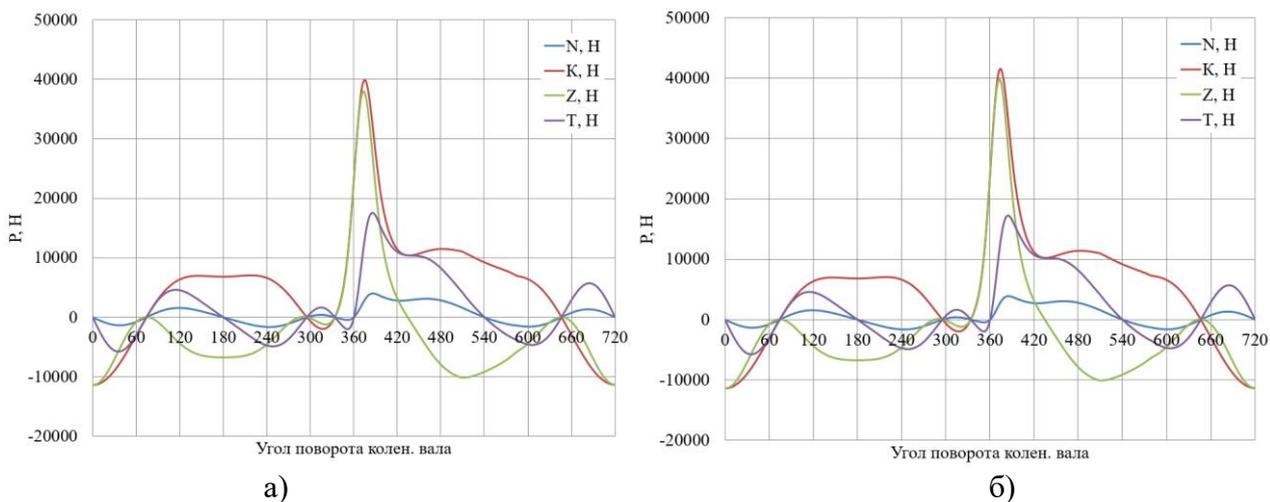


Рисунок 18 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха: (а) до 40° С и (б) до 50° С

На рисунках 19 и 20 приведено сравнение крутящего момента двигателя в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно.

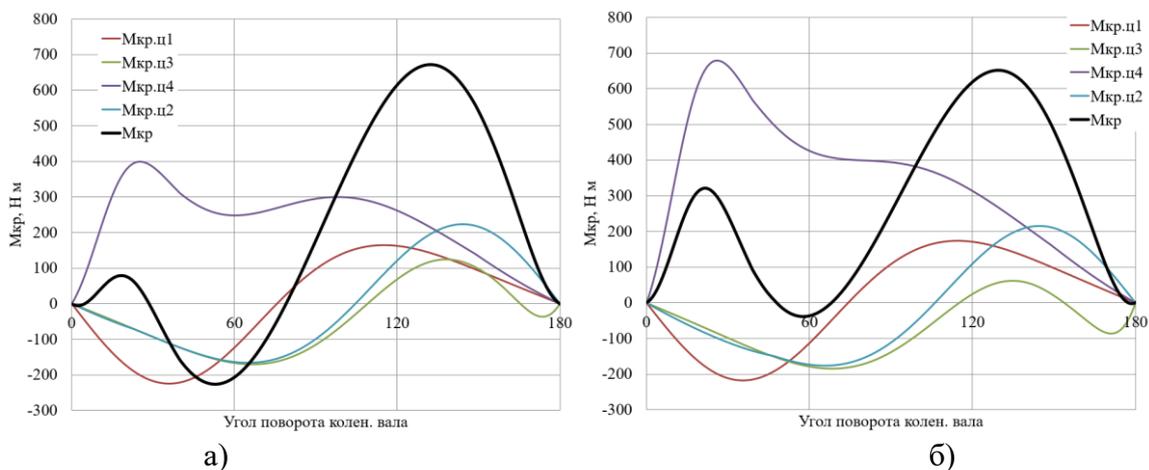


Рисунок 19 – График крутящего момента: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха до 30° С

Расчет основных сил и моментов, действующих в КШМ, показал, что наибольшую проблему вызывает рост изгибающих шейки коленчатого вала сил. Для оценки прочностных параметров рассчитаем нагрузки, действующие на колено вала.

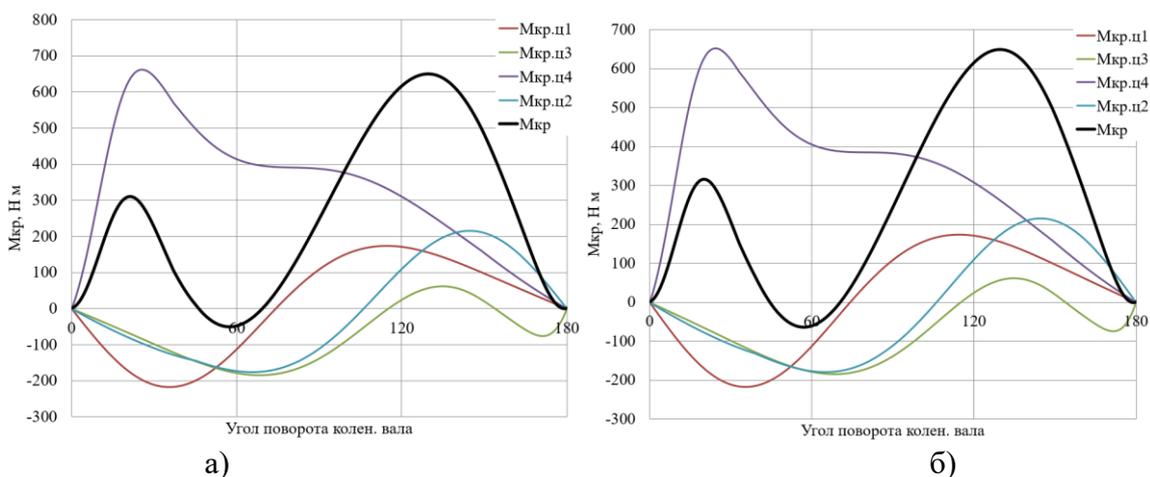


Рисунок 20 – График крутящего момента при степени сжатия при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха: (а) до 40° С и (б) до 50° С

3.2.2 Расчет сил, действующих на шатунную и коренные шейки коленчатого вала

На рисунках 21 и 22 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в прямоугольных координатах в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно. Видим, что с применением наддува резко возрастают нагрузки в зоне пикового давления 350 – 380 градусов ПКВ. Рост нагрузки составляет 16000 Н, что составляет 50% нагрузки при работе атмосферного двигателя.

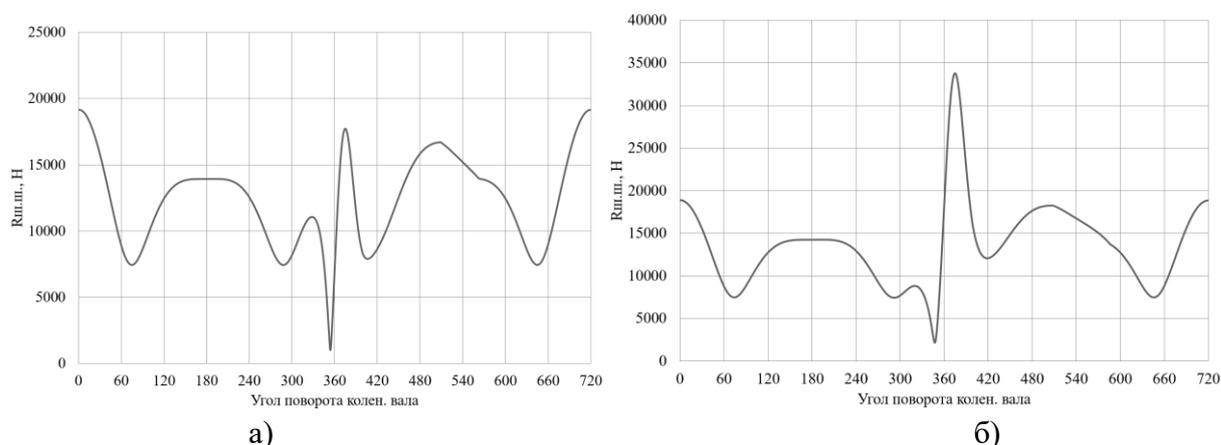


Рисунок 21 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха до 30° С

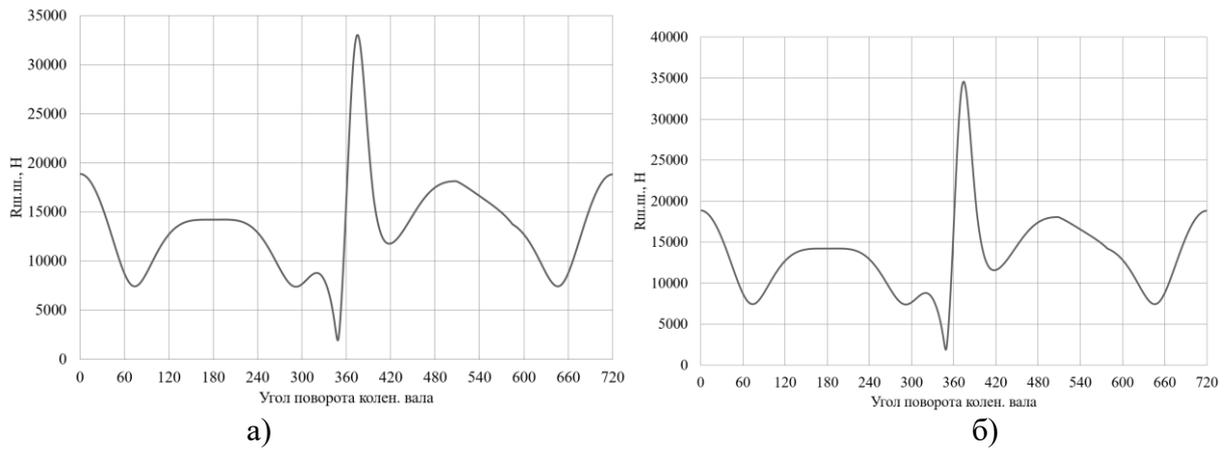


Рисунок 22 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха: (а) до 40° С и (б) до 50° С

На рисунках 23 и 24 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в полярных координатах в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно. Видим, что с наддувом, происходит рост нагрузки на одном лишь участке шатунной шейки.

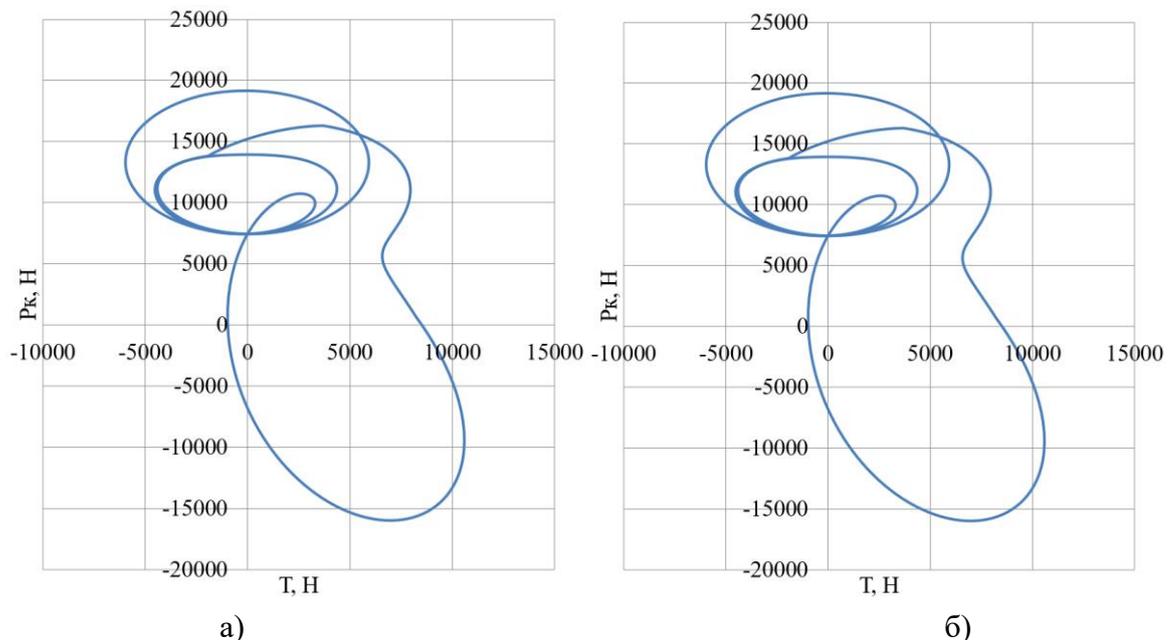


Рисунок 23 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха до 30° С

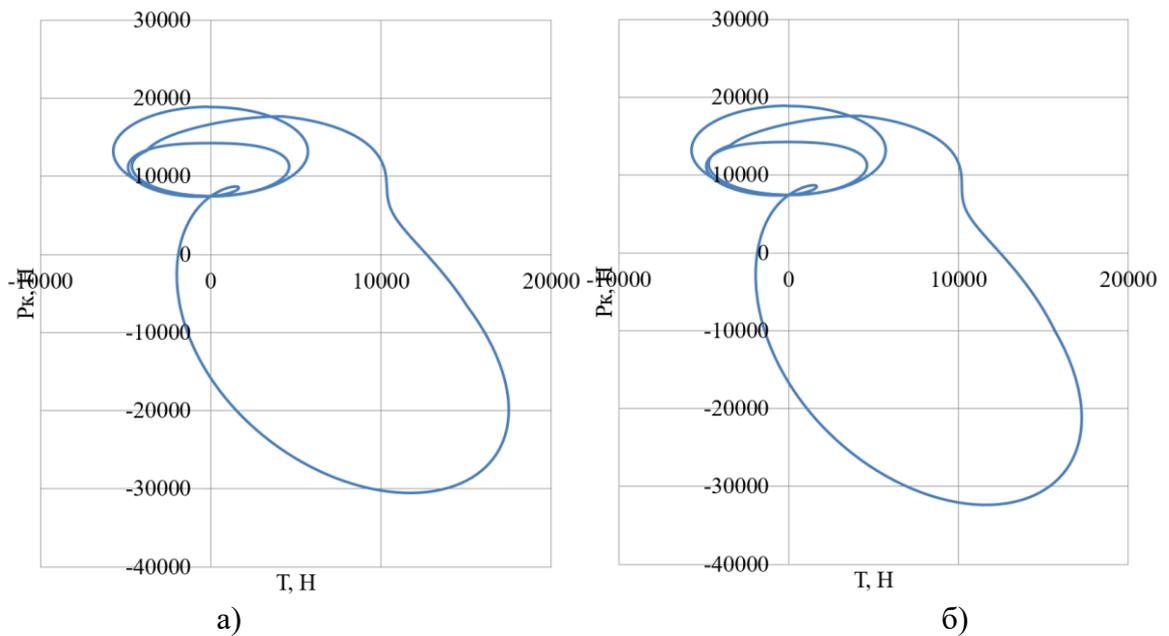


Рисунок 24 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха: (а) до 40° С и (б) до 50° С

На рисунках 25 и 26 приведено сравнение суммарных сил, действующих на коренные шейки в прямоугольных координатах в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно.

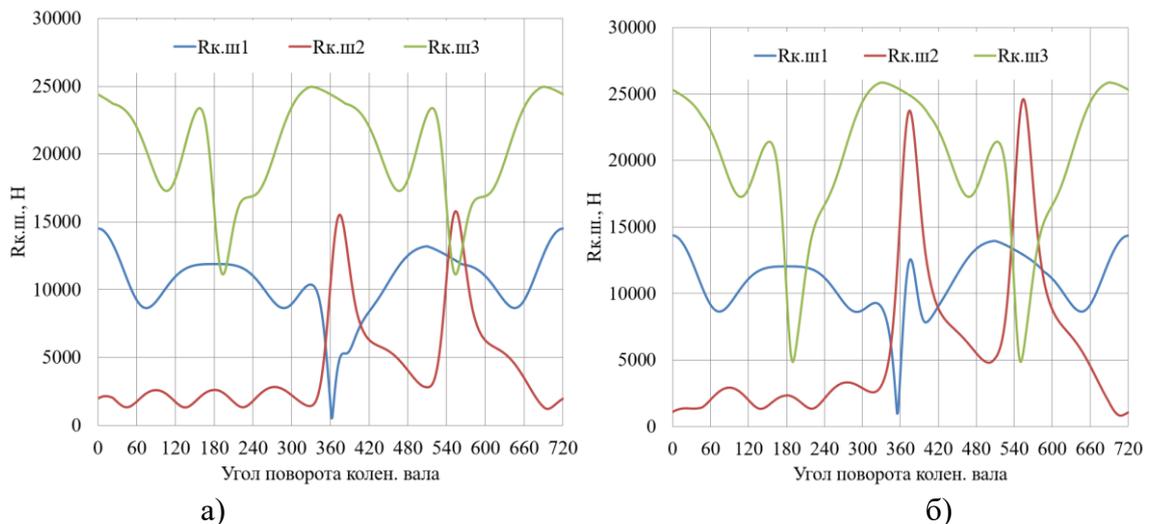


Рисунок 25 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха до 30° С

Видим, что с наддувом, также растут нагрузки в зонах действия максимального давления. Видно, что имеются зоны низких нагрузок в

независимости от степени охлаждения наддувочного воздуха, в этой зоне и рекомендуется расположить ось масляного канала.

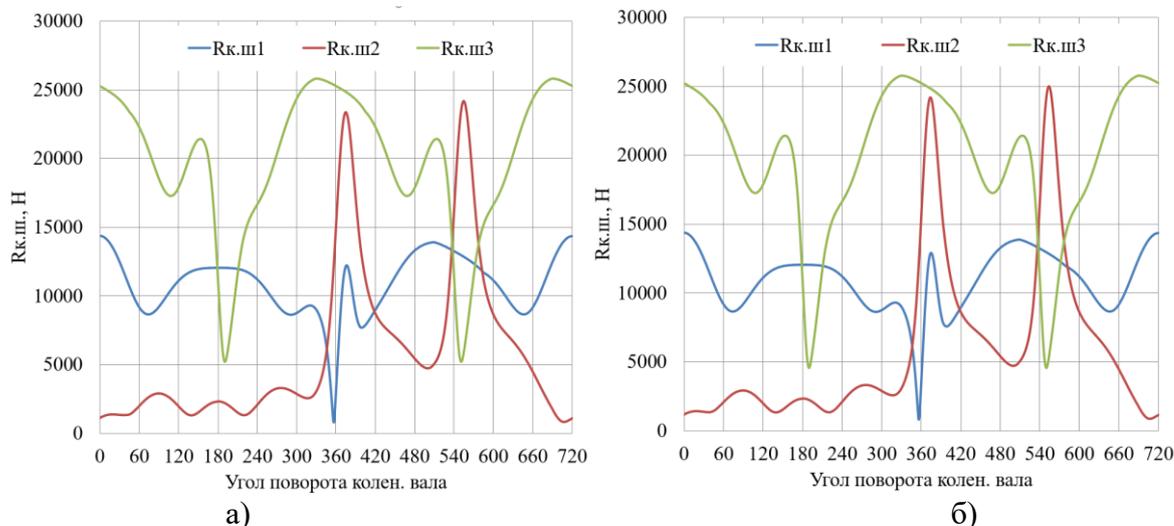
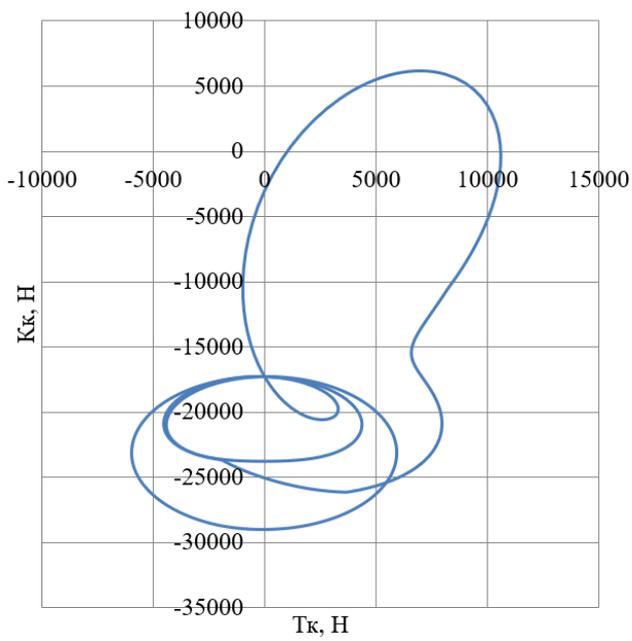
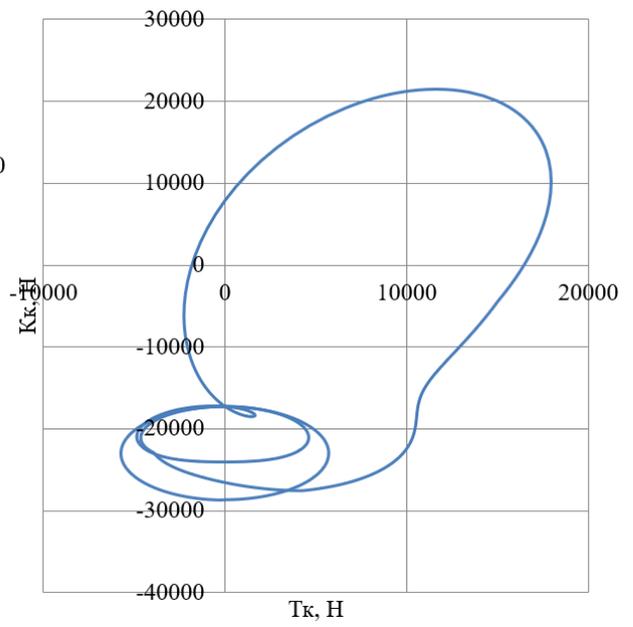


Рисунок 26 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах при наддуве и охлаждением наддувочного воздуха: (а) до 40° С и (б) до 50° С

На рисунках 27 и 28 приведено сравнение суммарных сил, действующих на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе в базовом варианте двигателя и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно. Видим, что с наддувом, значительно возрастают нагрузки на одну часть коренной шейки, что позволяет для повышения износостойкости провести целевое упрочнение этой более нагруженной части коренной шейки. Видно, что имеются зоны низких нагрузок в независимости от степени охлаждения наддувочного воздуха, в этой зоне и рекомендуется расположить ось масляного канала.

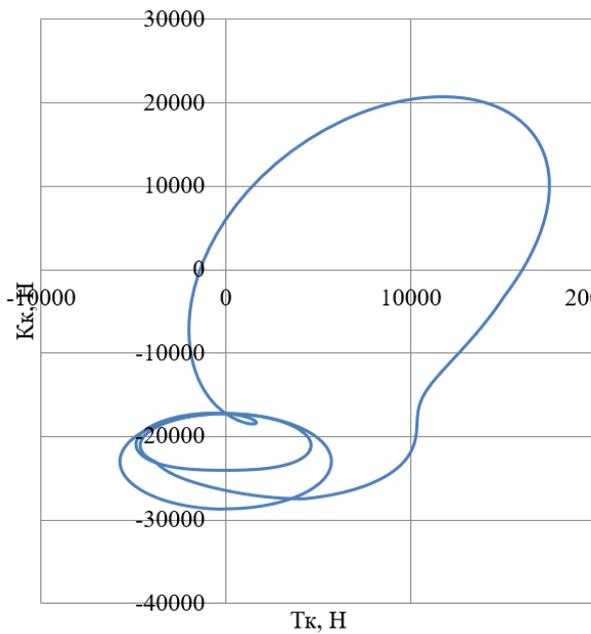


а)

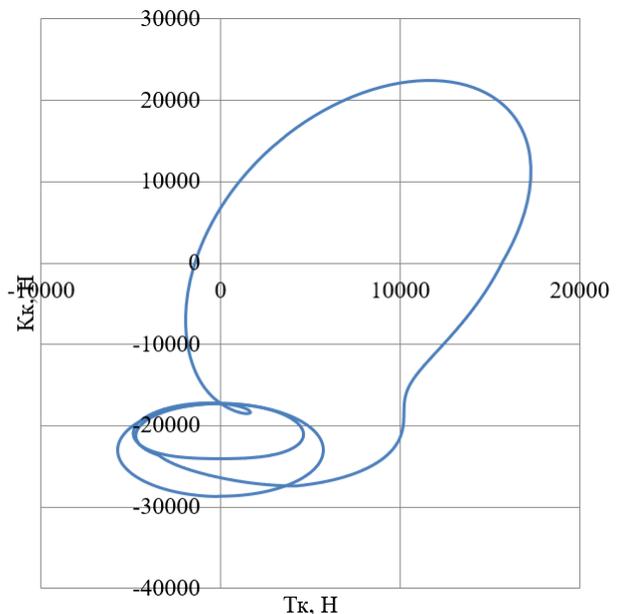


б)

Рисунок 27 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах: (а) базовый двигатель и (б) при наддуве и охлаждении наддувочного воздуха до 30°C



а)



б)

Рисунок 28 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при наддуве и охлаждении наддувочного воздуха: (а) до 40°C и (б) до 50°C

Выводы по 3-му разделу

Как мы видим повышение степени охлаждения наддувочного воздуха не приводит к принципиальному снижению нагрузок и принципиальным сложностям, связанным со снижением ресурса элементов кривошипно-шатунного механизма. Имеются локальные постоянные зоны повышенных нагрузок, с углом повышенного нагружения примерно в 40 градусов ПКВ. Узость зоны повышенных нагрузок позволяет, говорить об возможности эффективного локального упрочнения, что позволяет не повышать значительно габариты элементов КШМ. Применение наддува само по себе является значительным испытанием для элементов КШМ, а охлаждение наддувочного воздуха принципиально не снижает нагрузки. Охлаждение наддувочного воздуха в первую очередь влияет на условия тепловой напряженности в камере сгорания и условия образования очагов детонационного горения.

4 Анализ влияния охлаждения наддувочного воздуха на рабочий процесс ДВС с турбонаддувом

4.1 Влияния охлаждения наддувочного воздуха на максимальную температуру и давление цикла

Сравнивая величины максимального давления и максимальной температуры в цилиндре двигателя (рисунок 29), следует отметить повышение максимальной температуры цикла более 3000 К для условий применения наддува при температуре наддувочного воздуха после охладителя 50 ° С и более, а также значения максимального давления в цилиндре двигателя в районе 12 МПа для степени сжатия 10,3. Это говорит о невозможности проведения нормального процесса сгорания без охлаждения наддувочного воздуха хотя бы до 40 ° С. А охлаждение до 30 ° С позволяет работать в очень комфортных условиях по температуре близким к условиям процесса сгорания без наддува.

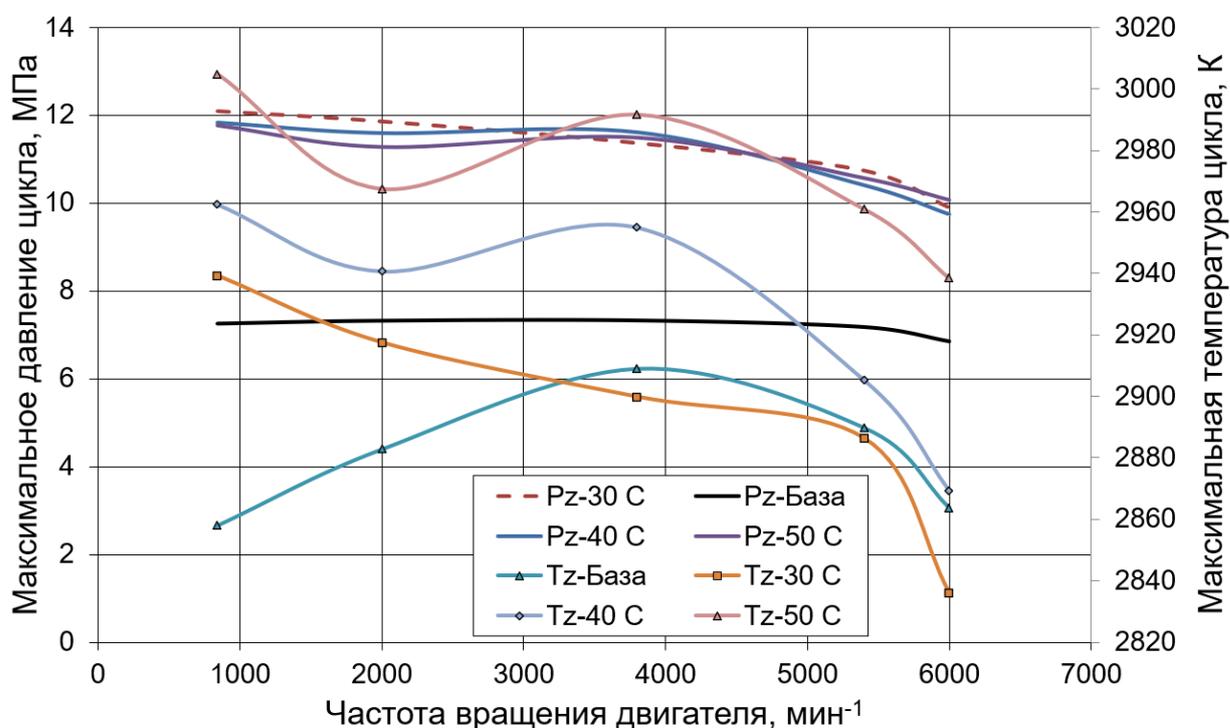


Рисунок 29 – Сравнение величины максимального давления и максимальной температуры в цилиндре двигателя при работе в базовом варианте и при наддуве со степенью повышения давления 1,6 и охлаждением наддувочного воздуха до 30, 40 и 50 ° С, соответственно.

Для оценки токсичности проведем сравнение изменения температуры в процессе сгорания (рисунки 30 – 34).

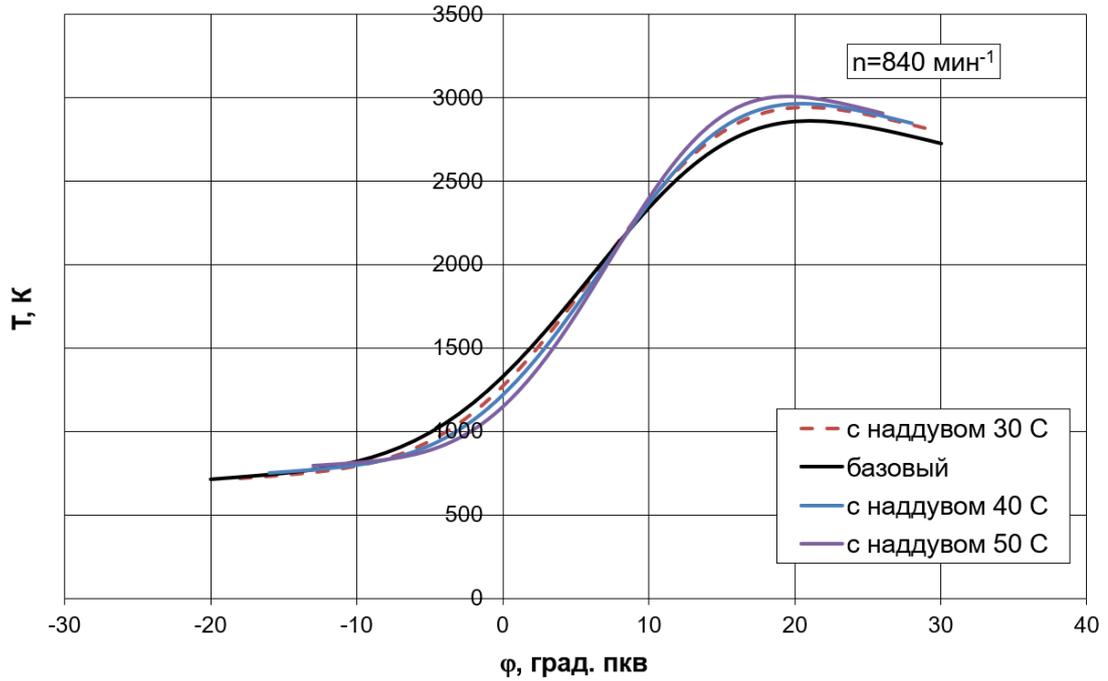


Рисунок 30 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 840 мин⁻¹

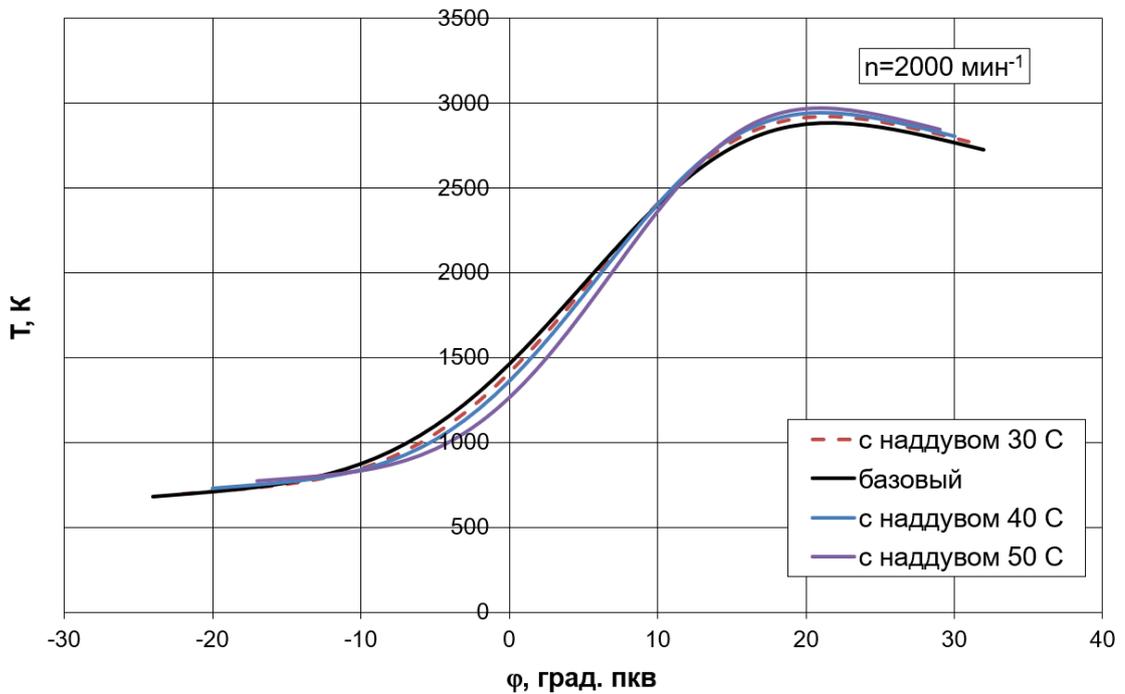


Рисунок 31 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 2000 мин⁻¹

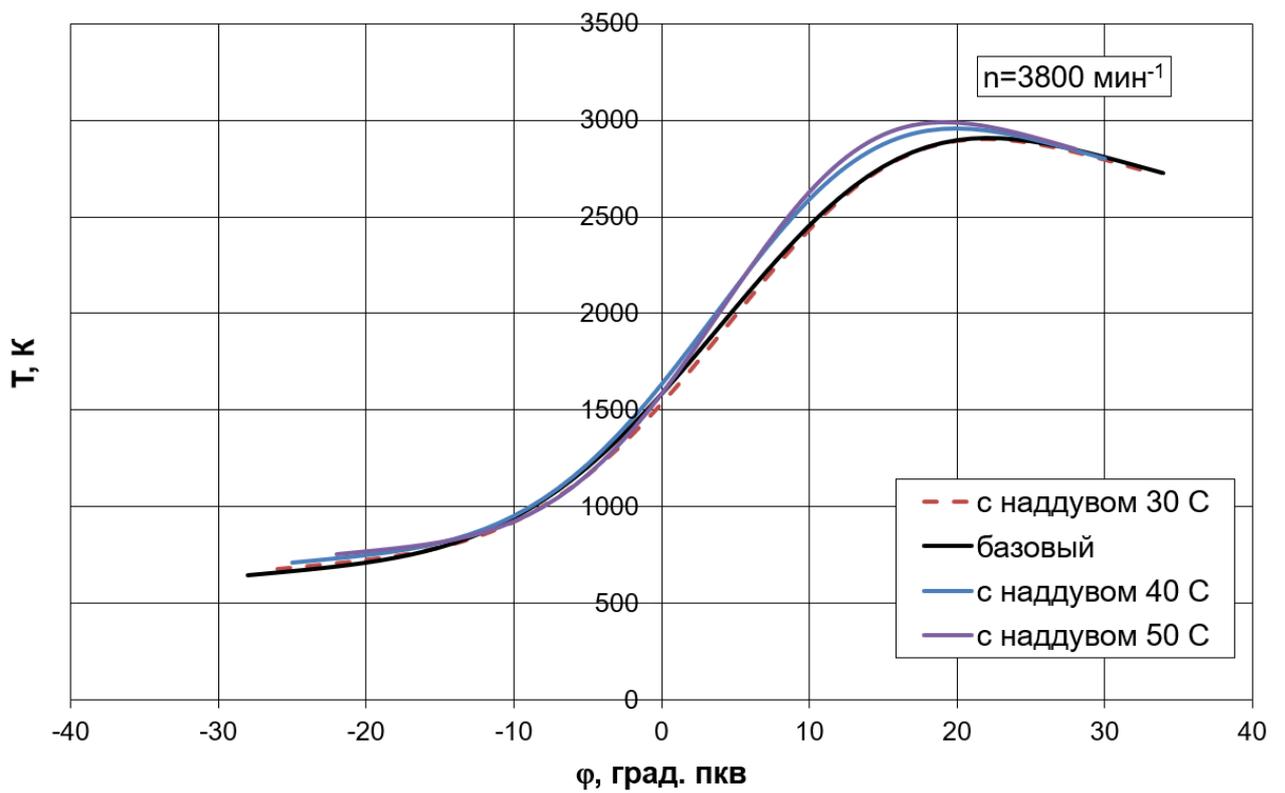


Рисунок 32 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 3400 мин^{-1}

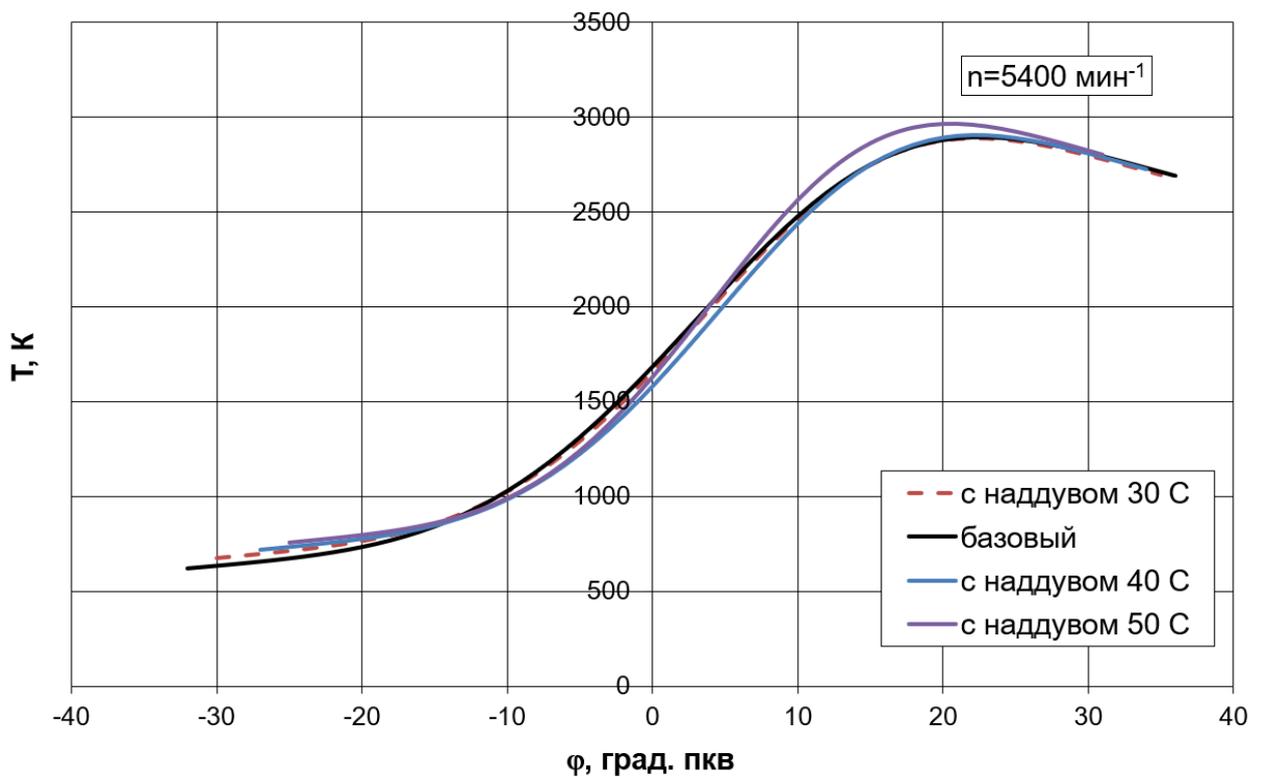


Рисунок 33 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 4800 мин^{-1}

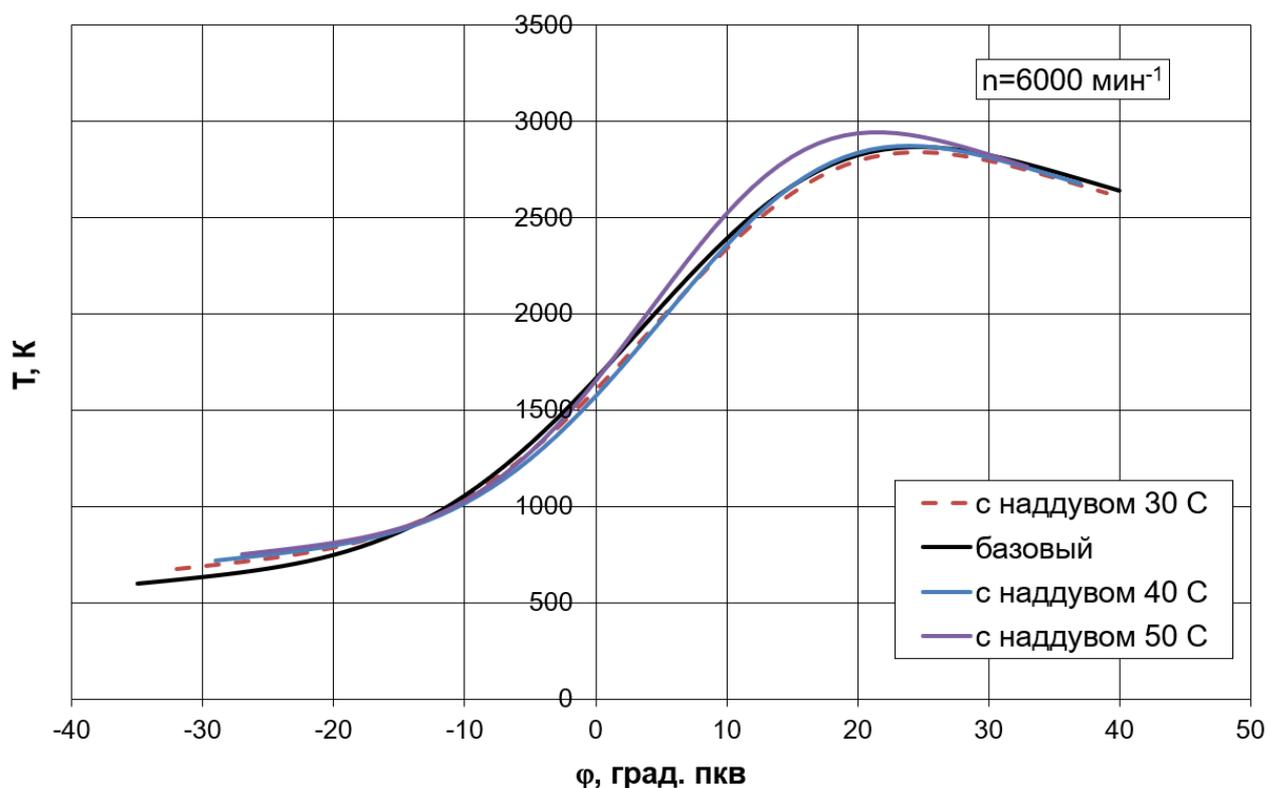


Рисунок 34 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 5200 мин^{-1}

Проводя анализ средней температуры в цилиндре двигателя во время сгорания по рисункам 30 – 34, можно отметить, необходимость уменьшения угла опережения зажигания для условий слабого охлаждения наддувочного воздуха, а именно 50 С и более, что позволит провести перевод процесса сгорания в зону расширения с меньшими температурами. Иначе мы получаем повышенные значения по выбросам оксидов азота и риск возникновения детонационного сгорания. Оценивая влияние данных результатов, следует сказать, что повышение давления и температуры в процессе сгорания за счет наддува приводит к повышению полноты сгорания, и, следовательно, к снижению выбросов продуктов неполного сгорания, таких как углеводороды и монооксид углерода. С ростом частоты вращения увеличиваются границы детонации и на высоких оборотах позволяет несколько увеличить степень наддува, что увеличит мощностные показатели.

4.2 Влияния охлаждения наддувочного воздуха на эффективные показатели цикла

Проводить анализ эффективных показателей работы двигателя правильнее всего по графическому изображению внешней скоростной характеристики (рисунки 35 – 38). Для атмосферного двигателя (рисунок 35), наблюдаем снижение крутящего момента при увеличении частоты вращения.

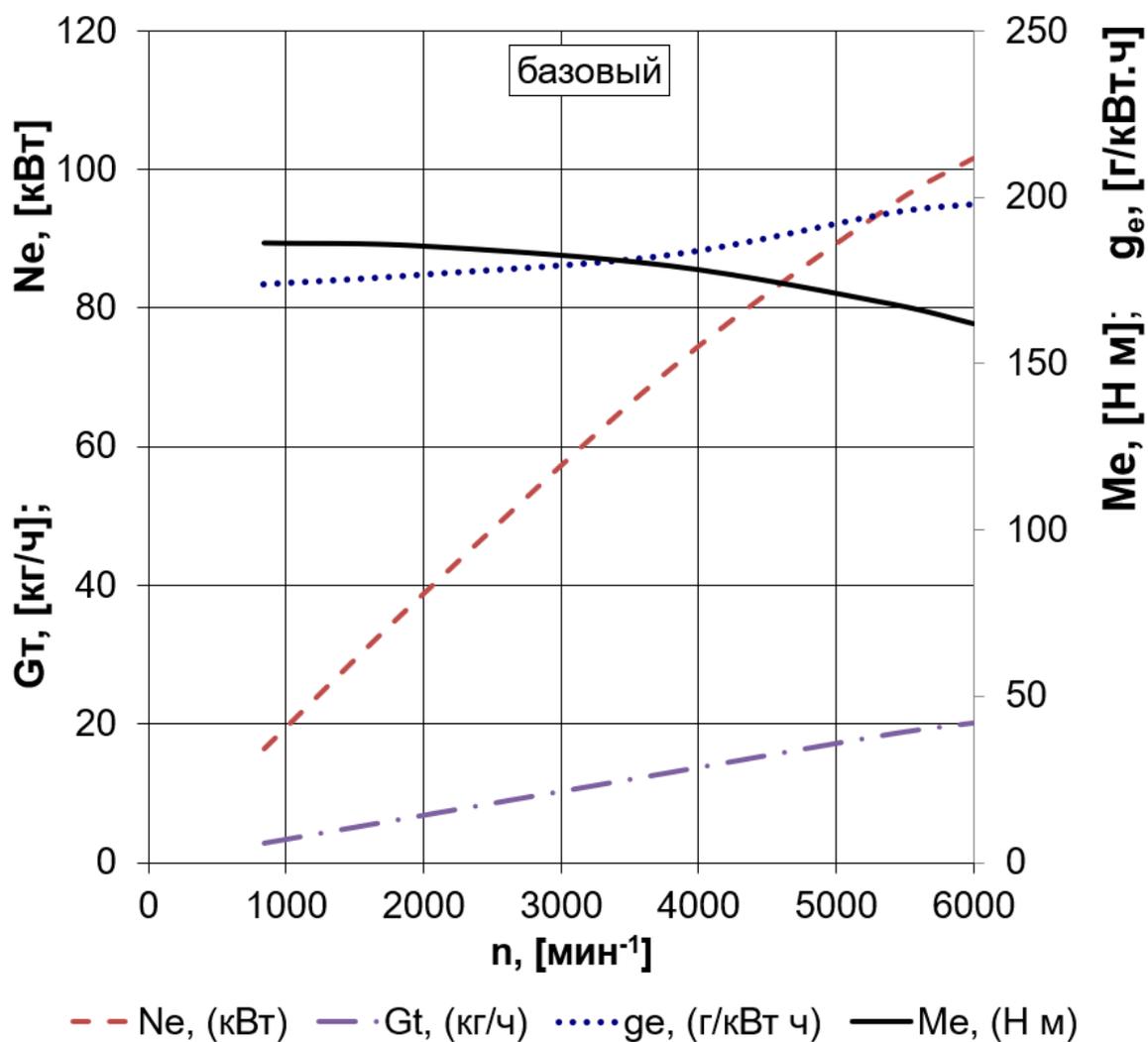


Рисунок 35 – Внешняя скоростная характеристика атмосферного базового двигателя

Для двигателя с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха до 30 °С (рисунок 36), видим снижение влияния частоты вращения на эффективные

характеристики работы, при этом получаем в среднем 2% увеличение мощностных показателей при сохранении такого же расхода топлива.

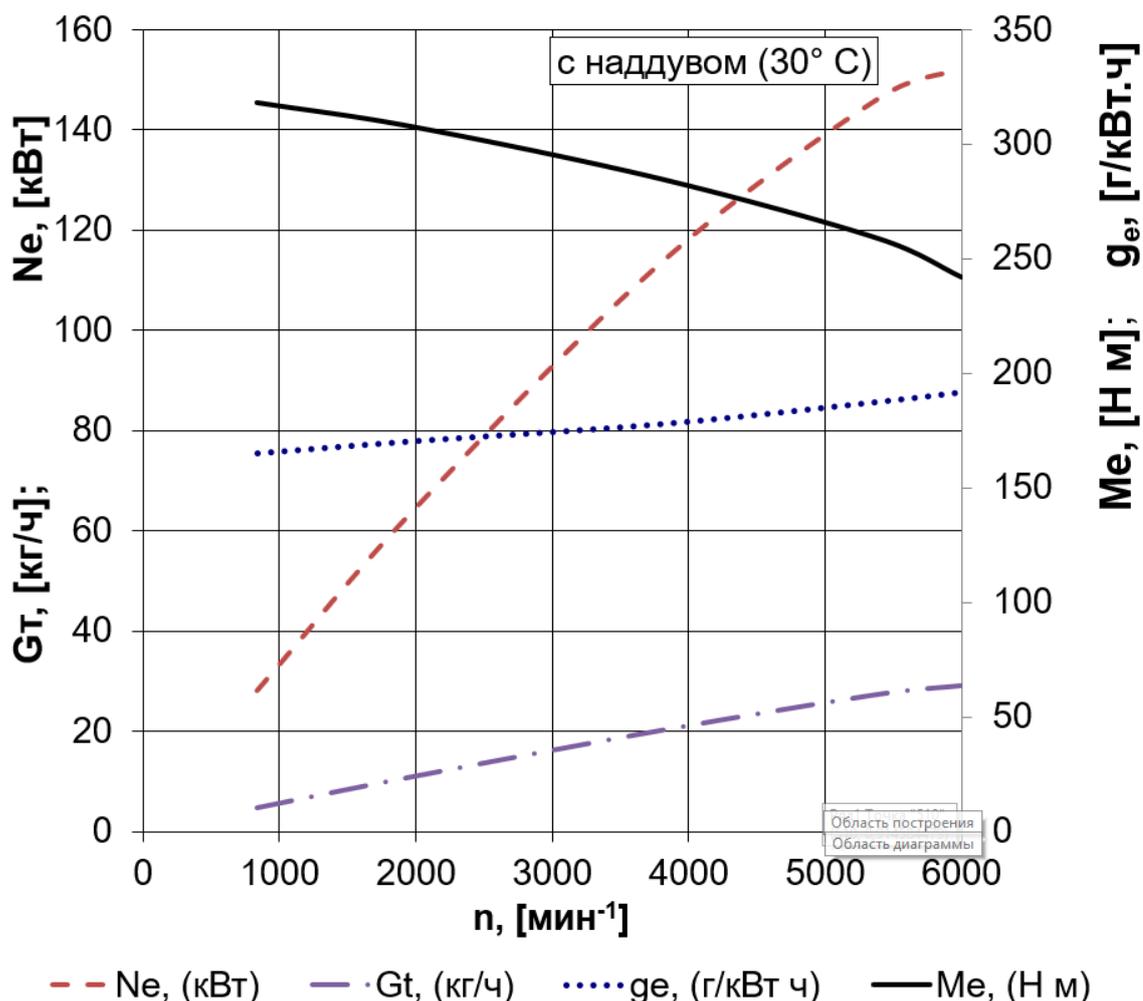


Рисунок 36 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха до 30 °С

Для двигателя с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха до 40 и 50 °С (рисунок 37 и 38), видим некоторое выравнивание характеристик работы двигателя именно при повышении частоты вращения. Это связано с тем, что с повышением частоты вращения, при расширении границы детонации, имеется возможность применения более оптимальных углов опережения зажигания и работа в более термически нагруженных условиях, что эффективно сказывается на условиях тепловых потерь.

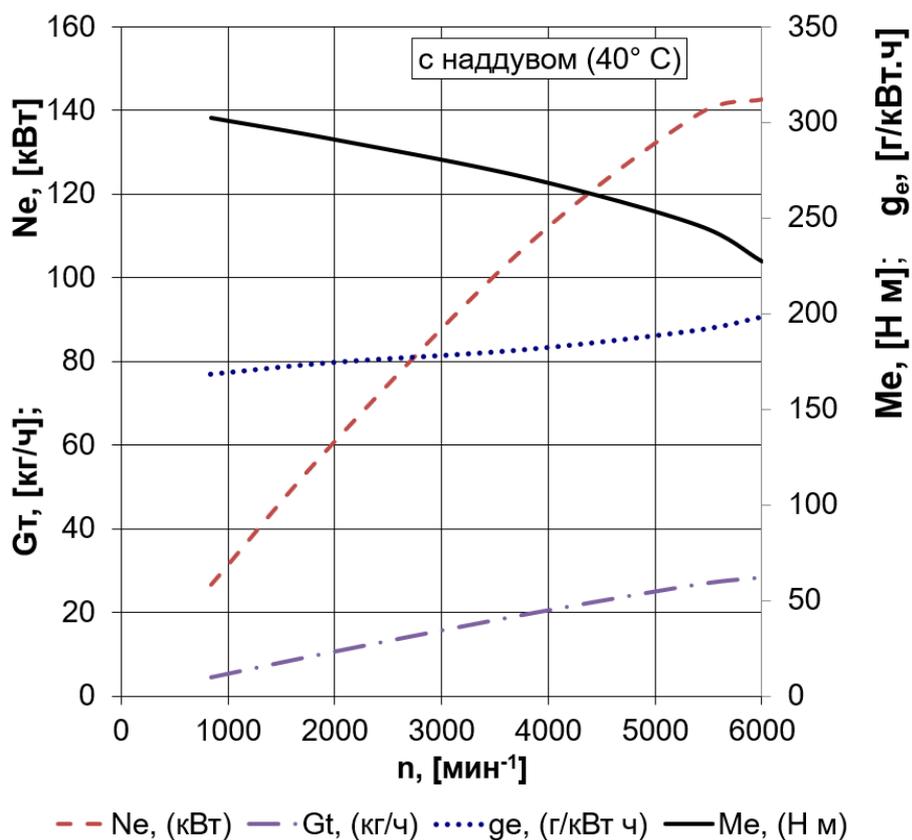


Рисунок 37 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха до 40 °С

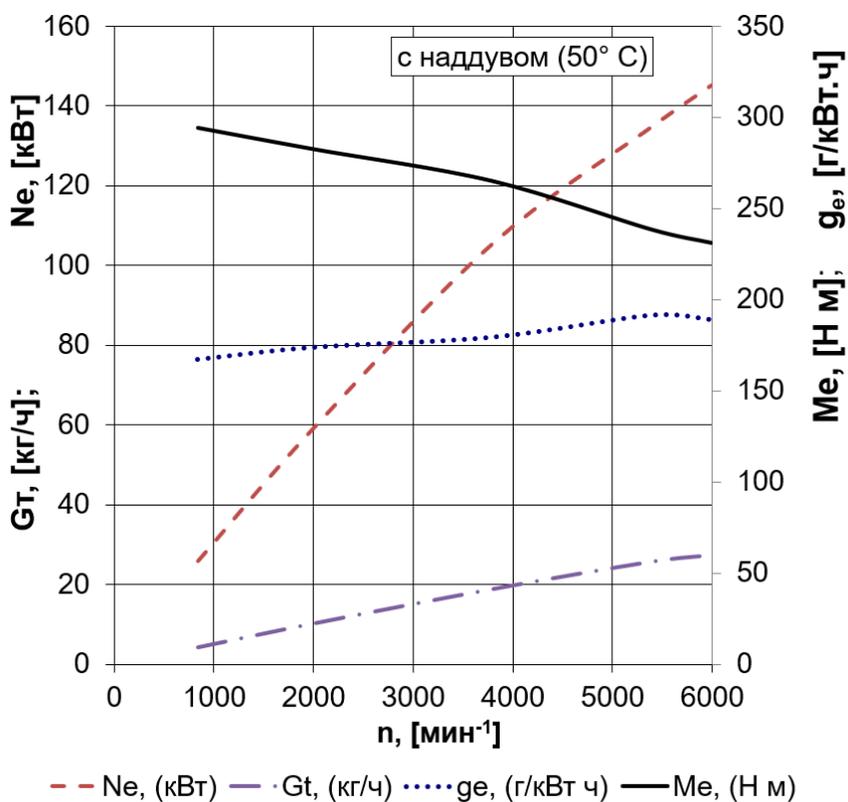


Рисунок 38 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха до 50 °С

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, что для эффективной работы двигателя с наддувом необходимо осуществлять снижение тепловой напряженности деталей и термодинамического процесса сгорания за счет применения системы охлаждения наддувочного воздуха. Получено, что с при максимальной степени охлаждения наддувочного воздуха, эффективность процесса сгорания увеличивается не значительно, но при этом почти на 100 К снижается максимальная температура цикла, а для условий без охлаждения эта величина уже составляет 200 К, что принципиально важно для обеспечения бездетонационной работы двигателя. В тоже время не столь экстремальное снижение температуры до 40 ° С также имеет вполне жизнеспособные характеристики и не выходит за пределы устойчивой работы двигателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведен анализ влияния степени охлаждения наддувочного воздуха на рабочий процесс перспективного ДВС со средним турбонаддувом. Получены основные выводы по работе:

1. Показано, что для эффективной работы двигателя с наддувом необходимо осуществлять снижение тепловой напряженности деталей и термодинамического процесса сгорания за счет применения системы охлаждения наддувочного воздуха. Получено, что с при максимальной степени охлаждения наддувочного воздуха, эффективность процесса сгорания увеличивается не значительно, но при этом почти на 100 К снижается максимальная температура цикла, а для условий без охлаждения эта величина уже составляет 200 К, что принципиально важно для обеспечения бездетонационной работы двигателя. В тоже время не столь экстремальное снижение температуры до 40 ° С также имеет вполне жизнеспособные характеристики и не выходит за пределы устойчивой работы двигателя.
2. необходимость уменьшения угла опережения зажигания для условий слабого охлаждения наддувочного воздуха, а именно 50 С и более, что позволит провести перевод процесса сгорания в зону расширения с меньшими температурами. Иначе мы получаем повышенные значения по выбросам оксидов азота и риск возникновения детонационного сгорания.

Выводы по 1-му разделу

Проведенный обзор современного состояния двигателей с турбонаддувом показал значительные возможности улучшения характеристик двигателя за счет использования современных технологий охлаждения наддувочного воздуха.

Сравнение производительности новых концептов. Повышение производительности, которое достигается за счет новых концепций «предварительного охлаждения наддувочного воздуха» и «непрямого

охлаждения наддувочного воздуха», можно увидеть в сравнении с преобладающими компактными охладителями наддувочного воздуха и более мощными охладителями плоского наддувочного воздуха. Значительно улучшено охлаждение наддувочного воздуха. Кроме того, падение давления наддувочного воздуха существенно снижается за счет непрямого охлаждения наддувочного воздуха. Охладители наддувочного воздуха для более высоких требований к стабильности.

Выводы по 2-му разделу

Тепловой расчет показал значительное влияние охлаждения наддувочного воздуха на мощностные и экономические характеристики работы двигателя. Получено, что для эффективного использования малолитражного двигателя даже со средним наддувом необходимо применять системы охлаждения наддувочного воздуха. Также необходимо контролировать условия воспламенения и горения при работе с наддувом для недопущения появления нарушения нормального процесса сгорания в виде детонации. Для этого следует контролировать максимальную температуру в процессе сгорания, как вариант — это применение систем анализа ионного тока проводимости в зоне свечи зажигания, где анализ плазмы за фронтом пламени покажет температурное состояние и своевременно контроля за процессом сгорания без детонации.

Выводы по 3-му разделу

Как мы видим повышение степени охлаждения наддувочного воздуха не приводит к принципиальному снижению нагрузок и принципиальным сложностям, связанным со снижением ресурса элементов кривошипно-шатунного механизма. Имеются локальные постоянные зоны повышенных нагрузок, с углом повышенного нагружения примерно в 40 градусов ПКВ. Узость зоны повышенных нагрузок позволяет, говорить об возможности эффективного локального упрочнения, что позволяет не повышать значительно габариты элементов КШМ. Применение наддува само по себе является значительным испытанием для элементов КШМ, а охлаждение

наддувочного воздуха принципиально не снижает нагрузки. Охлаждение наддувочного воздуха в первую очередь влияет на условия тепловой напряженности в камере сгорания и условия образования очагов детонационного горения.

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, что для эффективной работы двигателя с наддувом необходимо осуществлять снижение тепловой напряженности деталей и термодинамического процесса сгорания за счет применения системы охлаждения наддувочного воздуха. Получено, что с при максимальной степени охлаждения наддувочного воздуха, эффективность процесса сгорания увеличивается не значительно, но при этом почти на 100 К снижается максимальная температура цикла, а для условий без охлаждения эта величина уже составляет 200 К, что принципиально важно для обеспечения бездетонационной работы двигателя. В тоже время не столь экстремальное снижение температуры до 40 ° С также имеет вполне жизнеспособные характеристики и не выходит за пределы устойчивой работы двигателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
2. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
3. Крючков, В. 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-litrovuj-dvigatel-vaz-21179>(дата обращения 29.05.18)
4. Макаренко Н.В. Мастеру об охране труда / Н.В. Макаренко//«Машиностроение» - Москва: 1990. - 128 с.
5. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. – М.: «Машиностроение», 1983.
6. Сидоров В.В. Положение о Мастере основного производственного цеха / В.В. Сидоров // ОАО АвтоВаз– Тольятти: 2003.
7. Смоленский, В.В. Автомобильные двигатели: курс лекций / В.В. Смоленский. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 183 с.
8. Akmandor, I.S. Novel Thermodynamic Cycle / I.S. Akmandor, N. Ersöz// PTC, WO, 2004. 022919 AI. (March 18th 2004)
9. Baumeister, T. Mark's Standard Handbook for M. Engineer / T Baumeister // McGraw- Hill Inc., New York, 1966.
10. Beran, R. Entwicklung des H17/24G - Demerstenkoreanischen Gasmotor / R. Beran, T. Baufeld, H. Philipp, J. T. Kim, J. S.Kim // in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007
11. Bonnevie-Svendsen, A. Double-Vibe-Model for heat release in lean burn gas engines with prechamber ignition /A. Bonnevie-Svendsen, K. Boulouchos,

- Ch. Lämmle, I. Vlakos // in: 6. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau-Roßlau. 2009
12. Carbot-Rojas, D. A survey on modeling, biofuels, control and supervision systems applied in internal combustion engines /D.A. Carbot-Rojas , R.F. Escobar-Jiménez, J.F. Gómez-Aguilar, A.C. Téllez-Anguiano // Instituto Tecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán, CP 58120, Mexico 2017-PP.21-26
 13. Clarke, J. M. Thermodynamic Cycle Requirements for Very High Rotational Efficiencies / J. M. Clarke // J. Mech. Eng. Sci. 1974
 14. Fuller, D.D. Theory and Practice of Lubrication for Engineers / D.D. Fuller // John Wiley & Sons Inc., New York, 1966
 15. Habermann K. Demonstration Vehicle with Continuously Variable Compression Ratio (VCR). FEV Magazine “Spectrum”, Issue 22, 2003 [Internet]. Available from: <http://www.fev.com> [Accessed: 5 October 2018]
 16. Haywood, R.W. A Critical Review of Theorems of Thermodynamics Availability // R.W. Haywood / J. Mech. Eng. Sci. vol.16 MIT Press, 1970.
 17. Huan,L.Study of air fuel ratio on engine performance of direct injection hydrogen fueled engine / L. Huan //Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 26600 Pekan, Pahang, Malaysia 2016-PP.13-21
 18. Larsen GJ. Research Engine for Evaluating the Effects of Variable Compression Ratio (VCR) and/or Variable Valve Timing (VVT). SAE Paper No. 910053. Warrendale PA, USA: SAE International; 1991
 19. MCE-5 VCRI: Pushing back the fuel consumption reduction limits, MCE-5 Development 2010 [Internet]. Available from: www.vcri.eu [Accessed: 5 October 2018]
 20. Moteki K, Aoyama S, Ushijima K, Hiyoshi R, Takemura S, Fujimoto H, et al. A study of a variable compression ratio system with a multi-link mechanism. SAE Paper No. 2003-01-0921. Warrendale PA, USA: SAE International; 2003

21. Rabhi V, Beroff J, Dionnet F. Study of a Gear-Based Variable Compression Ratio Engine. SAE Paper No. 2004-01-2931. Warrendale PA, USA: SAE International; 2004
22. Renegar, D.C. The Quasiturbine / D.C. Renegar // USA Patent No:6629065 September 12th 2003
23. Rory, R. D. The Ball Piston Engine: A New Concept in High Efficient Power Machines / R. D. Rory // Convergence Eng. Corporation.
24. Shaik A, Shenbaga Vinayaga Moorthi N, Rudramoorthy R. Variable compression ratio engine: A future power plant for automobiles—An overview. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (IMEchE); Part D: Journal of Automobile Engineering. 2007;221(D9):1159-1168
25. Stephen, R. T. An Introduction to Combustion / R.T.Stephen // McGraw-Hill Series in Mech. Eng. 1996.
26. SVC Variable Compression Engine, Linköping University, Sweden 2014 [Internet]. Available from: www.vehicular.isy.liu.se [Accessed: 5 October 2018]
27. Thomasson, A. Co-Surge in Bi-Turbo Engines - Measurements, Analysis and Control / Thomasson A, Eriksson L. // Control Engineering Practice, (32) 2014, 113-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2014.08.001>
Copyright: Elsevier
28. Verhelst, S. A critical review of experimental research on hydrogen fueled SI engines / S. Verhelst, R. Sierens, S. Verstraeten // SAE. - 2006. - №2006-01-0430.
29. Woś P, Balawender K, Jakubowski M, Kuszewski H, Lejda K, Ustrzycki A. Design of Affordable Multi-Cylinder Variable Compression Ratio (VCR) Engine for Advanced Combustion Research Purposes. SAE Paper No. 2012-01-0414. Warrendale PA, USA: SAE International; 2012