

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 легкового автомобиля с возможностью форсирования закистью азота

Студент

Н.К. Мосалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, В.В. Смоленский

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

Тольятти 2022

АННОТАЦИЯ

Повышение энергетических показателей рабочего процесса в бензиновых двигателях является актуальной задачей исследования. Многими исследователями показано, что добавка закиси азота позволяет осуществить форсирование мощностных показателей бензинового двигателя. Поэтому в бакалаврской работе представлен способ повышения эффективности рабочего процесса в бензиновом двигателе с помощью применения добавки закиси азота, позволяющей активировать процесс сгорания и повысить его эффективность.

Цель работы – выявление перспективы применения добавки закиси азота в бензиновых ДВС с искровым зажиганием

Поэтому в данном бакалаврской работе представлены результаты проектирования бензинового двигателя с системой подачи закиси азота для повышения эффективности процесса сгорания. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка состоит из аннотации, введения, 4 разделов, заключения с основными результатами и выводами, содержит 27 рисунков, 15 таблиц, списка использованных источников (37 источников). Основной текст изложен на 63 страницах.

Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1 иллюстрирующих материал, представленный в пояснительной записке.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Состояние вопроса, направление исследования	5
1.1 Применение закиси азота N_2O для повышения мощности автомобильных двигателей	5
1.2 Химия Nitro Boost.....	7
1.3 Исследование процесса горения газовых топлив с добавкой закиси азота (H_2-N_2O -воздух и $CH_4-N_2O-O_2-N_2$)	9
1.4 Предел воспламеняемости.....	13
2 Тепловой расчет проектируемого двигателя	21
3 Кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя	42
3.1 Кинематический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя.....	42
3.2 Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя	44
4 Анализ влияния закиси азота на рабочий процесс бензинового ДВС ...	50
4.1 Влияния закиси азота на максимальную температуру и давление цикла	50
4.2 Анализ влияния добавки закиси азота на эффективных показатели бензинового двигателя	54
Заключение	57
Список используемых источников	60

ВВЕДЕНИЕ

Чистый кислород снижает температуру самовоспламенения практически любого топлива. Для некоторых легковоспламеняющихся материалов чистый кислород может понизить температуру воспламенения до такой степени, что они самовозгораются при комнатной температуре или просто под действием статического электричества. Например, тряпки, смоченные в растворителях.

Это крайне нежелательно для поршневого двигателя, так как это может привести к детонации/детонации, особенно в хорошо настроенном гоночном двигателе с нагнетателем или турбокомпрессором, при полной нагрузке на больших оборотах.

Повышение степени сжатия в двигателе желательно, поскольку оно увеличивает мощность и крутящий момент при заданном количестве топлива и воздуха, поступающих в двигатель. То есть повышает эффективность. Это обычное дело для гоночных двигателей. Однако стук возникает по совокупности причин. Высокое давление в цикле сжатия в сочетании с горячими точками в двигателе, такими как выпускные клапаны, может привести к преждевременному воспламенению заряда и чрезвычайно хаотичному горению. Это резко увеличивает усилие, действующее на поршень в верхней мертвой точке.

Добавление чистого кислорода усиливает эту тенденцию и может привести к выбросу штока, поломке болтов головки или выходу из строя прокладки головки.

Закись азота (N_2O) увеличивает мощность тремя способами. Во-первых, он содержит 33% кислорода, в отличие от воздуха, который содержит около 19%. Это позволяет впрыскивать в цилиндр больше топлива, чем только воздуха. Однако N_2O менее химически активен, чем O_2 в воздухе, потому что он связан с довольно инертным азотом, поэтому он менее склонен к детонации [6].

Большинство систем закиси азота впрыскивают в цилиндр тонкий распыл жидкой закиси азота и жидкого топлива. В жидком состоянии оба они гораздо более плотные, чем в газообразном состоянии, поэтому в цилиндр может попасть больше топлива и окислителя.

В некотором смысле двигатель, сильно форсированный закисью азота, может больше напоминать двухтопливную ракету на жидком топливе, а не двигатель с воздушным дыханием. В таком двигателе, как ракета, и горючее, и окислитель находятся на борту и впрыскиваются в камеру сгорания, и внешний источник воздуха не нужен. Технически это известно как двигатель газогенераторного цикла.

Наконец, цилиндр обычно довольно теплый после предыдущего цикла сгорания. Это существенно охлаждает цилиндр за счет испарения обеих жидкостей, что снижает давление во время цикла сжатия, это уменьшает количество паразитных потерь или потерь мощности при сжатии. Закись азота может использоваться в качестве хладагента. Это жидкость под давлением, но, когда она выходит из цилиндра, давление падает. Это снижает его температуру кипения ниже нуля, вызывая мгновенное кипение, которое потребляет много тепла [7].

1 Состояние вопроса, направление исследования

1.1 Применение закиси азота N₂O для повышения мощности автомобильных двигателей

Кто интересовался гонками на уличных автомобилях, то слышал о соединении под названием NOS, которое, по-видимому, увеличивает скорость автомобилей [8].

Соединение закиси азота, также известное как NOS (система закиси азота), вызывает скачок мощности и крутящего момента двигателя.

Как это происходит? Большой вопрос, конечно, в том, как работает Nitro Boost и как двигатель генерирует этот всплеск мощности.

Во-первых, мы должны понять процесс сгорания в двигателе автомобиля. Двигатель вырабатывает энергию в результате сгорания топлива и воздуха.

Воздух представляет собой соединение, состоящее из различных газовых элементов разного состава, 78% из которых состоит из азота и 21% из кислорода. Однако газообразный азот не участвует в процессе горения, поскольку он негорюч.

Итак, какую роль играет закись азота в двигателе?

Поскольку при сгорании используется кислород, из этого следует, что увеличение количества кислорода и топлива в двигателе будет генерировать больше энергии. Именно в этот момент в дело вступает закись азота. Она обеспечивает двигатель дополнительным количеством кислорода, что, в свою очередь, увеличивает выходную мощность [9].

Таким образом, закись азота действует точно так же, как хлорат натрия. Вы можете думать о закиси азота как окислителе-вытеснителе. При воздействии тепла на закись азота она разлагается и высвобождает содержащиеся в ней отдельные элементы.

При попадании в систему двигателя закись азота при нагревании распадается на кислород и азот. Сгорание дополнительного кислорода и большего количества топлива дает больше энергии.

Конечно, у всей идеи с закисью азота есть изъян. Закись азота громоздка, и чтобы получить существенный прирост мощности, ее требуется много [9].

Тем не менее, вы не можете держать машину на закиси азота. Требуется большое количество, что не реально достижимо. По этой причине автомобили обычно имеют впрыск закиси азота в течение нескольких минут, и при необходимости он запускается выборочно.

Nitro Boost — это концепция, которая существовала еще во время Второй мировой войны. Некоторые самолеты имели в двигателях системы впрыска закиси азота. Сегодня некоторые классы автомобильных гонок обычно позволяют использовать закись азота.

Тем не менее, прежде чем использовать закись азота в этих автомобилях, автопроизводители изучили множество факторов и провели точные расчеты для обеспечения безопасности. Эти меры предосторожности необходимы, поскольку система впрыска может вызвать разрушительные взрывы под капотом.

1.2 Химия Nitro Boost

В двигателях, работающих на закиси азота, при разложении закиси азота образуется кислород, используемый в процессе сгорания. Поскольку сгорание происходит со скоростью, превышающей среднюю, выходная мощность увеличивается [10].

Один моль закиси азота после разложения дает половину моля молекул кислорода (O_2) и один моль молекул азота (N_2). Этот процесс разложения дает концентрацию кислорода 36,36%.

Воздух позволяет снизить пиковый уровень кислорода на 12% по сравнению с закисью азота. Кислород смешивается с топливом и производит углекислый газ, водяной пар и тепло. Это тепло заставляет другие продукты расширяться. Расширенные компоненты оказывают давление на поршни, которые затем приводят в движение двигатель [11].

Резервуары хранят закись азота в жидком состоянии. В нормальных атмосферных условиях превращается в газ. Автомобили, оснащенные двигателями на закиси азота, можно отличить по «продувке» системы подачи. Это нормально для водителей перед тем, как добраться до стартовой линии. После активации системы продувки на короткое время видны шлейфы закиси азота, когда жидкость превращается в газ.

Продувка закисью азота обеспечивает впрыск нужного уровня закиси азота. Впрыск закиси азота добавляет больше топлива в двигатель и является простым способом увеличить выходную мощность двигателя вашего автомобиля без необходимости его настройки. Это, однако, не означает, что вы должны подключать баллоны с закисью азота под капотом вашего автомобиля, чтобы облегчить себе поездку на работу.

Типы азотных систем [12]

Два типа закиси азота бывают сухими и мокрыми, в зависимости от метода подачи закиси азота во впускной коллектор.

Существует четыре традиционных способа подачи:

- Одно сопло
- Прямой порт
- Пластина
- Распределенный впрыск по цилиндрам

В большинстве систем закиси азота используются специальные вставки с отверстиями (форсунки) и расчеты давления для подачи желаемого количества газа и создания эффективного соотношения воздух-топливо для требуемого наддува [13].

Только закись азота подается методом подачи азота, при котором топливо впрыскивается через отдельный канал, топливную форсунку. Два способа увеличить расход топлива – за счет увеличения давления и за счет увеличения времени открытия топливной форсунки.

Хотя в этой системе используется метод доставки с одним соплом, можно использовать и другие методы. Карбюраторы не способны производить большое количество топлива по требованию, и по этой причине вы не можете использовать сухую систему закиси азота [14].

1.3 Исследование процесса горения газовых топлив с добавкой закиси азота ($\text{H}_2\text{--N}_2\text{O--воздух}$ и $\text{CH}_4\text{--N}_2\text{O--O}_2\text{--N}_2$)

Имеется много информации о процессе горения смесей топлива и окислителя с использованием воздуха или кислорода в качестве окислителей, но мало информации об использовании закиси азота в качестве окислителя или в качестве одного из компонентов смеси горючих газов. В ранних исследованиях было замечено, что поведение N_2O при горении сильно различается [16]. В зависимости от состава смеси, энергии воспламенения и температуры взрыва закись азота может вести себя как разбавитель или окислитель, или она может экзотермически диссоциировать, действуя как взрывчатое вещество. Стандартная теплота реакции $\Delta R H^\circ$ диссоциации закиси азота [15]:



составляет -82,1 кДж/моль.

Горючесть отдельных топлив (водород и метан) на воздухе хорошо охарактеризована [17]. Имеющиеся данные по предельным значениям приведены в таблице 1. Однако существуют некоторые особенности этих комбинаций топлива и окислителя, особенно смесей, содержащих N_2O . Закись азота медленно разлагается при низких температурах, но чрезвычайно экзотермична. N_2O может вести себя как взрывчатое вещество, если стимул

воспламенения достаточно велик и присутствует достаточное количество атомов Н для катализа разложения [18]. Однако при очень низкотемпературном пламени N_2O вообще не вступает в реакцию. H_2 имеет очень большой диапазон воспламеняемости и необычно высокую скорость пламени. Воспламеняемость топлив в N_2O характеризуется не так хорошо, как в воздухе. В то время, когда мы начали это исследование, не было никакой информации о пределах CH_4 . Наши современные данные о пределах приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Пределы воспламеняемости топливно-воздушных смесей на НТП. Количества даны в объемных %.

Топливо	UPL	LFL	DPL	ST	UFL	Инертный (N_2)
CH_4	4	-	8	29,6	75	70
H_2	-	5	-	9,5	15	37

UPL – предел распространения вверх

LFL – нижний предел воспламеняемости,

DPL – предел распространения вниз,

ST – объемное стехиометрическое соотношение воздух топлив,

UFL – верхний предел воспламеняемости

Таблица 2: Пределы воспламеняемости смесей топливо- N_2O . Количества даны в объемных %.

Топливо	UPL	LFL	DPL	UFL	Инертный (N_2)
CH_4	3	-	6	84	60
H_2		5		50	70

Стандартный подход к расчету нагрузки давлением при сгорании этих смесей заключается в использовании оценок взрыва постоянного объема (AICC - адиабатическое, изохорное, полное сгорание), основанных на идеях химического равновесия. Хотя этот подход достаточно надежен, есть некоторые предостережения относительно использования этих значений в оценках безопасности [19]:

- Неполное сгорание происходит вблизи нижнего предела воспламенения для H_2 .
- Имеются клеточные неустойчивости и сильный эффект числа Льюиса для H_2 .
- В бедных смесях N_2O частично или совсем не реагирует.
- Энергия воспламенения очень высока для больших количеств N_2O и малых количеств топлива.

В целом установлено, что в поведении смесей преобладает компонент H_2 .

Путем анализа состава газа до и после сжигания был измерен расход закиси азота при сгорании топливно-закисно-воздушных смесей. Исследуемые смеси представляли собой водород-закись азота-воздух и метан-закись азота-воздух. Для всех испытаний на потребление закиси азота общее давление перед сжиганием составляло 100 кПа, а начальное парциальное давление газа закиси азота было номинально 10 кПа [20].

1.3.1 Смеси водород-закись азота-воздух

Для этих исследований начальное парциальное давление газа водорода варьировалось от 5,7 до 13,9 кПа, тогда как номинальное начальное парциальное давление закиси азота составляло 10 кПа [21].

На рисунке 1 представлены результаты расхода закиси азота при сжигании водородно-закисно-воздушной смеси. При начальном давлении H_2 5,7 кПа закись азота практически не расходуется.

Конечное давление закиси азота составляет 9,15 кПа, а конечное давление водорода составляет 1,4 кПа. С увеличением количества исходного водорода конечное количество водорода колеблется от 0,2 до 0,6 кПа, а конечное количество закиси азота уменьшается.

При исходном водороде выше 10 кПа конечное количество закиси азота ниже 1 кПа, а при исходном водороде 13,9 кПа закись азота расходуется почти полностью (0,15 кПа) [22].

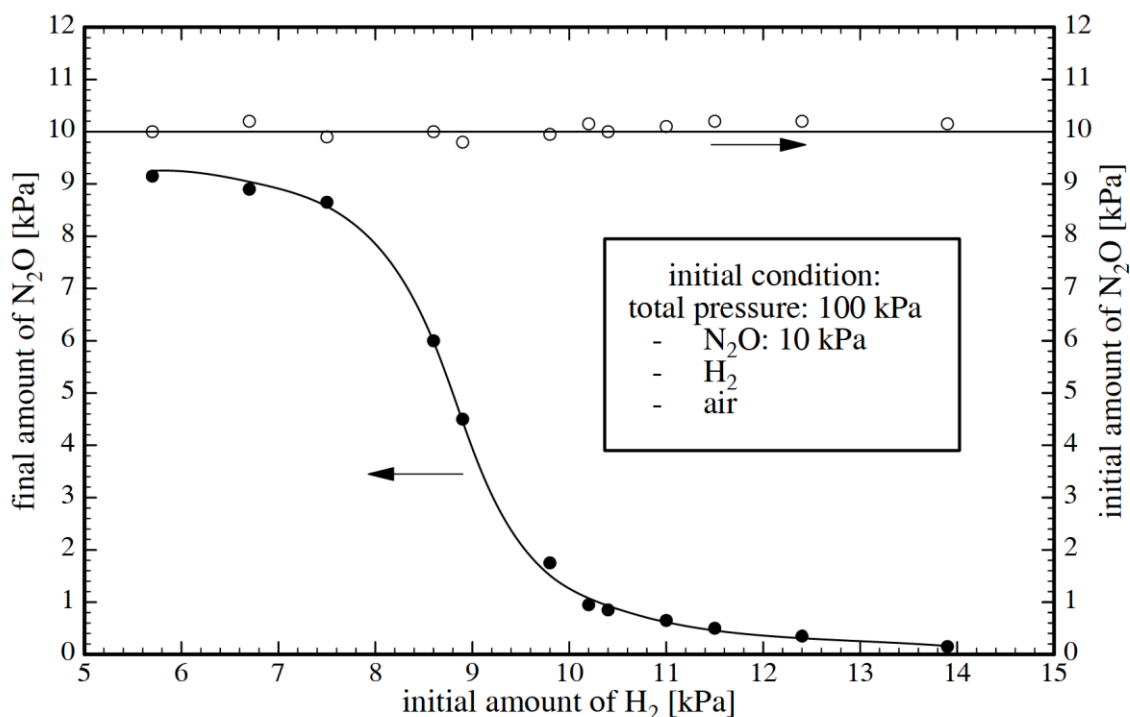


Рисунок 1 – Расход закиси азота при сгорании обедненной смеси водорода с закисью азота и воздухом.

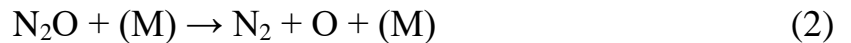
Результаты, показанные на рисунке 1, являются первой количественной оценкой эффектов участия N_2O . Эти эффекты были отмечены Cashdollar и др. [23], но они не смогли провести количественные измерения из-за проблем с системой отбора проб газа. Росс и Шеферд [24] не имели оборудования для отбора проб газа и исследовали изменения конечного давления, чтобы попытаться определить предел участия для смесей $H_2-N_2O-NH_3$. Значение 13% топлива было оценено как критическое количество, необходимое для полной реакции N_2O .

Настоящие результаты показывают, что значение 10% является более подходящим, когда топливом является H_2 , и, как обсуждается далее, требуется всего 5%, когда топливом является CH_4 .

1.3.2 Метан-закись азота-воздушные смеси

На рисунке 2 представлены результаты расхода закиси азота при сжигании смеси метан-закись-воздух. Результаты сильно отличаются от результатов для смесей водорода, закиси азота и воздуха, представленных выше. Если смесь воспламеняется, закись азота почти полностью

расходуется. Для начального количества метана выше 4,8 кПа конечное количество закиси азота колеблется между 0,25 и 0,35 кПа, а конечное количество метана ниже 0,4 кПа. При исходном давлении метана 4,5 кПа смесь не воспламеняется, и поэтому метан или закись азота не расходуются. По сравнению со смесями H_2-N_2O -воздух теплота сгорания смесей CH_4-N_2O -воздух выше. Поэтому температура пламени на границе воспламенения для CH_4 будет намного выше, чем для H_2 . Отсюда следует, что скорость термического разложения N_2O [25]:



с энергией активации по Аррениусу около 60 ккал/моль [26] будет достаточно высокой при LFL CH_4 и всегда будет происходить разложение.

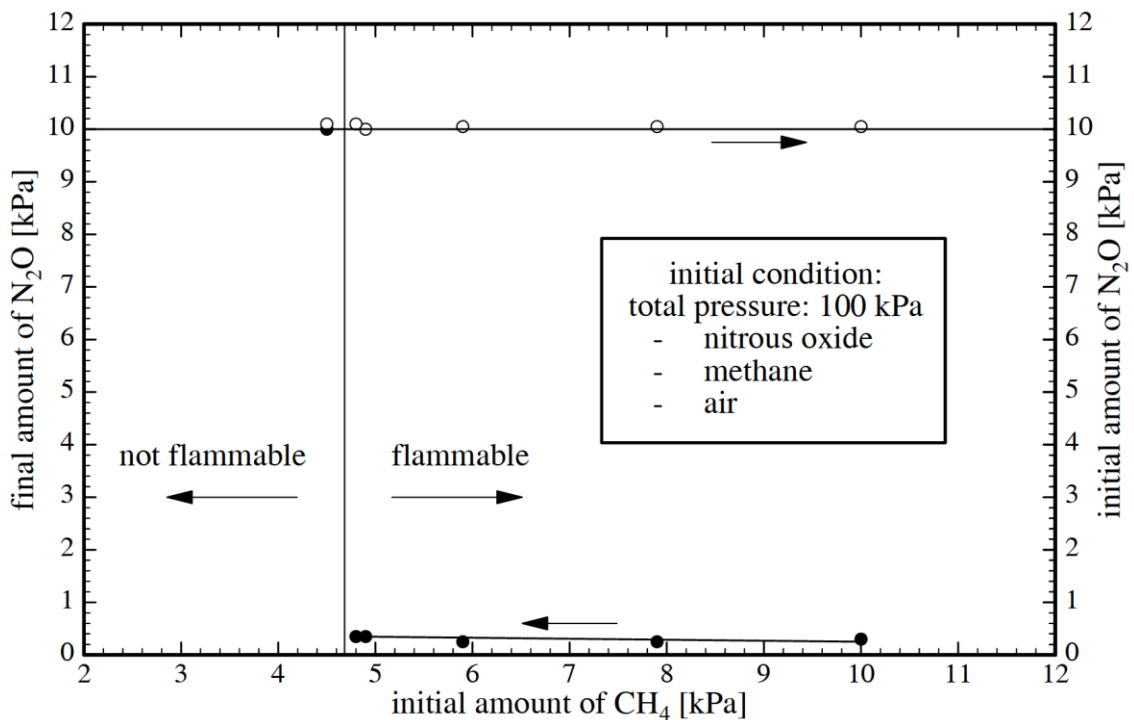


Рисунок 2 – Расход закиси азота при сжигании метан-закись-воздух.

1.4 Предел воспламеняемости

1.4.1 Смеси водорода, закиси азота и азота

Многочисленные исследования воспламеняемости были проведены с водородом. Некоторые из этих исследований проводились с N_2O в качестве

окислителя [27, 28, 29, 30]. Имеющиеся данные показаны на рисунке 3 вместе с пределами воспламенения водородно-кислородных [31] и водородно-воздушно-азотных смесей [32, 33]. Все эти данные номинально получены при температуре 25°C и давлении 1 атм. На этой диаграмме не показаны данные для смеси $\text{H}_2\text{-N}_2\text{O}$ -воздух [33] и [34]. Обратите внимание, что богатые предельные данные Posthumus значительно ниже, чем у Смита и Линнетта. По-видимому, это связано с низкой температурой/энергией источника возгорания Постумуса по сравнению с искровым разрядом мощностью 20 Дж, используемым Смитом и Линнеттом. В целом энергия воспламенения сильно влияет на пределы воспламеняемости смесей, содержащих большое количество N_2O .

1.4.2 Смесей метан-закись азота-азот

Для определения пределов воспламеняемости и энергии воспламенения были проведены измерения со смесями метан-закись-азот-азот. Были проведены дополнительные испытания со смесями метан-закись азота-кислород-азот для изучения влияния малых количеств кислорода на предел воспламеняемости.

Определены пределы воспламеняемости смесей $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O-N}_2$ при общем начальном давлении 100 кПа. Источником воспламенения служила конденсаторная разрядная установка, имеющая максимальную электрическую энергию около 8 Дж.

Настоящие результаты показаны на рисунке 4 и сравниваются с предыдущими результатами из литературы [35] для смесей $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$. Предыдущие результаты для смесей $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O}$ или $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O-N}_2$ в литературе отсутствуют. Нижний предел воспламеняемости показывает очень плавную зависимость (увеличение) от степени разбавления азотом и хорошее соответствие результатам Забетакиса для $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$, тогда как верхний предел смещается в меньшую область воспламеняемости по сравнению с $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$, и показывает сильное снижение с увеличением разбавления азотом.

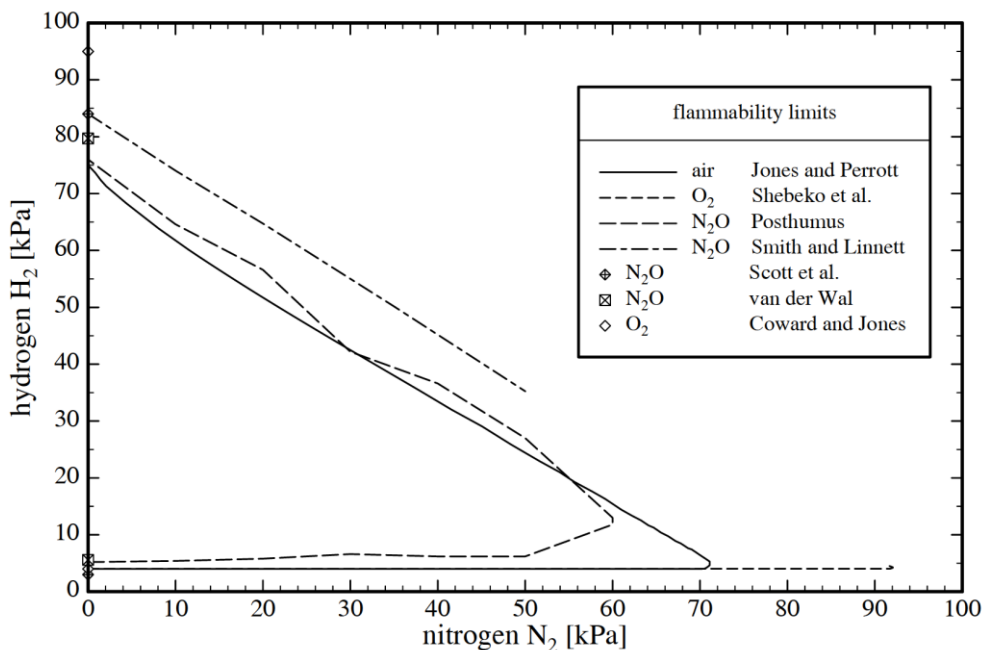


Рисунок 3 – Пределы воспламеняемости смесей водород-воздух-азот, водород-закись азота-азот и водород-кислород-азот.

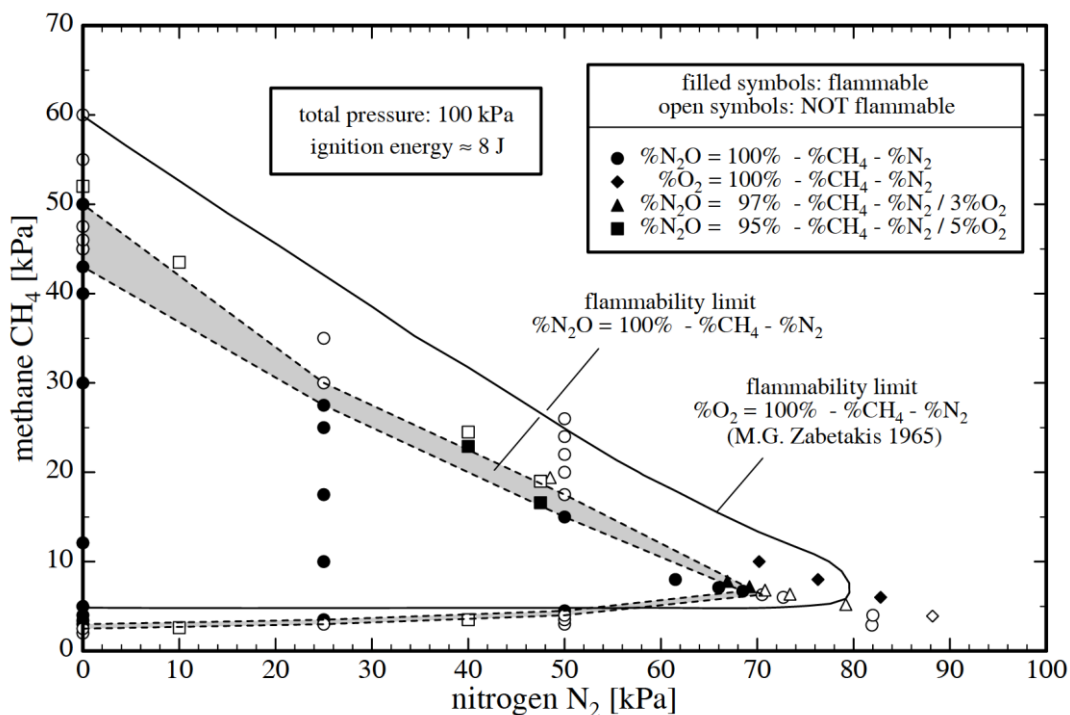


Рисунок 4 – Пределы воспламеняемости смесей метан-закись азота-азот, метан-кислород-азот и метан-закись азота-кислород-азот.

Без разбавления смеси метан-закись азота воспламеняются при парциальном давлении метана от 2,7 до 43-50 кПа. Смеси с разбавлением

азотом выше 70,5 кПа негорючи (инертны). Соответствующее парциальное давление метана составляет 6,3 кПа.

1.4.3 Влияние малых количеств кислорода (3-5%) на предел воспламеняемости

На рисунках 4 и 5 не видно выраженной зависимости пределов воспламенения смесей метан-закись-азот от малых количеств кислорода. При добавлении кислорода 3 кПа максимальное разбавление горючим азотом не смещается (см. рисунок 5). Замена закиси азота кислородом сдвигает максимальное разбавление горючим азотом (инертизирующая концентрация) с 70,5 до примерно 85 кПа (5 кПа CH_4 и 10 кПа O_2). Забетакис получил разбавление азотом 80 кПа в качестве инертизирующей концентрации для смесей $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$ при атмосферном давлении и 26°C [36]. Настоящие результаты превышают это значение из-за турбулентных условий (во время горения работал смесительный вентилятор). Добавление кислорода 5 кПа при разбавлении азотом 0, 10, 40 и 47,5 кПа существенно не изменяет предел воспламеняемости (см. рисунок 4).

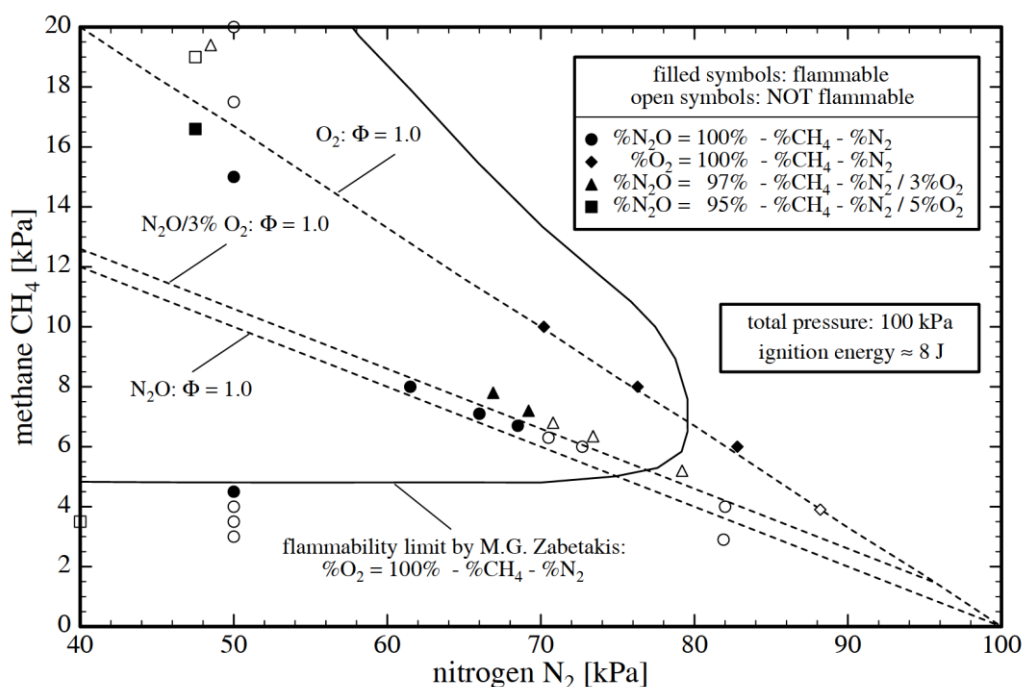


Рисунок 5 – Влияние небольших количеств кислорода на предел воспламеняемости смесей метан-закись азота-азот.

1.4.4 Влияние энергии воспламенения на предел воспламеняемости

Известно [37], что минимальная энергия воспламенения сильно зависит от состава вблизи предела воспламенения. Минимальное значение энергии воспламенения углеводородных топлив в воздухе имеет место для богатых смесей и обычно составляет порядка 0,25 мДж. Вблизи пределов наблюдается резкое увеличение минимальной энергии воспламенения, при этом смеси за пределами предела воспламеняемости демонстрируют инертное поведение даже при очень больших количествах энергии.

Мы определили границы энергии воспламенения, проведя серию испытаний с энергиями воспламенения 0,04, 0,2, 1,0, 2,0, 5,0 и 8,0 Дж. Для каждой энергии воспламенения минимальное количество метана для воспламенения смеси метан-закись азота при 100 кПа (без разбавления азотом).

Результаты этих прогонов представлены на рисунках 6 и 7. На рисунке 6 показаны пиковые давления по сравнению с пиковыми давлениями. При минимальной концентрации легковоспламеняющихся веществ (2,7% CH_4) пиковое давление составляет около 12 бар, что близко к значению, полученному только при разложении N_2O (11,8 бар). Это поведение похоже на поведение, наблюдаемое Cashdollar и др. [25] для смесей H_2 - N_2O , которые обнаружили, что при достаточной энергии воспламенителя (5000 Дж) можно воспламенить смеси с содержанием H_2 всего 1%. Их предельная концентрация топлива с искрой 58 Дж составляла около 6% H_2 для распространения вниз.

Hertzberg и Zlochower [15] предполагают, что атомы Н катализируют разложение N_2O , а такие соединения, как H_2 , CH_4 и NH_3 , в небольших количествах (1-2%) ускоряют реакцию разложения в достаточной степени, чтобы стабилизировать распространение пламени разложения.

Существенное разложение N_2O и связанные с этим высокие давления наблюдались для H_2 , CH_4 и NH_3 , последнее обсуждалось Джонсом и Керром [16]. Обратите внимание, что пиковые значения давления близки к значению

12 бар, что является результатом разложения N_2O . Эти значения казались высокими предыдущим исследователям, привыкшим к умеренному давлению для почти предельного сгорания смесей углеводородов с воздухом. Было (и остается) обычной практикой исследовать пределы воспламенения углеводородно-воздушных смесей с помощью стеклянного прибора. Уничтожение этих экспериментов при исследовании N_2O встревожило этих исследователей, но, оглядываясь назад, это естественное следствие работы с большими количествами N_2O .

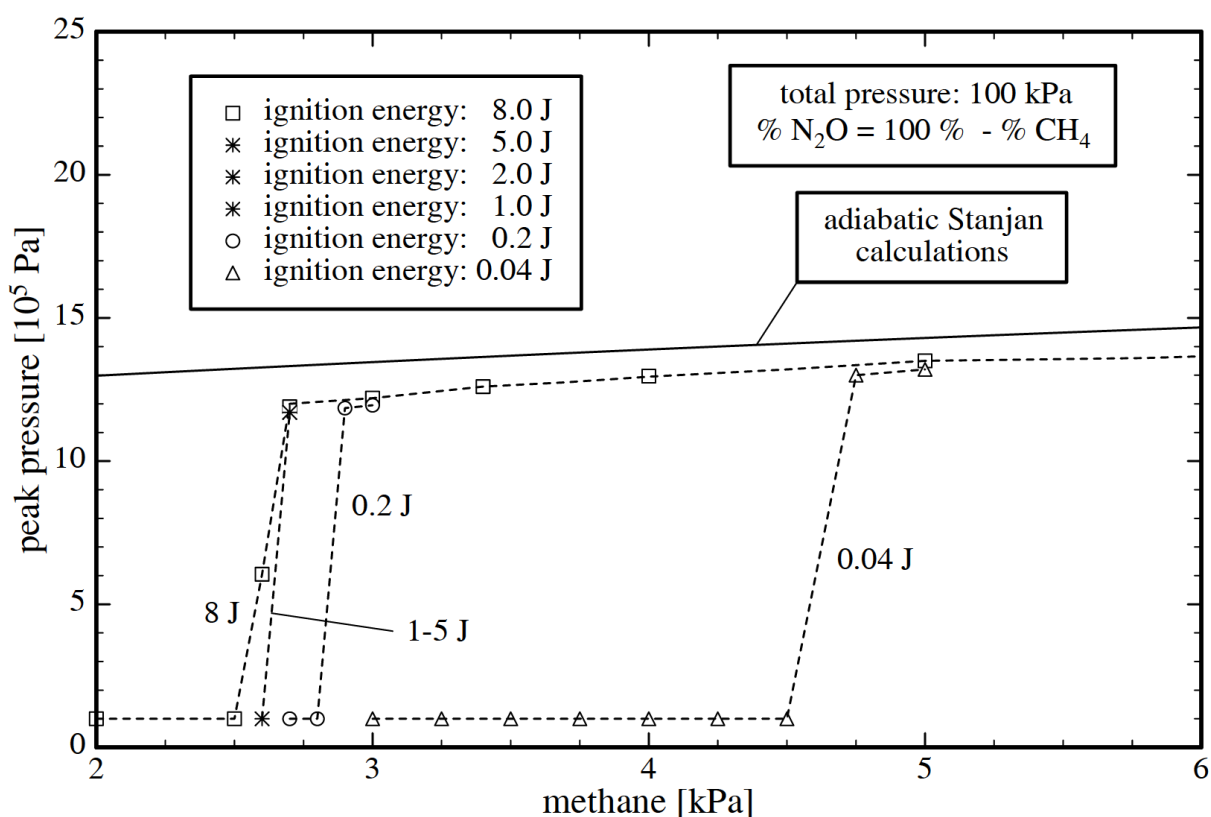


Рисунок 6 – Пиковое давление в зависимости от концентрации метана для различных энергий воспламенения.

На рисунке 7 показана зависимость минимальной энергии воспламенения от концентрации метана вблизи предела воспламенения. Эти результаты показывают, что для энергий воспламенения выше примерно 1,0 Дж предел воспламеняемости не зависит от энергии воспламенения. Увеличение энергии воспламенения с 40 мДж до 8 Дж снижает предел воспламенения с 2,8 до 4,8% CH_4 . Аналогичные снижения НКПР H_2 были

получены [5] в смесях $\text{H}_2\text{-N}_2\text{O}$ –воздух. Однако эксперименты [5] с использованием пиротехнических воспламенителей и смесей $\text{H}_2\text{-N}_2\text{O}$ показали, что при увеличении энергоемкости воспламенителя на несколько порядков (до 5000-10000 Дж) пламя разложения может возникать даже [15] в отсутствие топлива!

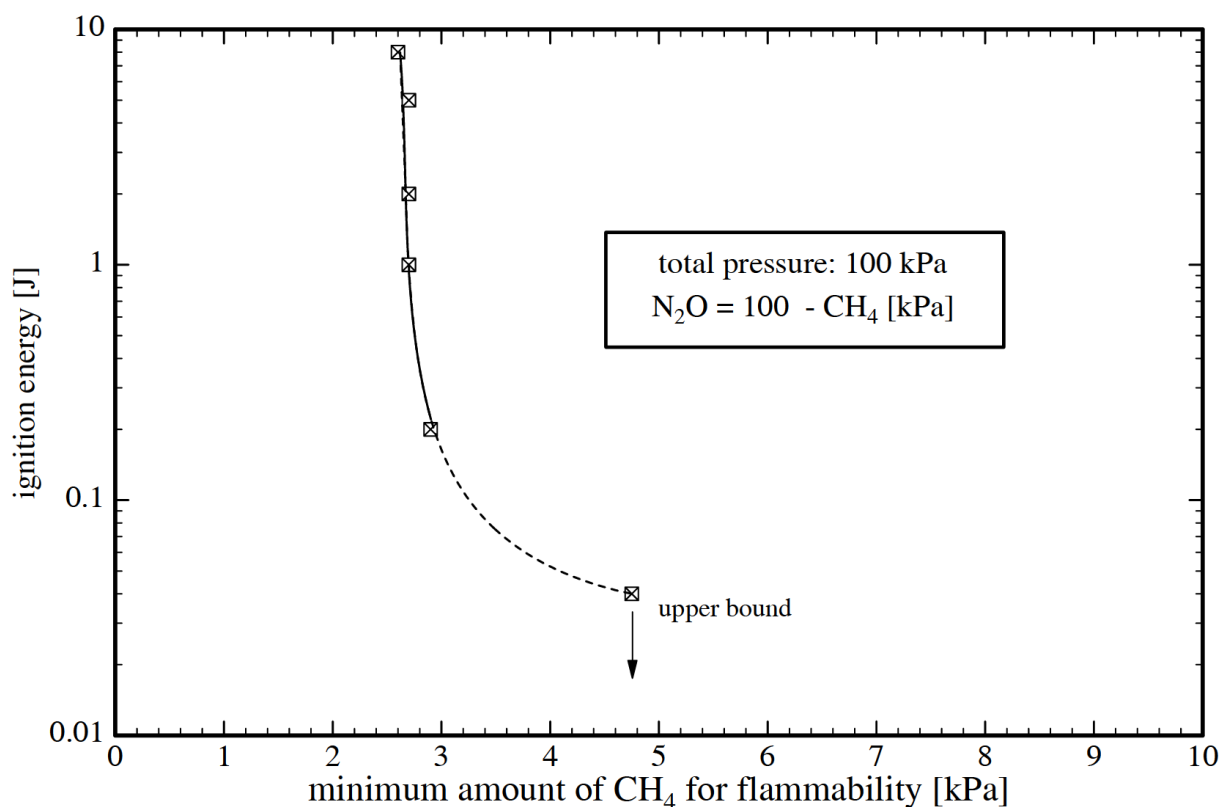


Рисунок 7 – Минимальная энергия воспламенения в зависимости от концентрации метана.

Мы предлагаем разделить поведение бедных смесей топлива с N_2O на два режима:

- 1) энергия воспламенения от низкой до средней (до 100 Дж);
- 2) высокая энергия воспламенения (более 5000 Дж). Для низкоэнергетического режима существует четко определенная минимальная концентрация топлива (НКТ), не зависящая от энергии воспламенения, до некоторого значения, по крайней мере, 100 Дж.

Для высокоэнергетического режима реакции разложения могут инициироваться независимо от количества топлива, если энергия

высвобождается достаточно быстро. Точные детали химического и физического механизма в настоящее время изучены недостаточно, но для целей большинства оценок безопасности, вероятно, достаточно охарактеризовать поведение в режиме низкой и умеренной энергии. В науке о горении остается интригующей проблемой определение деталей возникновения и распространения пламени в очень бедных смесях топлива с N_2O .

Выводы по первому разделу

Проведенный обзор влияния закиси азота на процесс сгорания углеводородных топлив показал возможности повышения мощностных характеристик двигателя за счет кратковременной подачи закиси азота в цилиндр двигателя.

Характер потребления закиси азота в смесях водород-закись азота-воздух сильно отличается от поведения в смесях метан-закись азота-воздух. В то время как закись азота полностью диссоциирует при сгорании всех легковоспламеняющихся смесей метана с закисью азота и воздухом, она лишь частично диссоциирует для бедных смесей водорода с закисью азота и воздухом. Для трудновоспламеняющихся смесей водорода с закисью азота и воздухом закись азота практически не расходуется.

Нижний предел воспламеняемости смесей метана с закисью азота достигается при 2,7% метана при энергии воспламенения менее 10 Дж. Это значение увеличивается до 4,7% для энергий воспламенения менее 0,04 Дж. Верхний предел воспламеняемости составляет от 40 до 50% метана при энергии воспламенения менее 10 Дж. Добавление 70% N_2 делает смесь инертной.

2 Тепловой расчет проектируемого двигателя

По результатам обзора технологий и аналогов выбран прототип двигателя ВАЗ на платформе В0 с последующей установкой на него системы подачи закиси азота во впускной коллектор индивидуально к каждому цилиндру.

Основные параметры двигателя ВАЗ на платформе В0 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики двигателя платформы В0

Параметр	Характеристика
Число и расположение цилиндров	4 в ряд
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Диаметр цилиндров, мм	82
Ход поршня, мм	84
Длина шатуна, мм	132,2
Рабочий объем, л	1,774
Степень сжатия	11
Номинальная мощность при частоте вращения коленчатого вала 6000 об/мин, кВт (л.с.)	93 кВт (127 л.с.)
Максимальный крутящий момент, Нм	170
Минимальная частота вращения коленчатого вала при режиме холостого хода, об/мин	840

Массовый состав исследуемых топлив и его характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Физико-технические характеристики исследуемых топлив

Характеристика топлива	Бензин	Бензин +2% N ₂ O	Бензин +5% N ₂ O
Молекулярная масса	115	113,58	111,45
Массовая теплота сгорания, МДж/кг	44	42,972	41,535
Элементарный состав, % (массы)			
– Углерод	85,5	83,79	81,225
– Водород	14,5	14,2	13,775
– Кислород	0	0,727	1,818
– Азот	0	1,273	3,182

Тепловой расчет производится по методике И.И. Вибе с учетом рекомендаций по расчету основных параметров, предложенных в учебниках

[1,2,3,4,5], для двигателя ВАЗ на платформе В0 с добавкой закиси азота в размере 2 и 5 % от массы топлива. 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 5) для каждого вида топлива, без учета частоты вращения. Анализ результатов расчета процесса впуска приведен в таблице 6.

Таблица 5 – 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_{CO_2} , кмоль CO ₂ /кг топл.	M_{H_2O} , кмоль H ₂ O/кг топл.	M_{N_2} , кмоль N ₂ /кг топл.	M_2 , кмоль пр.сг./кг топл.	μ_0
Бензин Аи-95							
0,51683	14,957	0,52552	0,07125	0,0725	0,409327	0,553077	1,052432
Бензин +2% N ₂ O							
0,5054	14,626	0,5142021	0,069825	0,07105	0,400388	0,541263	1,052626
Бензин +5% N ₂ O							
0,48825	14,13	0,49723	0,067688	0,068875	0,387222	0,523784	1,053411

Таблица 6 – Результаты расчета процесса впуска

n , мин ⁻¹	Δp_a , Мпа	p_a , Мпа	T_r , К	p_r , Мпа	γ_r	T_a , К	η_v	V_a , м ³ /кг	$\omega_{вп}$, М/с
Бензин Аи-95									
840	6,5E-05	0,099935	1035	0,103784	0,033255	330,7832	0,848578	0,9075	6,36364
2000	0,0004	0,0996318	1040	0,105111	0,033024	328,7799	0,870268	0,9048	15,1515
3800	0,0013	0,0986707	1055	0,109316	0,032813	325,9992	0,907202	0,9059	28,7879
5400	0,0027	0,0973156	1080	0,115245	0,033809	324,7553	0,915998	0,915	40,9091
6000	0,003314	0,0966859	1095	0,118	0,034366	324,625	0,919231	0,9206	45,4546
Бензин +2% N ₂ O									
840	6,5E-05	0,099935	1050	0,103784	0,029953	323,4414	0,967358	0,8867	6,36364
2000	0,0004	0,0996318	1065	0,105111	0,029926	322,6512	0,96681	0,8872	15,1515
3800	0,0013	0,0986707	1085	0,109316	0,030813	322,0168	0,958545	0,8941	28,7879
5400	0,0027	0,0973156	1112	0,115245	0,032201	322,2241	0,943502	0,9071	40,9091
6000	0,003314	0,0966859	1120	0,118	0,032998	322,4673	0,935967	0,9137	45,4546
Бензин +5% N ₂ O									
840	6,5E-05	0,099935	1058	0,103784	0,031101	324,4911	0,92463	0,8884	6,36364
2000	0,0004	0,0996318	1070	0,105111	0,030808	323,4361	0,934729	0,8882	15,1515
3800	0,0013	0,0986707	1095	0,109316	0,031226	322,6253	0,937227	0,8946	28,7879
5400	0,0027	0,0973156	1115	0,115245	0,032114	322,2512	0,943502	0,906	40,9091
6000	0,003314	0,0966859	1130	0,118	0,033078	322,8493	0,925439	0,9136	45,4546

Результата расчета параметров в конце сжатия и начала воспламенения показаны в таблице 7. 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.

Таблица 7 – 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
Бензин Аи-95						
840	1,0507448	1,375366	20	0,11507	1,711137	718,1343
2000	1,0507561	1,3756	24	0,128663	1,457561	683,9745
3800	1,050766	1,3758	28	0,145048	1,22671	648,9501
5400	1,05072	1,3759	32	0,165064	1,027002	618,2748
6000	1,05069	1,375961	35	0,181416	0,903532	597,8306
Бензин +2% N ₂ O						
840	1,051096	1,376074	20	0,112422	1,713754	703,2691
2000	1,051097	1,3761	24	0,12616	1,459381	672,0632
3800	1,051053	1,3762	28	0,143157	1,227541	641,4574
5400	1,050984	1,3762	32	0,163641	1,027424	613,7082
6000	1,05094499	1,376171	35	0,18006	0,903811	594,0404
Бензин +5% N ₂ O						
840	1,0518003	1,375972	16	0,101287	1,983099	734,1534
2000	1,051815	1,3761	20	0,112616	1,708201	703,1125
3800	1,051794	1,3762	25	0,131014	1,387696	664,5043
5400	1,05175	1,3762	27	0,140802	1,261193	649,049
6000	1,051701118	1,376135	29	0,150717	1,154201	635,8152

Анализ результатов коэффициентов термодинамического расчета (таблица 8) показал повышение коэффициента использования теплоты в связи со снижением тепловых потерь в стенку цилиндра и систему охлаждения, связанных с сокращением продолжительности сгорания при добавке закиси азота.

Анализ результатов расчета индикаторных показателей рабочего цикла (таблица 9) показал, значительное улучшение мощностных показателей при добавке закиси азота. При этом следует отметить, что добавка 2% закиси азота дает прирост примерно в 8% мощности, то добавка 5% уже всего 8-9%.

Таблица 8 – Коэффициенты термодинамического расчета

n , мин ⁻¹	ξ	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	φ_z , град, пкв.	m
Бензин Аи-95					
840	0,78	2184,863	52,963934	62	3
2000	0,8	2212	53,784864	68	3
3800	0,82	2239,1	54,378716	71	3
5400	0,84	2263,6	54,425768	78	3
6000	0,86	2288,981	54,70223	85	3
Бензин +2% N ₂ O					
840	0,8	2296,266	56,97535	57	3
2000	0,82	2349,7	58,267329	62	3
3800	0,84	2374,4	58,425659	67	3
5400	0,86	2397,8	58,154943	73	3
6000	0,88	2395,985	57,690488	80	3
Бензин +5% N ₂ O					
840	0,86	2289,724	56,703291	50	3
2000	0,88	2343,6	58,05101	56	3
3800	0,9	2395,9	58,92156	62	3
5400	0,9	2393,9	58,12976	68	3
6000	0,91	2418,209	58,232736	75	3

Таблица 9 – 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
Бензин Аи-95					
840	1,1434318	1,385914	17,21437	0,476189	172,0944
2000	1,1509147	1,399224	41,38023	0,468781	174,8142
3800	1,1758109	1,427778	80,22689	0,458872	178,5888
5400	1,1756423	1,413361	112,8554	0,449877	182,1599
6000	1,17091	1,399125	124,1319	0,443779	184,6628
Бензин +2% N ₂ O					
840	1,2256339	1,520532	18,88646	0,458416	182,7512
2000	1,2544406	1,555347	45,99737	0,469178	178,5593
3800	1,2673189	1,559223	87,61276	0,474402	176,5928
5400	1,2691206	1,539005	122,888	0,475717	176,105
6000	1,2453035	1,49922	133,0124	0,46715	179,3345
Бензин +5% N ₂ O					
840	1,2317267	1,525139	18,94368	0,481262	180,0971
2000	1,2617735	1,562682	46,21429	0,487781	177,6901
3800	1,2885199	1,584386	89,02667	0,493237	175,7244
5400	1,2557428	1,524645	121,7413	0,471482	183,8326
6000	1,2384749	1,491182	132,2993	0,470135	184,3595

Анализ результатов расчета эффективных показателей рабочего цикла (таблица 10) показал, что все эффекты, которые мы наблюдали у

индикаторных показателей при добавке закиси азота, также присутствуют и у эффективных показателей работы двигателя.

Таблица 10 – Результаты расчета эффективных показателей рабочего цикла

п, мин ⁻¹	V _{п.ср} , м/с	P _м , МПа	P _е , МПа	η _м	η _е	g _е , г/(кВт.ч)	Ne, кВт	Me, Н.м	G _т , кг/ч
Бензин Аи-95									
840	2,352	0,1168	1,2692	0,91576	0,43607	187,92588	15,7642	179,2105	2,9625
2000	5,6	0,1551	1,2441	0,88917	0,41682	196,60439	36,7939	175,6782	7,23385
3800	10,64	0,2146	1,2132	0,84973	0,38992	210,17123	68,1712	171,3124	14,3276
5400	15,12	0,2674	1,1459	0,81079	0,36476	224,66851	91,5025	161,812	20,5577
6000	16,8	0,2872	1,1119	0,7947	0,35267	232,36791	98,6476	157,0026	22,9225
Бензин +2% N ₂ O									
840	2,352	0,1168	1,4038	0,92322	0,42322	197,95083	17,4363	198,2192	3,45152
2000	5,6	0,1551	1,4003	0,90029	0,4224	198,33483	41,4111	197,7233	8,21326
3800	10,64	0,2146	1,3447	0,8624	0,40912	204,76942	75,5571	189,8729	15,4718
5400	15,12	0,2674	1,2716	0,82624	0,42791	213,13997	101,535	179,5534	21,6412
6000	16,8	0,2872	1,212	0,80841	0,37765	221,83683	107,528	171,1364	23,8537
Бензин +5% N ₂ O									
840	2,352	0,1168	1,4084	0,92345	0,44442	195,02694	17,4935	198,8696	3,4117
2000	5,6	0,1551	1,4076	0,90076	0,43937	197,26677	41,628	198,7591	8,21182
3800	10,64	0,2146	1,3698	0,86458	0,42644	203,24741	76,971	193,426	15,6442
5400	15,12	0,2674	1,2572	0,8246	0,38879	222,93427	100,388	177,5257	22,38
6000	16,8	0,2872	1,2039	0,80737	0,37957	228,34452	106,815	170,0014	24,3906

Анализ результатов расчета теплового баланса (таблица 11) показал, повышение доли тепла, идущего на полезную работу на 1-2%, за счет снижения тепловых потерь с в систему охлаждения примерно на 1 – 2 % за счет повышения энергоемкости заряда большей скорости сгорания.

Таблица 11 – Результаты расчета теплового баланса

п, мин ⁻¹	Q ₀ , Дж/с	Q _е , Дж/с	q _е , %	Q _в , Дж/с	q _в , %	Q _г , Дж/с	q _г , %	Q _{ост} , Дж/с	q _{ост} , %
Бензин Аи-95									
840	36150	15764	43,607	8733,31	24,1583	10963,1	30,3264	689,704	1,90788
2000	88272	36794	41,682	22257,6	25,2147	26967,36	30,5503	2253,216	2,55258
3800	174835	68171	38,992	49696,8	28,425	54589,348	31,2234	2377,528	1,35987
5400	250859	91503	36,476	64455,5	25,6939	81154,015	32,3505	13746,61	5,47983
6000	279716	98648	35,267	83019,1	29,6798	92389,885	33,0299	5658,895	2,02309
Бензин +2% N ₂ O									
840	41199	17436	42,322	10202,3	24,7632	12777,121	31,0129	1,902284	1,90228
2000	98038	41411	42,24	22257,6	22,7029	31066,233	31,6879	3,369509	3,36951
3800	184680	75557	40,912	41903,9	22,69	60190,161	32,5916	3,806105	3,80611
5400	258322	101535	39,306	64455,5	24,9516	87359,927	33,8183	1,924485	1,92448

Продолжение таблицы 11

6000	284732	107528	37,765	69681,9	24,4728	97330,484	34,1832	3,579258	3,57926
Бензин +5% N ₂ O									
840	39363	17493	44,442	10202,3	25,9188	11239,839	28,5547	426,9087	1,08456
2000	94744	41628	43,937	22257,6	23,4923	27520,182	29,0469	3338,215	3,52341
3800	180495	76971	42,644	41903,9	23,2161	54287,056	30,0768	7332,623	4,06252
5400	258210	100388	38,879	64455,5	24,9625	79800,019	30,9051	13565,73	5,25377
6000	281407	106815	37,957	83019,1	29,5014	88724,453	31,5289	2848,42	1,01221

Приведем основные термодинамические параметры работы двигателя по результатам теплового расчета в таблице 12, 13 и 14 для частот вращения для двигателя при работе на бензине, бензин + 2% N₂O и бензин + 5% N₂O, соответственно.

Таблица 12 – Основные термодинамические параметры работы двигателя на бензине.

Угол ПКВ, град.	Объем цилиндра	P _i , частота вращения 840 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 2000 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 3800 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 5400 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 6000 мин ⁻¹
230	0,429727	0,119023811	0,118665622	0,117524964	0,115912854	0,115162846
231	0,427362	0,119930453	0,119569668	0,118420496	0,116796185	0,116040462
232	0,424951	0,120867298	0,120503831	0,119345864	0,117708947	0,116947317
233	0,422494	0,121835254	0,121469018	0,120301964	0,118652022	0,117884291
234	0,41999	0,122835268	0,122466171	0,121289732	0,119626335	0,118852299
235	0,417441	0,123868328	0,123496277	0,122310143	0,120632848	0,119852299
236	0,414845	0,124935463	0,124560362	0,123364216	0,121672564	0,120885288
237	0,412204	0,126037749	0,125659499	0,124453012	0,122746533	0,121952308
238	0,409518	0,127176307	0,126794806	0,125577641	0,123855845	0,123054443
239	0,406786	0,128352307	0,12796745	0,126739257	0,125001644	0,124192827
240	0,40401	0,129566972	0,12917865	0,127939069	0,126185118	0,125368644
241	0,401189	0,130821577	0,130429677	0,129178336	0,127407512	0,126583128
242	0,398324	0,132117452	0,131721859	0,130458373	0,128670122	0,127837568
243	0,395415	0,133455988	0,133056583	0,131780554	0,129974303	0,129133311
244	0,392463	0,134838636	0,134435294	0,133146313	0,13132147	0,130471761
245	0,389468	0,136266913	0,135859507	0,134557148	0,132713101	0,131854388
246	0,38643	0,137742402	0,1373308	0,136014625	0,13415074	0,133282725
247	0,38335	0,139266759	0,138850824	0,137520378	0,135636001	0,134758375
248	0,380228	0,140841714	0,140421304	0,139076118	0,137170568	0,136283013
249	0,377066	0,142469074	0,142044044	0,14068363	0,138756206	0,137858391
250	0,373862	0,144150731	0,143720929	0,142344782	0,140394756	0,139486339
251	0,370619	0,145888662	0,145453932	0,14406153	0,142088146	0,141168772
252	0,367336	0,147684935	0,147245114	0,145835916	0,143838392	0,142907693
253	0,364014	0,149541714	0,149096634	0,147670079	0,145647604	0,144705199
254	0,360654	0,151461264	0,151010751	0,149566256	0,14751799	0,146563482
255	0,357256	0,153445956	0,15298983	0,151526791	0,14945186	0,148484839
256	0,353821	0,155498273	0,155036346	0,153554136	0,151451634	0,150471674
257	0,350351	0,157620814	0,157152891	0,155650861	0,153519847	0,152526504

Продолжение таблицы 12

258	0,346845	0,159816304	0,159342184	0,157819658	0,155659153	0,154651969
259	0,343304	0,162087596	0,161607069	0,160063345	0,157872336	0,156850832
260	0,33973	0,164437683	0,163950532	0,162384882	0,160162312	0,159125991
261	0,336123	0,166869701	0,166375701	0,164787366	0,16253214	0,161480484
262	0,332483	0,169386941	0,168885857	0,16727405	0,164985025	0,163917498
263	0,328813	0,171992854	0,171484442	0,169848344	0,167524333	0,166440376
264	0,325112	0,174691063	0,174175069	0,172513827	0,170153596	0,169052626
265	0,321383	0,177485369	0,176961529	0,175274257	0,172876518	0,17175793
266	0,317625	0,180379764	0,179847805	0,178133579	0,175696993	0,174560155
267	0,31384	0,183378442	0,182838078	0,181095936	0,178619108	0,177463362
268	0,310029	0,186485807	0,185936741	0,184165681	0,181647158	0,180471819
269	0,306193	0,18970649	0,189148412	0,187347391	0,184785656	0,18359001
270	0,302334	0,193045358	0,192477946	0,190645875	0,188039347	0,186822648
271	0,298451	0,196507529	0,195930447	0,194066191	0,191413222	0,190174692
272	0,294548	0,200098386	0,199511284	0,19761366	0,194912529	0,193651357
273	0,290624	0,203823595	0,203226109	0,20129388	0,198542791	0,19725813
274	0,286681	0,207689119	0,207080867	0,205112745	0,202309822	0,201000787
275	0,28272	0,211701236	0,211081821	0,209076458	0,206219744	0,20488541
276	0,278743	0,215866557	0,215235565	0,213191555	0,210279001	0,208918402
277	0,274751	0,220192048	0,219549046	0,21746492	0,214494387	0,213106512
278	0,270745	0,22468505	0,224029585	0,221903806	0,218873057	0,21745685
279	0,266727	0,2293533	0,228684901	0,226515863	0,223422556	0,221976912
280	0,262698	0,234204957	0,233523129	0,231309152	0,22815084	0,226674602
281	0,25866	0,239248627	0,238552855	0,23629218	0,233066299	0,231558255
282	0,254614	0,244493387	0,243783131	0,241473919	0,238177784	0,236636667
283	0,250561	0,249948819	0,249223515	0,246863839	0,243494639	0,24191912
284	0,246504	0,255625037	0,254884093	0,252471935	0,249026725	0,24741541
285	0,242442	0,261532717	0,260775517	0,258308763	0,254784453	0,253135884
286	0,238379	0,267683139	0,266909034	0,264385467	0,260778822	0,259091466
287	0,234316	0,274088215	0,273296526	0,270713824	0,267021447	0,265293698
288	0,230254	0,280760532	0,27995055	0,277306275	0,273524602	0,271754775
289	0,226195	0,287713392	0,286884372	0,284175968	0,28030126	0,278487586
290	0,22214	0,294960857	0,294112018	0,291336803	0,287365133	0,285505752
291	0,218092	0,302517791	0,301648314	0,298803471	0,294730717	0,292823677
292	0,214051	0,310399912	0,309508939	0,306591511	0,302413339	0,300456589
293	0,21002	0,318623843	0,317710472	0,314717352	0,31042921	0,308420594
294	0,205999	0,327207163	0,326270448	0,323198371	0,318795473	0,316732723
295	0,201992	0,336168464	0,335207412	0,332052949	0,327530262	0,325410994
296	0,197999	0,345527415	0,344540983	0,341300526	0,336652758	0,334474464
297	0,194022	0,35530482	0,354291913	0,350961669	0,34618325	0,34394329
298	0,190064	0,365522683	0,364482149	0,361058131	0,3561432	0,353838794
299	0,186125	0,37620428	0,37513491	0,371612918	0,366555308	0,364183531
300	0,182207	0,387374223	0,386274746	0,382650365	0,37744358	0,375001351
301	0,178312	0,39905854	0,397927619	0,3941962	0,388833401	0,386317475
302	0,174442	0,411284746	0,410120975	0,406277624	0,400751608	0,398158566
303	0,170599	0,424081917	0,422883821	0,418923385	0,413226564	0,410552803
304	0,166784	0,437480777	0,4362468	0,432163855	0,426288234	0,423529958
305	0,162999	0,451513767	0,450242275	0,446031108	0,439968263	0,437121471
306	0,159245	0,466215129	0,464904403	0,460558996	0,454300051	0,451360526
307	0,155525	0,481620981	0,480269214	0,47578323	0,469318832	0,466282129
308	0,15184	0,497769394	0,496374683	0,491741449	0,48506174	0,481923174
309	0,148192	0,514700458	0,513260804	0,508473291	0,501567887	0,498322518
310	0,144583	0,532456354	0,530969654	0,526020462	0,518878419	0,515521043

Продолжение таблицы 12

311	0,141013	0,551081403	0,549545446	0,544426783	0,537036573	0,533561706
312	0,137485	0,570622117	0,56903458	0,563738244	0,556087727	0,55248959
313	0,134001	0,591127228	0,58948567	0,584003032	0,576079422	0,57235193
314	0,130562	0,612647703	0,61094956	0,605271541	0,597061383	0,593198129
315	0,12717	0,635236734	0,633479314	0,627596369	0,619085507	0,615079747
316	0,123826	0,658949702	0,65713018	0,65103228	0,642205827	0,638050468
317	0,120532	0,683844102	0,681959519	0,675636131	0,666478445	0,662166031
318	0,117289	0,709979439	0,708026691	0,701466764	0,691961418	0,687484117
319	0,1141	0,737417055	0,735392897	0,728584843	0,718714604	0,714064199
320	0,110965	0,766219916	0,764120954	0,757052638	0,746799447	0,74196732
321	0,107886	0,796452315	0,794275004	0,786933734	0,776278686	0,771255815
322	0,104865	0,828179498	0,825920145	0,818292662	0,807215996	0,801992946
323	0,101903	0,861467194	0,859121952	0,851194431	0,839675523	0,834242447
324	0,099002	0,89638103	0,893945903	0,885703953	0,873721322	0,868067953
325	0,096162	0,93298582	0,930456667	0,921885341	0,909416654	0,903532321
326	0,093386	0,971344704	0,968717243	0,959801054	0,946823155	0,941001766
327	0,090675	1,011518127	1,008787943	0,99951089	0,985999834	0,980249571
328	0,088029	1,053562622	1,050725178	1,041070784	1,027001888	1,021372292
329	0,085451	1,097529398	1,094580051	1,084531408	1,07010071	1,064483482
330	0,082941	1,14346269	1,140396708	1,129936546	1,115142671	1,109714979
331	0,080501	1,191397878	1,188210462	1,177321225	1,162226668	1,157218146
332	0,078132	1,241359334	1,238045648	1,226709595	1,211474745	1,207165009
333	0,075836	1,293358009	1,289913215	1,27816713	1,263034052	1,259749203
334	0,073612	1,347388746	1,343808042	1,331670224	1,317078715	1,315186629
335	0,071463	1,403427328	1,399705995	1,387301024	1,373811511	1,373715717
336	0,06939	1,461427277	1,457560733	1,445174567	1,433465196	1,435597136
337	0,067393	1,521316444	1,517113259	1,505441968	1,496303321	1,501112827
338	0,065473	1,582993449	1,578490857	1,568293406	1,562620323	1,570564171
339	0,063632	1,646324035	1,641699994	1,63396069	1,63274066	1,644269125
340	0,061871	1,711137458	1,706781759	1,702719111	1,707016735	1,722558166
341	0,060189	1,776782719	1,773815949	1,774888245	1,785825363	1,805768868
342	0,058589	1,84354251	1,842924902	1,850831302	1,869562497	1,894238988
343	0,057071	1,911342854	1,914276766	1,930952624	1,958636015	1,988297969
344	0,055635	1,980171047	1,988087795	2,015692877	2,053456381	2,088256827
345	0,054282	2,050083857	2,064623216	2,105521565	2,154425078	2,194396462
346	0,053014	2,121214979	2,144196147	2,200926525	2,261920822	2,306954546
347	0,051831	2,193781013	2,227164048	2,302400199	2,376283691	2,426111219
348	0,050732	2,268085091	2,313922215	2,410422634	2,497797452	2,551973976
349	0,04972	2,344517226	2,404893897	2,525441379	2,626670534	2,684562226
350	0,048793	2,42355039	2,500516804	2,647848683	2,763016242	2,823792138
351	0,047954	2,505731443	2,60122595	2,777956631	2,906833004	2,96946248
352	0,047202	2,591666233	2,707433083	2,915971126	3,057985524	3,121242239
353	0,046537	2,681998496	2,819503218	3,061965823	3,216187852	3,278660838
354	0,045961	2,777382673	2,937729135	3,215857269	3,380989396	3,44110175
355	0,045472	2,87845125	3,062304944	3,377382621	3,551764899	3,607800224
356	0,045072	2,985777849	3,193300048	3,5460813	3,727709305	3,777845705
357	0,044761	3,099837757	3,330634949	3,721281856	3,907838247	3,950189316
358	0,044539	3,220968013	3,474060335	3,902095171	4,090994703	4,123656516
359	0,044405	3,349329374	3,623140788	4,087414835	4,275861992	4,296964756
360	0,044361	3,48487246	3,777244237	4,275925242	4,460983015	4,468745671
361	0,044405	3,627310195	3,935537993	4,466117555	4,644785252	4,637571029
362	0,044539	3,776098264	4,096991885	4,656313316	4,825610701	4,801981458
363	0,044761	3,930424838	4,260388618	4,844695061	5,001749674	4,960516774

Продолжение таблицы 12

364	0,045072	4,089210314	4,424341178	5,029342965	5,171477139	5,111746663
365	0,045472	4,251117306	4,587316761	5,208276227	5,333090184	5,254300469
366	0,045961	4,414570701	4,747666443	5,379497707	5,484945155	5,386894937
367	0,046537	4,577787199	4,903659603	5,541040177	5,625493091	5,508358933
368	0,047202	4,738813458	5,053521947	5,69101252	5,75331224	5,617654386
369	0,047954	4,895571674	5,195475895	5,827644285	5,867136643	5,713892952
370	0,048793	5,045911229	5,327782054	5,949327101	5,965880039	5,796348157
371	0,04972	5,187664793	5,448780473	6,05465165	6,04865459	5,864463014
372	0,050732	5,318707148	5,556930467	6,142439128	6,114784191	5,917853323
373	0,051831	5,437014773	5,650847799	6,211766345	6,163812341	5,956307
374	0,053014	5,540724209	5,72933815	6,261983869	6,195504756	5,979779909
375	0,054282	5,628187056	5,791425892	6,292726869	6,209847009	5,988388708
376	0,055635	5,698019557	5,8363773	6,303918514	6,207037652	5,982401253
377	0,057071	5,749144727	5,863717505	6,295766038	6,18747726	5,962225057
378	0,058589	5,780825206	5,873240641	6,26874976	6,151753951	5,928394302
379	0,060189	5,792685285	5,86501283	6,223605535	6,100625915	5,881555796
380	0,061871	5,784720933	5,839367871	6,161301323	6,035001486	5,82245425
381	0,063632	5,757297155	5,79689572	6,083008667	5,955917336	5,751917167
382	0,065473	5,711132554	5,738424103	5,990070078	5,864515298	5,670839607
383	0,067393	5,647271629	5,664993861	5,883963394	5,762018395	5,580169023
384	0,06939	5,567045936	5,577828866	5,766264286	5,649706577	5,480890373
385	0,071463	5,472025897	5,478301581	5,638608151	5,528892714	5,374011642
386	0,073612	5,363965534	5,367895537	5,502652585	5,400899325	5,26054996
387	0,075836	5,244742839	5,248166123	5,360041656	5,267036551	5,141518417
388	0,078132	5,116298716	5,120701172	5,212373026	5,128581792	5,01791375
389	0,080501	4,980577464	4,987082823	5,061168881	4,986761422	4,890705002
390	0,082941	4,839471625	4,848852042	4,907851402	4,842734898	4,760823302
391	0,085451	4,6947736	4,707477044	4,753723306	4,697581534	4,629152855
392	0,088029	4,54813596	4,564326608	4,599953724	4,552290099	4,496523258
393	0,090675	4,40104165	4,420648989	4,447569449	4,407751327	4,363703208
394	0,093386	4,254784601	4,277556832	4,297451325	4,264753311	4,231395648
395	0,096162	4,110460544	4,136018132	4,150335353	4,12397967	4,100234372
396	0,099002	3,968967169	3,996852983	4,0068179	3,986010297	3,970782076
397	0,101903	3,831012264	3,860735583	3,867364284	3,851324405	3,8435298
398	0,104865	3,697128139	3,728200735	3,732319915	3,720305539	3,718897684
399	0,107886	3,567690465	3,59965393	3,601923178	3,593248173	3,59723691
400	0,110965	3,442939671	3,475384032	3,476319266	3,470365507	3,478832708
401	0,1141	3,323003222	3,35557758	3,355574245	3,351798055	3,363908243
402	0,117289	3,207917364	3,240333788	3,239688747	3,237622645	3,252629219
403	0,120532	3,105304752	3,129679447	3,128610816	3,127861494	3,145109003
404	0,123826	3,007077511	3,023583079	3,029655776	3,022491047	3,041414101
405	0,12717	2,913051283	2,929008369	2,934932583	2,921450341	2,941569785
406	0,130562	2,823045948	2,838479002	2,844259811	2,824648717	2,845565736
407	0,134001	2,736886229	2,751818581	2,75746091	2,738393702	2,753361529
408	0,137485	2,654402139	2,668856039	2,674364658	2,655819773	2,664891865
409	0,141013	2,575429313	2,589425968	2,594805496	2,576762245	2,580071434
410	0,144583	2,499809223	2,513368841	2,518623741	2,501062291	2,498799355
411	0,148192	2,427389312	2,440531136	2,445665725	2,428567066	2,426354567
412	0,15184	2,358023046	2,370765403	2,375783846	2,359129771	2,356966012
413	0,155525	2,291569916	2,303930251	2,308836571	2,292609642	2,290492982
414	0,159245	2,227895384	2,239890304	2,24468838	2,2288719	2,226800753
415	0,162999	2,166870791	2,178516101	2,183209673	2,167787662	2,165760496
416	0,166784	2,108373236	2,119683977	2,124276652	2,109233814	2,10724915

Продолжение таблицы 12

417	0,170599	2,052285427	2,063275916	2,067771167	2,053092865	2,051149275
418	0,174442	1,998495521	2,009179381	2,013580557	1,999252782	1,997348889
419	0,178312	1,94689694	1,957287138	1,961597463	1,947606812	1,945741288
420	0,182207	1,897388186	1,907497068	1,911719645	1,898053293	1,896224855
421	0,186125	1,849872651	1,859711966	1,863849785	1,850495458	1,848702872
422	0,190064	1,804258415	1,813839352	1,817895292	1,804841243	1,803083317
423	0,194022	1,760458055	1,769791268	1,773768098	1,761003086	1,759278672
424	0,197999	1,718388442	1,727484079	1,731384466	1,718897732	1,717205723
425	0,201992	1,677970555	1,686838282	1,690664795	1,678446037	1,676785367
426	0,205999	1,639129286	1,647778316	1,651533424	1,639572781	1,637942422
427	0,21002	1,601793259	1,61023237	1,613918453	1,60220648	1,600605441
428	0,214051	1,565894647	1,574132208	1,577751557	1,566279209	1,564706535
429	0,218092	1,531369001	1,539412992	1,542967811	1,531726424	1,530181195
430	0,22214	1,498155081	1,506013113	1,509505526	1,498486797	1,496968127
431	0,226195	1,466194694	1,473874029	1,477306081	1,466502055	1,465009088
432	0,230254	1,435432545	1,442940113	1,446313771	1,435716823	1,434248734
433	0,234316	1,405816081	1,413158496	1,416475657	1,406078475	1,404634472
434	0,238379	1,377295355	1,384478935	1,387741425	1,377536999	1,376116314
435	0,242442	1,349822893	1,35685367	1,360063249	1,350044854	1,348646748
436	0,246504	1,323353558	1,330237297	1,33339566	1,323556844	1,322180605
437	0,250561	1,297844437	1,304586648	1,307695429	1,298029999	1,296674941
438	0,254614	1,273254719	1,279860668	1,282921442	1,273423456	1,272088915
439	0,25866	1,249545586	1,256020311	1,259034596	1,249698346	1,248383683
440	0,262698	1,226680111	1,233028429	1,235997689	1,226817695	1,225522293
441	0,266727	1,204623156	1,210849679	1,213775324	1,204746322	1,203469585
442	0,270745	1,183341277	1,18945042	1,192333812	1,183450741	1,182192096
443	0,274751	1,162802642	1,168798629	1,171641083	1,162899081	1,161657971
444	0,278743	1,142976938	1,148863818	1,151666599	1,143060991	1,141836881
445	0,28272	1,123835296	1,129616948	1,13238128	1,12390757	1,122699943
446	0,286681	1,105350216	1,111030358	1,113757421	1,105411284	1,104219639
447	0,290624	1,087495494	1,09307769	1,095768624	1,087545898	1,086369754
448	0,294548	1,070246157	1,075733825	1,07838973	1,070286411	1,069125301
449	0,298451	1,053578395	1,058974815	1,061596754	1,053608986	1,052462458
450	0,302334	1,037469506	1,042777826	1,045366825	1,037490896	1,036358514
451	0,306193	1,021897836	1,027121076	1,029678129	1,02191046	1,020791804
452	0,310029	1,006842726	1,011983787	1,014509851	1,006846998	1,00574166
453	0,31384	0,99228446	0,997346129	0,999842132	0,992280773	0,991188359
454	0,317625	0,978204218	0,983189175	0,985656013	0,978192946	0,977113074
455	0,321383	0,964584034	0,969494851	0,97193339	0,964565528	0,96349783
456	0,325112	0,951406746	0,956245898	0,958656977	0,951381342	0,95032546
457	0,328813	0,93865596	0,943425828	0,945810258	0,938623977	0,937579566
458	0,332483	0,926316014	0,931018887	0,933377453	0,926277754	0,925244478
459	0,336123	0,914371934	0,919010018	0,921343479	0,914327684	0,91330522
460	0,33973	0,90280941	0,907384824	0,909693917	0,902759441	0,901747476
461	0,343304	0,891614753	0,896129542	0,898414978	0,891559326	0,890557554
462	0,346845	0,880774873	0,885231005	0,887493474	0,880714233	0,879722361
463	0,350351	0,870277245	0,874676616	0,876916787	0,870211627	0,869229368
464	0,353821	0,860109884	0,864454323	0,866672842	0,86003951	0,859066589
465	0,357256	0,850261319	0,854552587	0,856750083	0,850186401	0,849222548
466	0,360654	0,840720566	0,844960364	0,847137444	0,840641305	0,83968626
467	0,364014	0,831477107	0,835667075	0,83782433	0,831393696	0,830447206
468	0,367336	0,82252087	0,82666259	0,828800592	0,82243349	0,82149531
469	0,370619	0,813842202	0,817937202	0,820056507	0,813751028	0,812820921

Продолжение таблицы 12

470	0,373862	0,805431857	0,809481612	0,811582758	0,805337054	0,804414788
471	0,377066	0,79728097	0,801286906	0,803370415	0,797182696	0,796268048
472	0,380228	0,789381045	0,793344539	0,795410919	0,78927945	0,788372202
473	0,38335	0,781723937	0,785646319	0,787696062	0,781619164	0,780719104
474	0,38643	0,774301831	0,778184388	0,780217974	0,774194017	0,77330094
475	0,389468	0,767107235	0,770951212	0,772969105	0,766996511	0,766110217
476	0,392463	0,760132961	0,763939562	0,765942213	0,760019451	0,759139746
477	0,395415	0,753372112	0,757142502	0,759130351	0,753255934	0,752382629
478	0,398324	0,746818068	0,750553375	0,752526849	0,746699336	0,745832248
479	0,401189	0,740464478	0,744165793	0,746125307	0,7403433	0,73948225
480	0,40401	0,734305243	0,737973626	0,739919583	0,734181722	0,733326537
481	0,406786	0,72833451	0,731970986	0,733903779	0,728208745	0,727359256
482	0,409518	0,722546659	0,72615222	0,728072233	0,722418744	0,721574786
483	0,412204	0,716936291	0,720511901	0,722419505	0,716806316	0,715967729
484	0,414845	0,711498224	0,715044818	0,716940375	0,711366275	0,710532903
485	0,417441	0,706227479	0,709745963	0,711629826	0,706093639	0,705265329
486	0,41999	0,701119274	0,704610529	0,706483042	0,700983622	0,700160227
487	0,422494	0,696169016	0,699633896	0,701495395	0,696031627	0,695213002
488	0,424951	0,691372294	0,694811628	0,696662438	0,69123324	0,690419244
489	0,427362	0,686724867	0,690139462	0,691979902	0,686584217	0,685774713
490	0,429727	0,682222663	0,685613303	0,687443684	0,682080485	0,681275338
500	0,450787	0,644398767	0,647588567	0,649333905	0,644244392	0,64347611
510	0,467115	0,544398767	0,547588567	0,549333905	0,544244392	0,54347611

Таблица 13 – Основные термодинамические параметры работы двигателя при работе на бензине и 2% закиси азота.

Угол ПКВ, град.	Объем цилиндра	P _i , частота вращения 840 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 2000 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 3800 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 5400 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 6000 мин ⁻¹
230	0,429727	0,119035005	0,118675275	0,117530491	0,115916389	0,115165627
231	0,427362	0,119942222	0,119579817	0,118426307	0,116799903	0,116043385
232	0,424951	0,120879666	0,120514496	0,11935197	0,117712853	0,116950389
233	0,422494	0,121848244	0,121480218	0,120308377	0,118656125	0,117887518
234	0,41999	0,122848905	0,12247793	0,121296464	0,119630642	0,118855687
235	0,417441	0,123882637	0,123508616	0,122317208	0,120637368	0,119855854
236	0,414845	0,124950472	0,124573305	0,123371626	0,121677305	0,120889017
237	0,412204	0,126053486	0,125673069	0,124460782	0,122751503	0,121956217
238	0,409518	0,127192802	0,12680903	0,125585784	0,123861055	0,12305854
239	0,406786	0,128369591	0,127982354	0,12674779	0,125007103	0,124197121
240	0,40401	0,129585076	0,129194261	0,127948007	0,126190836	0,125373142
241	0,401189	0,130840535	0,130446024	0,129187695	0,127413499	0,126587838
242	0,398324	0,132137298	0,131738972	0,130468171	0,12867639	0,127842499
243	0,395415	0,133476759	0,133074493	0,131790809	0,129980863	0,129138471
244	0,392463	0,134860371	0,134454035	0,133157043	0,131328335	0,130477161
245	0,389468	0,13628965	0,135879112	0,134568374	0,132720283	0,131860037
246	0,38643	0,137766184	0,137351306	0,136026366	0,134158252	0,133288633
247	0,38335	0,139291629	0,138872268	0,137532657	0,135643856	0,134764553
248	0,380228	0,140867717	0,140443726	0,139088956	0,137178781	0,136289473
249	0,377066	0,142496259	0,142067485	0,140697051	0,138764792	0,137865144
250	0,373862	0,144179147	0,143745431	0,142358812	0,140403731	0,139493398
251	0,370619	0,145918361	0,145479541	0,144076193	0,142097526	0,14117615

Продолжение таблицы 13

252	0,367336	0,147715972	0,147271877	0,14585124	0,143848196	0,142915404
253	0,364014	0,149574147	0,149124601	0,147686091	0,145657849	0,144713257
254	0,360654	0,151495153	0,151039973	0,149582988	0,147528694	0,146571902
255	0,357256	0,153481364	0,153020362	0,151544273	0,149463044	0,148493636
256	0,353821	0,155535267	0,155068245	0,153572401	0,151463319	0,150480864
257	0,350351	0,157659463	0,157186217	0,155669943	0,153532054	0,152536106
258	0,346845	0,15985668	0,159377	0,157839592	0,155671907	0,154662
259	0,343304	0,162129777	0,161643442	0,160084172	0,15788566	0,156861311
260	0,33973	0,16448175	0,163988531	0,162406639	0,160176232	0,159136939
261	0,336123	0,166915738	0,166415398	0,164810096	0,162546681	0,161491921
262	0,332483	0,169435038	0,16892733	0,167297797	0,165000217	0,163929447
263	0,328813	0,172043104	0,171527772	0,169873154	0,167540206	0,16645286
264	0,325112	0,174743565	0,174220341	0,172539749	0,170170179	0,169065669
265	0,321383	0,177540226	0,177008833	0,175301342	0,172893846	0,171771559
266	0,317625	0,180437087	0,179897234	0,178161881	0,1757151	0,174574396
267	0,31384	0,183438344	0,182889732	0,181125512	0,17863803	0,177478245
268	0,310029	0,186548411	0,185990724	0,184196591	0,181666933	0,180487373
269	0,306193	0,189771924	0,189204836	0,187379698	0,184806324	0,183606266
270	0,302334	0,193113756	0,192536926	0,190679646	0,188060952	0,186839641
271	0,298451	0,196579033	0,195992106	0,194101496	0,191435808	0,190192458
272	0,294548	0,200173148	0,199575752	0,197650573	0,194936144	0,193669932
273	0,290624	0,203901773	0,203293522	0,20133248	0,198567486	0,197277553
274	0,286681	0,207770879	0,20715137	0,205153114	0,202335649	0,201021101
275	0,28272	0,211786756	0,211155566	0,209118684	0,206246758	0,204906657
276	0,278743	0,215956024	0,215312713	0,213235729	0,210307262	0,20894063
277	0,274751	0,220285659	0,219629768	0,21751114	0,214523957	0,21312977
278	0,270745	0,224783014	0,224114061	0,221952177	0,218904002	0,21748119
279	0,266727	0,229455838	0,228773321	0,226566492	0,223454947	0,222002389
280	0,262698	0,234312303	0,233615696	0,231362155	0,22818475	0,226701273
281	0,25866	0,239361028	0,238649781	0,23634768	0,233101806	0,231586183
282	0,254614	0,244611107	0,243884644	0,241532045	0,238214971	0,236665916
283	0,250561	0,250072135	0,249329853	0,246924728	0,243533594	0,241949759
284	0,246504	0,255754243	0,254995511	0,252535733	0,249067541	0,247447513
285	0,242442	0,261668126	0,260892284	0,258375624	0,254827229	0,253169528
286	0,238379	0,267825082	0,267031435	0,264455555	0,260823662	0,259126734
287	0,234316	0,274237043	0,273424866	0,270787312	0,267068462	0,265330677
288	0,230254	0,280916618	0,280085149	0,277383347	0,273573911	0,271793558
289	0,226195	0,287877133	0,287025572	0,284256821	0,280352987	0,278528271
290	0,22214	0,295132672	0,294260182	0,291421643	0,287419412	0,285548444
291	0,218092	0,302698128	0,301803827	0,29889252	0,294787688	0,292868486
292	0,214051	0,310589247	0,309672211	0,306685003	0,302473153	0,300503634
293	0,21002	0,31882268	0,317881939	0,314815536	0,310492026	0,30847
294	0,205999	0,327416038	0,326450572	0,323301513	0,318861461	0,316784625
295	0,201992	0,33638795	0,335396687	0,332161331	0,327599602	0,325465533
296	0,197999	0,345758121	0,344739934	0,341414449	0,336725643	0,33453179
297	0,194022	0,355547392	0,354501096	0,351081452	0,346259885	0,344003565
298	0,190064	0,365777811	0,364702162	0,361184114	0,356223802	0,35390219
299	0,186125	0,376472697	0,375366383	0,371745465	0,366640109	0,364250229
300	0,182207	0,387656713	0,386518356	0,382789861	0,377532828	0,375071546
301	0,178312	0,399355936	0,398184084	0,394343058	0,388927359	0,386391375
302	0,174442	0,411597935	0,410391062	0,406432283	0,400850557	0,398236391
303	0,170599	0,424411849	0,423168346	0,419086313	0,413330802	0,410634789
304	0,166784	0,437828461	0,436546635	0,43233555	0,426398082	0,423616356

Продолжение таблицы 13

305	0,162999	0,451880279	0,450558349	0,446212102	0,44008406	0,437212548
306	0,159245	0,466601619	0,465237706	0,460749857	0,454422162	0,451456569
307	0,155525	0,482028674	0,480620803	0,475984563	0,469447642	0,466383441
308	0,15184	0,498199596	0,496745686	0,491953899	0,485197664	0,48203008
309	0,148192	0,515154565	0,513652423	0,508697548	0,501711364	0,498435366
310	0,144583	0,532935851	0,531383171	0,526257259	0,519029919	0,515640201
311	0,141013	0,551587876	0,549982229	0,544676904	0,537196599	0,533687569
312	0,137485	0,571157257	0,569496087	0,564002524	0,556256811	0,552622578
313	0,134001	0,591692837	0,589973456	0,584282361	0,576258135	0,572492491
314	0,130562	0,613245702	0,611465281	0,605566868	0,597250332	0,59334674
315	0,12717	0,63586917	0,634024735	0,627908706	0,619285339	0,615236918
316	0,123826	0,659618752	0,657707181	0,651362702	0,642417231	0,63821674
317	0,120532	0,684552087	0,682570099	0,675985784	0,666702152	0,66234198
318	0,117289	0,710728823	0,708672979	0,701836866	0,692198209	0,687670357
319	0,1141	0,73821046	0,736077152	0,728976689	0,718965308	0,714261381
320	0,110965	0,767060124	0,764845576	0,757467602	0,747064942	0,742176136
321	0,107886	0,797342276	0,795042539	0,787373274	0,776559905	0,771476998
322	0,104865	0,829122337	0,826733286	0,818758321	0,807513926	0,802227273
323	0,101903	0,862466216	0,859983551	0,851687842	0,839991211	0,834490739
324	0,099002	0,897439724	0,89485897	0,886226841	0,874055869	0,868331079
325	0,096162	0,934107862	0,931424373	0,92243952	0,909771223	0,903811193
326	0,093386	0,972533961	0,969742923	0,960388436	0,947198968	0,941318081
327	0,090675	1,012778653	1,009875093	1,000133477	0,986398172	0,980617613
328	0,088029	1,054898657	1,051877458	1,041730672	1,027424092	1,021822142
329	0,085451	1,098945361	1,095801271	1,08523078	1,070575783	1,065068787
330	0,082941	1,144963171	1,141690827	1,130677669	1,115694389	1,110521691
331	0,080501	1,19298762	1,189581572	1,178106443	1,162906121	1,158374277
332	0,078132	1,243043215	1,239497958	1,227541318	1,212373795	1,208851403
333	0,075836	1,29514102	1,291451029	1,279094836	1,264300424	1,262211312
334	0,073612	1,349275955	1,345435731	1,332729376	1,318932737	1,318747199
335	0,071463	1,40542384	1,401427963	1,388567023	1,376564436	1,378788245
336	0,06939	1,463538187	1,459381378	1,446782345	1,437538952	1,44269989
337	0,067393	1,523546781	1,519114174	1,507607781	1,502251402	1,510883109
338	0,065473	1,585348106	1,580742987	1,571338714	1,571149383	1,583772448
339	0,063632	1,648807694	1,644356772	1,638337836	1,644732238	1,661832537
340	0,061871	1,713754499	1,710119217	1,70903833	1,723548345	1,745552833
341	0,060189	1,779635916	1,778276765	1,783945261	1,808190016	1,835440336
342	0,058589	1,846727322	1,849165786	1,863634562	1,899285602	1,932010085
343	0,057071	1,915069089	1,923218166	1,948748899	1,997488446	2,03577329
344	0,055635	1,984817454	2,000964384	2,039989756	2,103462439	2,147223032
345	0,054282	2,056256807	2,083033062	2,138105155	2,217864045	2,266817591
346	0,053014	2,129809765	2,170145906	2,243872539	2,341320849	2,394961585
347	0,051831	2,206043582	2,263107002	2,358076626	2,474406845	2,531985231
348	0,050732	2,285671204	2,3627856	2,481482268	2,61761494	2,678122237
349	0,04972	2,369545234	2,470091822	2,614802721	2,771327341	2,833486987
350	0,048793	2,458643123	2,585945159	2,758664086	2,93578475	2,998051848
351	0,047954	2,554042287	2,711236186	2,913566987	3,111055497	3,171625599
352	0,047202	2,656884411	2,846782473	3,079846943	3,297005965	3,353834089
353	0,046537	2,768329061	2,993280284	3,257635067	3,493273786	3,544104326
354	0,045961	2,889497706	3,151254129	3,446821001	3,699245416	3,741653189
355	0,045472	3,021410314	3,321006569	3,647020047	3,914039682	3,945481908
356	0,045072	3,164917553	3,502570892	3,857546507	4,136498834	4,154377256
357	0,044761	3,320632284	3,695669294	4,07739515	4,3651884	4,366920185

Продолжение таблицы 13

358	0,044539	3,488864298	3,899679038	4,305232514	4,598406834	4,581502228
359	0,044405	3,669562157	4,113608885	4,539399457	4,834205492	4,796349641
360	0,044361	3,862265612	4,336087676	4,777925883	5,07041896	5,009554754
361	0,044405	4,066071544	4,565366549	5,018558074	5,304705141	5,219113584
362	0,044539	4,279615731	4,799335749	5,258798388	5,534593968	5,42296836
363	0,044761	4,501072124	5,035556371	5,495956442	5,757543029	5,619053271
364	0,045072	4,72817071	5,271306748	5,727210233	5,970997986	5,805341581
365	0,045472	4,958234413	5,503642469	5,949675087	6,172455353	5,979892145
366	0,045961	5,188234774	5,729468328	6,160477815	6,359525059	6,140893481
367	0,046537	5,414865425	5,945619829	6,356833172	6,529990262	6,286703684
368	0,047202	5,634631498	6,148951301	6,536119523	6,681862067	6,415884823
369	0,047954	5,843952216	6,336427226	6,695950661	6,813427105	6,527230767
370	0,048793	6,039273049	6,505213075	6,834240913	6,923286372	6,619787812
371	0,04972	6,217182972	6,652761849	6,949260963	7,010384175	6,692867842
372	0,050732	6,374531737	6,776892571	7,039682309	7,074026534	6,746054109
373	0,051831	6,508541623	6,875857277	7,10460876	7,113888837	6,779200009
374	0,053014	6,61690803	6,948393443	7,143593966	7,130013016	6,792421457
375	0,054282	6,697883479	6,993759471	7,156644577	7,122794841	6,786083621
376	0,055635	6,750340199	7,011751537	7,144209203	7,092962247	6,760782871
377	0,057071	6,773807448	7,002701032	7,107153936	7,041545885	6,717324825
378	0,058589	6,768481033	6,967452722	7,046725703	6,969843205	6,656699393
379	0,060189	6,735204087	6,907324729	6,9645052	6,879377551	6,580053672
380	0,061871	6,675419953	6,824052369	6,862351515	6,77185378	6,488663497
381	0,063632	6,591099791	6,719718702	6,742340864	6,64911196	6,383904396
382	0,065473	6,484649271	6,596675353	6,606702025	6,513080637	6,267222625
383	0,067393	6,358800077	6,457457623	6,45775111	6,365731136	6,140106912
384	0,06939	6,216492984	6,30469814	6,297828253	6,209034196	6,00406144
385	0,071463	6,060759675	6,141043247	6,129238567	6,044920126	5,860580574
386	0,073612	5,89461032	5,969075993	5,954199436	5,875243455	5,711125733
387	0,075836	5,720933175	5,791248976	5,774795754	5,701752838	5,55710478
388	0,078132	5,542411176	5,609829519	5,592944235	5,526066742	5,399854177
389	0,080501	5,361458821	5,426858681	5,4103674	5,349655177	5,240624137
390	0,082941	5,180180799	5,244124645	5,228577266	5,173827487	5,080566867
391	0,085451	5,000351986	5,06315002	5,048868307	4,999725975	4,92072794
392	0,088029	4,82341679	4,885191812	4,872318775	4,828324922	4,762040751
393	0,090675	4,650504632	4,71125211	4,699799152	4,66043439	4,605323917
394	0,093386	4,482457566	4,542097148	4,531986291	4,49670804	4,451281413
395	0,096162	4,31986579	4,378282217	4,369381671	4,337654148	4,300505155
396	0,099002	4,163107022	4,220179933	4,212332244	4,183648935	4,153479725
397	0,101903	4,01238626	4,068009651	4,061052426	4,034951379	4,010588836
398	0,104865	3,877730101	3,921866159	3,915646031	3,8917187	3,872123172
399	0,107886	3,748711232	3,791397505	3,776127132	3,754021838	3,73828919
400	0,110965	3,625129872	3,66642685	3,651662782	3,62186034	3,609218513
401	0,1141	3,506784047	3,546750004	3,532470699	3,495176229	3,48497754
402	0,117289	3,393471506	3,4321625	3,418347251	3,382249046	3,36557698
403	0,120532	3,284991308	3,322461189	3,30909012	3,274137445	3,250981016
404	0,123826	3,181145113	3,217445549	3,204499608	3,170643792	3,141115904
405	0,12717	3,081738229	3,116918744	3,10437968	3,071574086	3,035877844
406	0,130562	2,986580426	3,020688448	3,008538798	2,976738772	2,942049658
407	0,134001	2,895486581	2,928567496	2,916790561	2,885953381	2,852231269
408	0,137485	2,808277154	2,840374363	2,828954187	2,799039008	2,766245389
409	0,141013	2,724778533	2,755933519	2,744854861	2,715822651	2,683920596
410	0,144583	2,644823264	2,675075659	2,664323968	2,636137448	2,605091558

Продолжение таблицы 13

411	0,148192	2,568250196	2,597637846	2,587199238	2,559822813	2,529599172
412	0,15184	2,494904535	2,523463573	2,5133248	2,486724495	2,457290622
413	0,155525	2,424637847	2,452402757	2,442551185	2,416694579	2,388019375
414	0,159245	2,357307999	2,384311692	2,374735272	2,349591432	2,321645127
415	0,162999	2,292779068	2,319052944	2,309740186	2,285279604	2,258033709
416	0,166784	2,230921206	2,256495225	2,247435174	2,223629703	2,197056957
417	0,170599	2,171610494	2,196513234	2,187695448	2,164518238	2,138592559
418	0,174442	2,114728758	2,138987488	2,130402007	2,10782745	2,082523883
419	0,178312	2,060163391	2,083804125	2,075441455	2,053445122	2,028739794
420	0,182207	2,007807149	2,030854706	2,022705794	2,001264384	1,977134453
421	0,186125	1,95755795	1,980036012	1,972092226	1,951183506	1,927607121
422	0,190064	1,909318665	1,931249834	1,923502939	1,903105699	1,88006195
423	0,194022	1,862996913	1,884402759	1,876844901	1,8569389	1,834407779
424	0,197999	1,818504852	1,839405964	1,832029652	1,812595571	1,790557931
425	0,201992	1,775758975	1,796175012	1,788973095	1,769992494	1,748430009
426	0,205999	1,734679911	1,754629645	1,747595299	1,729050573	1,707945698
427	0,21002	1,695192228	1,714693589	1,707820302	1,689694636	1,669030576
428	0,214051	1,657224248	1,676294362	1,669575915	1,651853251	1,631613921
429	0,218092	1,620707857	1,639363092	1,632793544	1,615458539	1,595628534
430	0,22214	1,585578332	1,60383433	1,597408008	1,580446001	1,561010564
431	0,226195	1,551774172	1,569645887	1,563357371	1,546754346	1,527699337
432	0,230254	1,519236933	1,536738664	1,530582772	1,514325331	1,495637198
433	0,234316	1,487911071	1,505056497	1,499028275	1,483103604	1,464769356
434	0,238379	1,457743796	1,474546002	1,468640714	1,453036554	1,435043736
435	0,242442	1,428684926	1,445156436	1,439369551	1,424074173	1,406410839
436	0,246504	1,400686755	1,416839558	1,41116674	1,396168917	1,378823609
437	0,250561	1,373703923	1,389549498	1,383986598	1,369275581	1,352237303
438	0,254614	1,34769329	1,363242633	1,35778568	1,343351174	1,326609373
439	0,25866	1,322613826	1,337877471	1,33252266	1,318354805	1,301899349
440	0,262698	1,298426494	1,313414539	1,308158226	1,294247572	1,278068733
441	0,266727	1,275094152	1,289816275	1,284654967	1,270992456	1,25508089
442	0,270745	1,252581447	1,26704693	1,261977281	1,248554228	1,232900956
443	0,274751	1,230854726	1,245072473	1,240091273	1,226899348	1,211495742
444	0,278743	1,209881945	1,223860499	1,218964671	1,205995882	1,190833648
445	0,28272	1,189632586	1,203380146	1,198566737	1,185813415	1,170884577
446	0,286681	1,170077576	1,183602016	1,178868191	1,166322973	1,151619861
447	0,290624	1,151189214	1,164498093	1,159841132	1,147496949	1,133012181
448	0,294548	1,132941095	1,146041677	1,141458968	1,129309028	1,115035503
449	0,298451	1,11530805	1,128207314	1,123696348	1,111734126	1,097665007
450	0,302334	1,098266075	1,110970732	1,106529097	1,094748321	1,080877025
451	0,306193	1,081792277	1,094308777	1,089934155	1,078328797	1,064648984
452	0,310029	1,065864813	1,078199361	1,073889525	1,062453786	1,048959347
453	0,31384	1,050462839	1,062621405	1,058374212	1,047102512	1,033787562
454	0,317625	1,035566457	1,047554786	1,043368174	1,032255147	1,019114011
455	0,321383	1,021156669	1,032980291	1,028852277	1,017892755	1,004919963
456	0,325112	1,00721533	1,018879572	1,014808245	1,003997254	0,99118753
457	0,328813	0,993725107	1,005235099	1,001218621	0,990551369	0,977899622
458	0,332483	0,980669437	0,992030122	0,988066723	0,977538593	0,965039911
459	0,336123	0,96803249	0,979248632	0,975336605	0,964943148	0,952592791
460	0,33973	0,955799132	0,966875323	0,963013024	0,952749952	0,940543342
461	0,343304	0,943954889	0,95489556	0,951081403	0,940944581	0,928877296
462	0,346845	0,93248592	0,943295343	0,9395278	0,929513238	0,917581009
463	0,350351	0,92137898	0,932061279	0,928338875	0,918442724	0,906641424

Продолжение таблицы 13

464	0,353821	0,910621396	0,921180551	0,917501862	0,907720409	0,896046049
465	0,357256	0,900201036	0,910640889	0,907004543	0,897334202	0,885782925
466	0,360654	0,890106287	0,900430549	0,89683522	0,887272527	0,875840605
467	0,364014	0,880326026	0,890538281	0,886982689	0,8775243	0,866208125
468	0,367336	0,8708496	0,880953313	0,877436221	0,868078903	0,856874984
469	0,370619	0,861666803	0,871665323	0,868185535	0,858926165	0,847831124
470	0,373862	0,852767855	0,86266442	0,859220781	0,850056338	0,839066904
471	0,377066	0,844143383	0,853941125	0,850532517	0,841460081	0,830573086
472	0,380228	0,835784402	0,845486349	0,842111693	0,833128437	0,822340815
473	0,38335	0,827682295	0,83729138	0,833949631	0,825052821	0,814361597
474	0,38643	0,8198288	0,829347862	0,826038007	0,817224998	0,806627291
475	0,389468	0,812215994	0,82164778	0,818368841	0,809637068	0,799130087
476	0,392463	0,804836272	0,814183446	0,810934474	0,802281457	0,791862491
477	0,395415	0,797682342	0,806947481	0,803727558	0,795150892	0,784817315
478	0,398324	0,790747202	0,799932808	0,796741044	0,788238398	0,77798766
479	0,401189	0,784024135	0,79313263	0,789968163	0,781537279	0,771366906
480	0,40401	0,777506691	0,786540425	0,783402419	0,775041106	0,764948696
481	0,406786	0,771188678	0,780149933	0,777037575	0,768743709	0,758726929
482	0,409518	0,765064152	0,773955139	0,770867644	0,762639163	0,752695747
483	0,412204	0,759127404	0,767950271	0,764886876	0,756721778	0,746849525
484	0,414845	0,753372952	0,762129784	0,759089747	0,750986091	0,741182859
485	0,417441	0,747795531	0,756488352	0,753470954	0,745426852	0,735690562
486	0,41999	0,742390082	0,751020861	0,748025403	0,740039022	0,730367649
487	0,422494	0,737151747	0,745722397	0,742748199	0,734817758	0,725209334
488	0,424951	0,732075859	0,740588239	0,737634642	0,729758408	0,720211017
489	0,427362	0,727157935	0,735613853	0,732680214	0,724856504	0,71536828
490	0,429727	0,722393666	0,730794882	0,727880578	0,720107753	0,710676879
500	0,450787	0,682367308	0,690308766	0,687556864	0,680211641	0,671263873
510	0,467115	0,582367308	0,590308766	0,587556864	0,580211641	0,571263873

Таблица 14 – Основные термодинамические параметры работы двигателя при работе на бензине и 5% закиси азота.

Угол ПКВ, град.	Объем цилиндра	P _i , частота вращения 840 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 2000 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 3800 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 5400 мин ⁻¹	P _i , частота вращения 6000 мин ⁻¹
230	0,429727	0,119033493	0,118672259	0,117529296	0,115914916	0,115164895
231	0,427362	0,119940632	0,119576645	0,118425051	0,116798354	0,116042616
232	0,424951	0,120877994	0,120511163	0,11935065	0,117711225	0,116949581
233	0,422494	0,121846489	0,121476718	0,12030699	0,118654416	0,117886668
234	0,41999	0,122847062	0,122474255	0,121295008	0,119628848	0,118854795
235	0,417441	0,123880704	0,12350476	0,12231568	0,120635484	0,119854919
236	0,414845	0,124948444	0,12456926	0,123370024	0,12167533	0,120888036
237	0,412204	0,12605136	0,125668828	0,124459102	0,122749432	0,121955188
238	0,409518	0,127190573	0,126804585	0,125584023	0,123858885	0,123057462
239	0,406786	0,128367255	0,127977696	0,126745945	0,125004828	0,124195991
240	0,40401	0,12958263	0,129189382	0,127946074	0,126188454	0,125371958
241	0,401189	0,130837973	0,130440916	0,129185671	0,127411005	0,126586598
242	0,398324	0,132134616	0,131733624	0,130466052	0,128673778	0,127841201
243	0,395415	0,133473952	0,133068896	0,131788591	0,12997813	0,129137113
244	0,392463	0,134857433	0,134448178	0,133154723	0,131325474	0,13047574
245	0,389468	0,136286577	0,135872985	0,134565947	0,13271729	0,13185855

Продолжение таблицы 14

246	0,38643	0,13776297	0,137344897	0,136023827	0,134155122	0,133287078
247	0,38335	0,139288268	0,138865566	0,137530002	0,135640583	0,134762927
248	0,380228	0,140864203	0,140436719	0,13908618	0,137175359	0,136287773
249	0,377066	0,142492585	0,142060159	0,140694149	0,138761214	0,137863367
250	0,373862	0,144175306	0,143737774	0,142355778	0,140399991	0,13949154
251	0,370619	0,145914347	0,145471537	0,144073022	0,142093618	0,141174208
252	0,367336	0,147711777	0,147263513	0,145847926	0,143844111	0,142913375
253	0,364014	0,149569764	0,149115861	0,147682629	0,14565358	0,144711136
254	0,360654	0,151490573	0,151030841	0,14957937	0,147524234	0,146569686
255	0,357256	0,153476579	0,15301082	0,151540493	0,149458384	0,148491321
256	0,353821	0,155530267	0,155058275	0,153568452	0,15145845	0,150478446
257	0,350351	0,157654239	0,157175802	0,155665817	0,153526967	0,152533579
258	0,346845	0,159851223	0,159366119	0,157835282	0,155666593	0,15465936
259	0,343304	0,162124076	0,161632075	0,160079668	0,157880108	0,156858553
260	0,33973	0,164475794	0,163976655	0,162401934	0,160170432	0,159134057
261	0,336123	0,166909516	0,166402992	0,164805181	0,162540622	0,161488911
262	0,332483	0,169428537	0,168914369	0,167292662	0,164993887	0,163926302
263	0,328813	0,172036313	0,17151423	0,169867789	0,167533592	0,166449575
264	0,325112	0,174736469	0,174206192	0,172534144	0,170163269	0,169062237
265	0,321383	0,177532812	0,176994049	0,175295486	0,172886626	0,171767972
266	0,317625	0,180429339	0,179881786	0,178155761	0,175707555	0,174570648
267	0,31384	0,183430248	0,182873588	0,181119117	0,178630145	0,177474328
268	0,310029	0,18653995	0,185973853	0,184189908	0,181658693	0,18048328
269	0,306193	0,18976308	0,189187202	0,187372713	0,184797712	0,183601988
270	0,302334	0,193104512	0,192518493	0,190672344	0,18805195	0,186835169
271	0,298451	0,196569369	0,195972835	0,194093862	0,191426397	0,190187782
272	0,294548	0,200163043	0,199555604	0,197642591	0,194926304	0,193665043
273	0,290624	0,203891206	0,203272453	0,201324133	0,198557196	0,197272442
274	0,286681	0,207759829	0,207129335	0,205144384	0,202324887	0,201015755
275	0,28272	0,211775197	0,211132518	0,209109553	0,206235502	0,204901065
276	0,278743	0,215943931	0,215288601	0,213226177	0,210295486	0,20893478
277	0,274751	0,220273007	0,219604539	0,217501146	0,214511636	0,213123649
278	0,270745	0,224769773	0,224087659	0,221941717	0,218891108	0,217474784
279	0,266727	0,229441979	0,228745686	0,226555544	0,22344145	0,221995684
280	0,262698	0,234297794	0,233586765	0,231350694	0,22817062	0,226694254
281	0,25866	0,239345836	0,238619487	0,236335679	0,23308701	0,231578833
282	0,254614	0,244595195	0,243852916	0,241519476	0,238199476	0,236658219
283	0,250561	0,250055467	0,249296618	0,246911562	0,243517362	0,241941696
284	0,246504	0,255736778	0,254960688	0,252521938	0,249050533	0,247439065
285	0,242442	0,261649824	0,260855789	0,258361166	0,254809405	0,253160674
286	0,238379	0,267805896	0,266993179	0,264440399	0,260804978	0,259117452
287	0,234316	0,274216926	0,273384753	0,270771421	0,267048871	0,265320945
288	0,230254	0,28089552	0,28004308	0,277366681	0,273553364	0,271783352
289	0,226195	0,287855	0,286981439	0,284239337	0,280331433	0,278517563
290	0,22214	0,295109448	0,294213872	0,291403297	0,287396794	0,285537208
291	0,218092	0,302673752	0,301755221	0,298873264	0,294763948	0,292856694
292	0,214051	0,310563655	0,30962118	0,306664786	0,302448229	0,300491253
293	0,21002	0,318795803	0,317828346	0,314794304	0,310465851	0,308456998
294	0,205999	0,327387804	0,326394272	0,323279209	0,318833964	0,316770966
295	0,201992	0,336358282	0,335337527	0,332137894	0,327570709	0,32545118
296	0,197999	0,345726935	0,344677749	0,341389814	0,336695272	0,334516703
297	0,194022	0,355514602	0,354435713	0,35105555	0,346227952	0,343987702
298	0,190064	0,365743324	0,364633394	0,361156871	0,356190216	0,353885506

Продолжение таблицы 14

299	0,186125	0,376436413	0,375294033	0,371716802	0,366604773	0,364232676
300	0,182207	0,387618526	0,386442211	0,382759696	0,377495638	0,375053073
301	0,178312	0,399315734	0,398103921	0,3943113	0,388888207	0,386371926
302	0,174442	0,411555598	0,410306641	0,406398838	0,400809325	0,398215909
303	0,170599	0,424367249	0,423079411	0,41905108	0,413287367	0,410613212
304	0,166784	0,43778146	0,436452914	0,432298421	0,426352308	0,423593618
305	0,162999	0,451830733	0,450459552	0,446172962	0,440035808	0,437188579
306	0,159245	0,466549372	0,465133523	0,460708583	0,454371278	0,451431293
307	0,155525	0,48197356	0,480510904	0,475941024	0,469393967	0,466356777
308	0,15184	0,498141439	0,496629717	0,491907956	0,485141024	0,482001945
309	0,148192	0,515093176	0,51353001	0,508649052	0,501651577	0,498405667
310	0,144583	0,532871029	0,531253912	0,52620605	0,518966789	0,515608841
311	0,141013	0,551519406	0,549845697	0,544622814	0,537129916	0,533654444
312	0,137485	0,571084911	0,569351826	0,563945372	0,556186353	0,552587578
313	0,134001	0,591616372	0,589820979	0,584221954	0,576183665	0,572455498
314	0,130562	0,613164858	0,611304071	0,605503001	0,597171596	0,593307628
315	0,12717	0,635783669	0,633854241	0,62784116	0,619202068	0,615195553
316	0,123826	0,6595283	0,657526814	0,651291246	0,642329138	0,63817298
317	0,120532	0,68445637	0,682379234	0,675910168	0,666608932	0,662295673
318	0,117289	0,710627509	0,708470951	0,701756827	0,692099536	0,687621342
319	0,1141	0,738103194	0,735863254	0,728891948	0,718860837	0,714209486
320	0,110965	0,766946529	0,764619058	0,757377861	0,746954307	0,742121178
321	0,107886	0,797221953	0,794802604	0,787278218	0,776442718	0,771418786
322	0,104865	0,828994864	0,826479093	0,818657616	0,807389775	0,802165602
323	0,101903	0,862331145	0,859714208	0,851581134	0,83985966	0,834425392
324	0,099002	0,897296584	0,894573537	0,886113758	0,873916459	0,868261828
325	0,096162	0,933956156	0,931121857	0,922319669	0,909623469	0,903737798
326	0,093386	0,972373165	0,969422281	0,960261404	0,947042361	0,940914573
327	0,090675	1,012608219	1,009535233	0,999998831	0,986232178	0,979850814
328	0,088029	1,054718013	1,051517235	1,041587958	1,027248153	1,020601397
329	0,085451	1,098753908	1,095419493	1,085079526	1,070140326	1,063216038
330	0,082941	1,144760288	1,141286257	1,130517385	1,114951938	1,1077377
331	0,080501	1,192772666	1,18915293	1,177936621	1,161717593	1,15420076
332	0,078132	1,24281553	1,239043928	1,227361438	1,210461155	1,202755211
333	0,075836	1,294899929	1,290970265	1,278802759	1,261193397	1,253315634
334	0,073612	1,349020772	1,344926866	1,332255572	1,31396104	1,305965546
335	0,071463	1,405153875	1,400889621	1,387696004	1,368749248	1,360816094
336	0,06939	1,463252751	1,458812182	1,445032249	1,425653125	1,418008585
337	0,067393	1,523245193	1,518622564	1,504349524	1,484814388	1,477716864
338	0,065473	1,585029705	1,580219577	1,565767125	1,54642616	1,540149384
339	0,063632	1,648471846	1,643469188	1,629481765	1,610737444	1,605550731
340	0,061871	1,713400611	1,708200913	1,695775737	1,678056936	1,674202365
341	0,060189	1,779604976	1,773877383	1,765024279	1,748755702	1,746422267
342	0,058589	1,846830767	1,840785554	1,837701383	1,823268217	1,822563174
343	0,057071	1,914778064	1,908998557	1,91438314	1,902091147	1,903009064
344	0,055635	1,983099357	1,978720633	1,995747589	1,98577929	1,988169573
345	0,054282	2,050885784	2,050300495	2,082569979	2,074938038	2,078472049
346	0,053014	2,118627519	2,124242043	2,175712371	2,17021188	2,174351052
347	0,051831	2,186458205	2,201210709	2,276106674	2,272268546	2,276235196
348	0,050732	2,254754234	2,282033529	2,384730485	2,381778633	2,384531389
349	0,04972	2,324153488	2,367690942	2,502575515	2,499390858	2,49960671
350	0,048793	2,395565955	2,459298469	2,630608921	2,625703346	2,621768328
351	0,047954	2,470172634	2,558076879	2,769728408	2,761231739	2,751242117

Продолжение таблицы 14

352	0,047202	2,549409008	2,665310151	2,92071255	2,906375243	2,888150754
353	0,046537	2,634929796	2,78229158	3,084168282	3,061381959	3,032492283
354	0,045961	2,728552782	2,910259528	3,260477856	3,226315123	3,184120216
355	0,045472	2,832181261	3,050325444	3,449747855	3,40102197	3,342726303
356	0,045072	2,947706932	3,203397773	3,65176292	3,585106971	3,507827062
357	0,044761	3,076897544	3,370105912	3,865946857	3,777911138	3,678755066
358	0,044539	3,221275744	3,550728619	4,091333629	3,978498922	3,854655819
359	0,044405	3,381996934	3,745131032	4,326550533	4,185653955	4,034490783
360	0,044361	3,559734218	3,952714036	4,569815463	4,397884543	4,217046847
361	0,044405	3,754577873	4,172379111	4,818949713	4,613439404	4,400952183
362	0,044539	3,965955435	4,402511204	5,071407119	4,830333646	4,584698125
363	0,044761	4,192577161	4,640981542	5,324319654	5,046384498	4,766666356
364	0,045072	4,432410432	4,885171703	5,574558714	5,259255808	4,945160473
365	0,045472	4,682685881	5,132019565	5,818810525	5,466509888	5,118440739
366	0,045961	4,939937418	5,378086909	6,053663213	5,665664867	5,284760757
367	0,046537	5,200077525	5,619647497	6,275702367	5,854255504	5,442404732
368	0,047202	5,458508085	5,852793345	6,481611268	6,029895187	5,589724035
369	0,047954	5,710265222	6,073555708	6,668271595	6,190336842	5,725171892
370	0,048793	5,950194386	6,278036184	6,832860179	6,333530525	5,847335173
371	0,04972	6,173149236	6,462542306	6,972937466	6,457675643	5,95496244
372	0,050732	6,374205132	6,623721211	7,086523622	6,561266003	6,046987632
373	0,051831	6,548875597	6,75868456	7,172158754	6,64312618	6,122548933
374	0,053014	6,693318292	6,865117835	7,228944422	6,702438073	6,181002575
375	0,054282	6,804516245	6,941367645	7,256564519	6,738756868	6,221931473
376	0,055635	6,880420573	6,986501574	7,255284597	6,752016034	6,245148724
377	0,057071	6,920042837	7,000336579	7,225929804	6,742521357	6,250696114
378	0,058589	6,923488494	6,983433751	7,169842655	6,710934424	6,238837874
379	0,060189	6,891927459	6,937059397	7,088822948	6,658246303	6,210049988
380	0,061871	6,827503113	6,863114618	6,985052996	6,58574255	6,165005453
381	0,063632	6,733186662	6,764037789	6,861012138	6,494960945	6,104555922
382	0,065473	6,612588846	6,642686224	6,719384959	6,387643643	6,029710249
383	0,067393	6,469744957	6,50220477	6,562967873	6,265685604	5,94161051
384	0,06939	6,308891303	6,345889846	6,394578667	6,131081294	5,841506114
385	0,071463	6,134251378	6,17705752	6,216973162	5,985871653	5,730726678
386	0,073612	5,949847944	5,998923468	6,032772543	5,8320933	5,610654383
387	0,075836	5,759353349	5,814501284	5,844403978	5,671731726	5,482696508
388	0,078132	5,565985313	5,626523651	5,654056144	5,506680024	5,348258886
389	0,080501	5,372449885	5,43738866	5,463650209	5,338704326	5,208720942
390	0,082941	5,180928132	5,249131305	5,27482576	5,169416763	5,065412952
391	0,085451	4,993099179	5,063418142	5,088940307	5,000256326	4,919596066
392	0,088029	4,810189759	4,881561484	4,907080275	4,832477582	4,772445515
393	0,090675	4,633039741	4,704548528	4,73008097	4,667146838	4,625037309
394	0,093386	4,462173883	4,53308038	4,5585528	4,505144966	4,478338594
395	0,096162	4,309240122	4,367616133	4,392911125	4,347175878	4,333201659
396	0,099002	4,162509703	4,208417827	4,233407345	4,19377946	4,190361493
397	0,101903	4,021805124	4,066184038	4,080159268	4,045347702	4,050436599
398	0,104865	3,8869384	3,929850797	3,94339467	3,902142769	3,913932718
399	0,107886	3,757714287	3,799220806	3,812350137	3,764315889	3,781248984
400	0,110965	3,633933019	3,674092193	3,68682327	3,631926042	3,652686019
401	0,1141	3,515392609	3,554260839	3,566609414	3,504957684	3,528455408
402	0,117289	3,401890778	3,439522323	3,451503602	3,391723285	3,408690052
403	0,120532	3,293226539	3,329673527	3,341302168	3,283317288	3,29345487
404	0,123826	3,189201492	3,224513948	3,235804061	3,17954155	3,18275745

Продолжение таблицы 14

405	0,12717	3,089620871	3,123846747	3,134811902	3,080201565	3,07655825
406	0,130562	2,994294365	3,027479589	3,038132824	2,985107286	2,974780088
407	0,134001	2,90303676	2,935225286	2,945579115	2,894073766	2,883991037
408	0,137485	2,815668417	2,846902283	2,856968712	2,806921631	2,797075058
409	0,141013	2,732015619	2,76233501	2,772125546	2,723477427	2,713858958
410	0,144583	2,651910807	2,681354115	2,690879786	2,643573857	2,634175697
411	0,148192	2,575192716	2,60379661	2,613067976	2,567049911	2,557864523
412	0,15184	2,501706439	2,529505931	2,538533102	2,493750934	2,484771034
413	0,155525	2,431303426	2,458331934	2,467124588	2,423528624	2,414747176
414	0,159245	2,36384143	2,390130849	2,398698244	2,356240971	2,347651183
415	0,162999	2,299184409	2,324765174	2,333116168	2,29175217	2,283347487
416	0,166784	2,237202402	2,262103552	2,270246619	2,229932486	2,221706587
417	0,170599	2,177771372	2,202020615	2,209963859	2,170658101	2,162604891
418	0,174442	2,120773035	2,144396806	2,152147977	2,113810945	2,105924548
419	0,178312	2,066094668	2,08911819	2,096684703	2,059278503	2,051553257
420	0,182207	2,013628919	2,036076259	2,043465202	2,00695362	1,999384068
421	0,186125	1,963273596	1,985167722	1,992385877	1,956734297	1,949315183
422	0,190064	1,914931466	1,936294295	1,943348149	1,908523485	1,901249747
423	0,194022	1,868510043	1,889362497	1,896258255	1,862228878	1,855095638
424	0,197999	1,823921383	1,844283435	1,851027033	1,817762703	1,810765264
425	0,201992	1,781081881	1,800972601	1,80756972	1,77504152	1,76817536
426	0,205999	1,739912071	1,75934967	1,765805745	1,733986022	1,727246782
427	0,21002	1,700336427	1,719338301	1,725658536	1,694520834	1,68790432
428	0,214051	1,662283179	1,680865947	1,687055324	1,656574335	1,650076504
429	0,218092	1,625684125	1,64386367	1,649926957	1,620078462	1,613695423
430	0,22214	1,590474459	1,60826596	1,614207726	1,584968543	1,578696547
431	0,226195	1,556592596	1,574010566	1,579835187	1,551183123	1,545018558
432	0,230254	1,523980011	1,54103833	1,546749998	1,518663802	1,512603189
433	0,234316	1,492581084	1,509293028	1,514895762	1,487355079	1,481395064
434	0,238379	1,462342948	1,478721221	1,484218872	1,457204201	1,451341555
435	0,242442	1,433215352	1,449272111	1,454668372	1,428161025	1,422392634
436	0,246504	1,405150517	1,420897402	1,426195815	1,40017788	1,394500743
437	0,250561	1,378103016	1,393551173	1,398755135	1,373209436	1,367620661
438	0,254614	1,352029645	1,36718975	1,372302522	1,347212588	1,341709385
439	0,25866	1,326889309	1,341771593	1,346796305	1,322146334	1,316726012
440	0,262698	1,302642913	1,317257179	1,322196835	1,297971665	1,292631632
441	0,266727	1,279253253	1,293608903	1,298466388	1,274651464	1,269389217
442	0,270745	1,256684921	1,27079097	1,275569055	1,252150405	1,246963529
443	0,274751	1,234904209	1,248769305	1,253470654	1,230434857	1,225321023
444	0,278743	1,213879021	1,227511463	1,232138634	1,209472799	1,204429758
445	0,28272	1,193578788	1,206986541	1,211541995	1,189233735	1,184259316
446	0,286681	1,173974388	1,187165099	1,191651203	1,16968861	1,164780717
447	0,290624	1,155038071	1,168019087	1,172438115	1,150809742	1,145966352
448	0,294548	1,136743388	1,149521766	1,15387591	1,132570746	1,127789903
449	0,298451	1,119065126	1,131647647	1,135939014	1,114946467	1,110226284
450	0,302334	1,101979239	1,114372424	1,118603041	1,09791292	1,09325157
451	0,306193	1,085462793	1,097672909	1,101844732	1,081447226	1,076842946
452	0,310029	1,069493905	1,081526984	1,085641894	1,065527556	1,060978641
453	0,31384	1,054051693	1,065913535	1,069973346	1,05013308	1,045637881
454	0,317625	1,039116222	1,050812413	1,054818872	1,035243913	1,030800835
455	0,321383	1,024668459	1,036204374	1,040159166	1,020841069	1,016448571
456	0,325112	1,010690226	1,022071042	1,025975791	1,006906415	1,002563004
457	0,328813	0,997164156	1,00839486	1,012251134	0,99342263	0,989126862

Продолжение таблицы 14

458	0,332483	0,984073655	0,995159052	0,998968362	0,98037316	0,976123638
459	0,336123	0,971402862	0,982347584	0,98611139	0,967742186	0,963537556
460	0,33973	0,959136613	0,969945126	0,973664835	0,955514583	0,951353535
461	0,343304	0,947260408	0,957937017	0,961613991	0,943675887	0,939557153
462	0,346845	0,935760375	0,946309237	0,949944788	0,932212264	0,928134614
463	0,350351	0,924623245	0,935048368	0,938643766	0,921110478	0,917072722
464	0,353821	0,913836318	0,924141573	0,927698045	0,910357865	0,906358846
465	0,357256	0,90338744	0,913576563	0,917095294	0,899942299	0,8959809
466	0,360654	0,893264971	0,903341571	0,906823708	0,889852174	0,88592731
467	0,364014	0,883457766	0,89342533	0,896871982	0,880076375	0,876186992
468	0,367336	0,873955152	0,883817048	0,887229288	0,870604254	0,866749333
469	0,370619	0,864746899	0,874506386	0,877885252	0,861425612	0,857604162
470	0,373862	0,855823208	0,865483435	0,868829931	0,852530675	0,848741734
471	0,377066	0,847174685	0,856738698	0,860053799	0,843910075	0,84015271
472	0,380228	0,838792325	0,848263072	0,851547719	0,835554831	0,831828137
473	0,38335	0,830667496	0,840047827	0,843302935	0,827456334	0,82375943
474	0,38643	0,822791915	0,832084594	0,835311046	0,819606325	0,815938357
475	0,389468	0,815157642	0,824365342	0,827563997	0,811996885	0,808357023
476	0,392463	0,807757058	0,816882368	0,820054057	0,804620415	0,801007852
477	0,395415	0,80058285	0,809628281	0,812773811	0,797469626	0,793883577
478	0,398324	0,793628005	0,802595989	0,805716142	0,790537521	0,786977224
479	0,401189	0,786885789	0,795778684	0,79887422	0,783817385	0,780282098
480	0,40401	0,780349737	0,78916983	0,792241487	0,777302774	0,773791774
481	0,406786	0,774013645	0,782763155	0,785811647	0,770987498	0,767500085
482	0,409518	0,767871554	0,776552634	0,779578657	0,764865617	0,761401106
483	0,412204	0,761917742	0,770532482	0,773536712	0,758931425	0,755489151
484	0,414845	0,756146715	0,764697144	0,767680238	0,753179443	0,749758757
485	0,417441	0,750553194	0,759041284	0,76200388	0,747604408	0,74420468
486	0,41999	0,745132111	0,753559776	0,756502495	0,742201265	0,73882188
487	0,422494	0,739878595	0,748247698	0,751171143	0,736965158	0,733605517
488	0,424951	0,734787969	0,74310032	0,746005078	0,731891423	0,728550941
489	0,427362	0,729855738	0,738113096	0,740999741	0,726975579	0,723653686
490	0,429727	0,725077585	0,733281663	0,73615075	0,722213321	0,718909461
500	0,450787	0,684933569	0,692689809	0,695411032	0,682203632	0,679052268
510	0,467115	0,584933569	0,592689809	0,595411032	0,582203632	0,579052268

Выводы по 2-му разделу бакалаврской работы

Применение закиси азота действительно повышает мощностные характеристики работы двигателя. Также подтверждено расчетами, что для углеводородных топлив более эффективной является добавка 2 % от массы топлива закиси азота, при добавке в 5% прирост мощности практически остается на уровне 2% добавки. Это подтверждает результаты обзора научных источников, где показано, что для метана оптимальной по эффективности прироста мощности является добавка 2,5 % закиси азота, при том, что оптимальной добавка в водород будет 5%.

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 42 мм, а длина шатуна 132,2 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 8, 9 и 10.

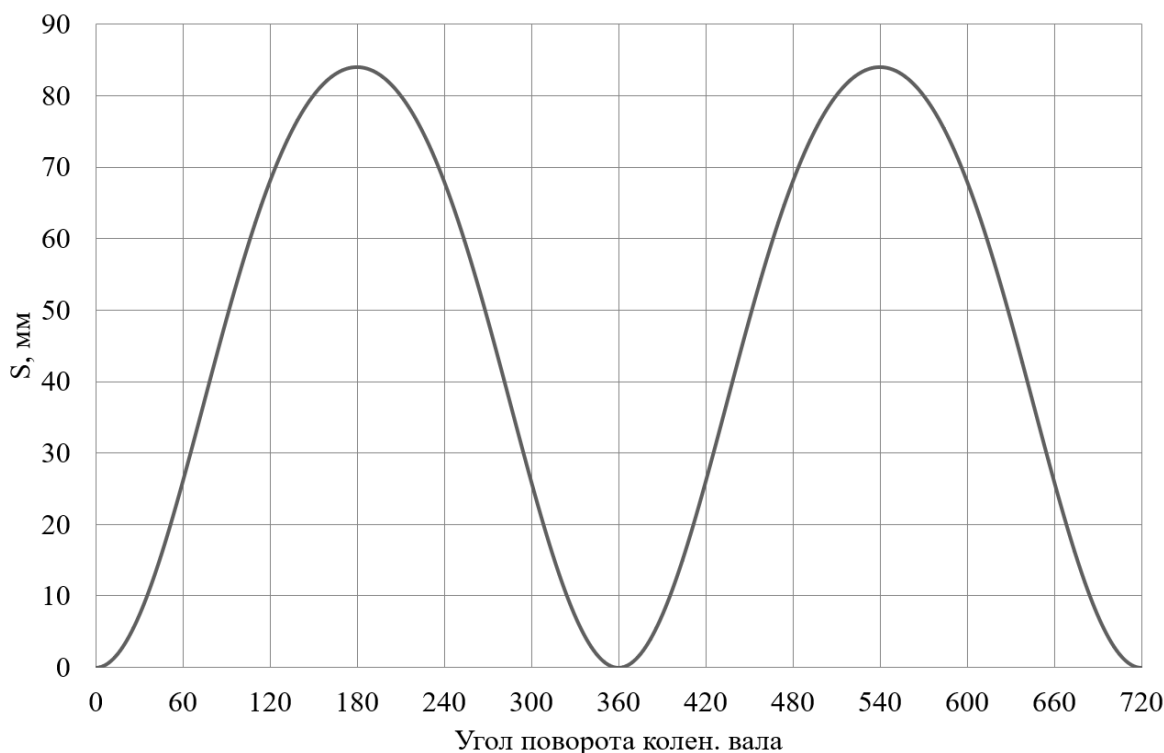


Рисунок 8 – Диаграмма изменения хода поршня

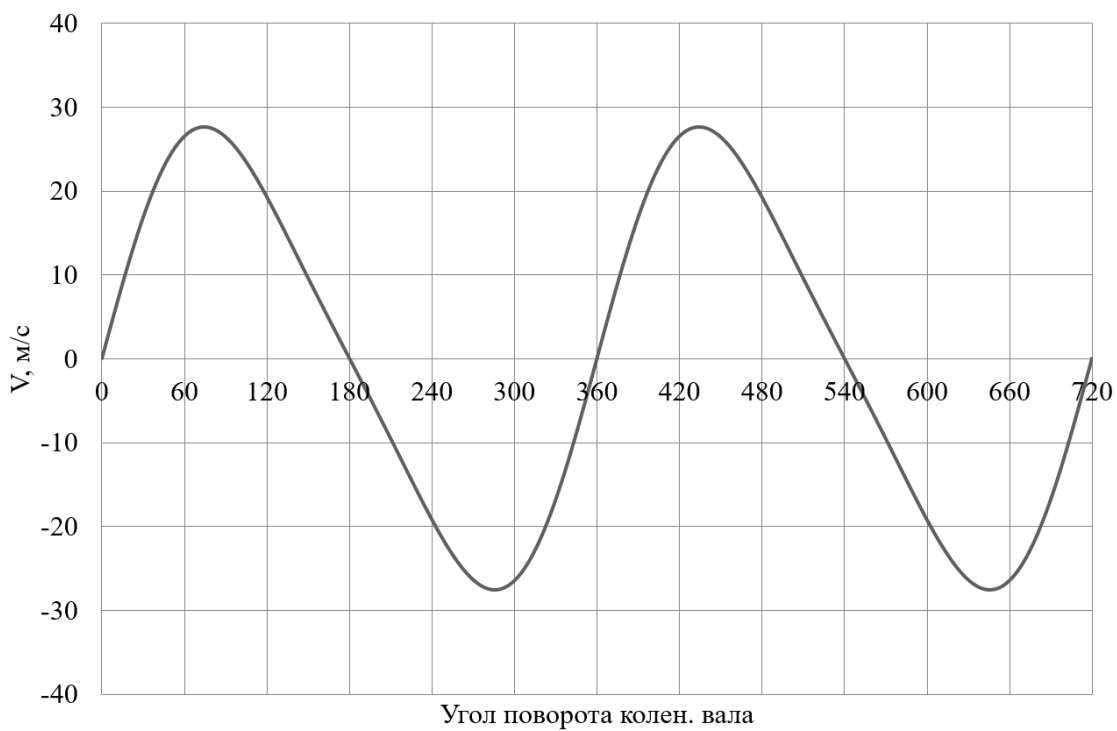


Рисунок 9 – Диаграмма изменения скорости поршня

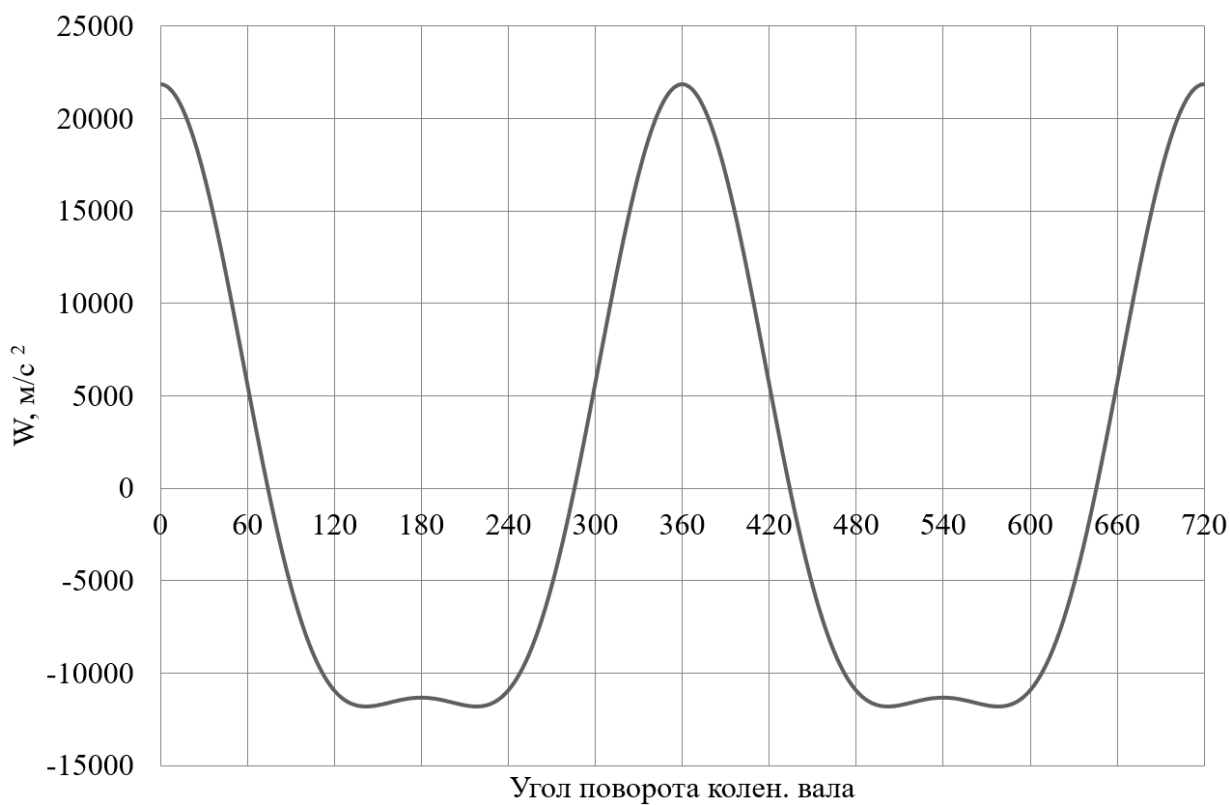


Рисунок 10 – Диаграмма изменения ускорения поршня

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 на бензине, бензин с добавкой 2% и 5% N_2O .

Результаты приведение масс кривошипно-шатунного механизма по двух массовой схеме показаны в таблице 15.

Таблица 15 – Приведение масс кривошипно-шатунного механизма

Параметр	Величина
Площадь поршня, м ²	5281,0173
Удельная масса поршня, кг/м ²	80
Масса поршневой группы, кг	0,42248
Удельная масса шатуна, кг/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, кг/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	-8252,93
Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа, Н	-10946
Центробежная сила инерции вращающихся масс, Н	-19198

Результаты расчета приведены в виде графиков. На рисунке 11 приведены силы инерции возвратно-поступательного движения. Так как КШМ у двигателя не менялся то силы инерции не зависят от вида топлива. Так как по результатам теплового расчета максимальное давление получено при работе на бензине с добавкой 2% N_2O , то в дальнейшем в динамическом расчете проведем сравнение этого топлива с базовой комплектацией на бензине.

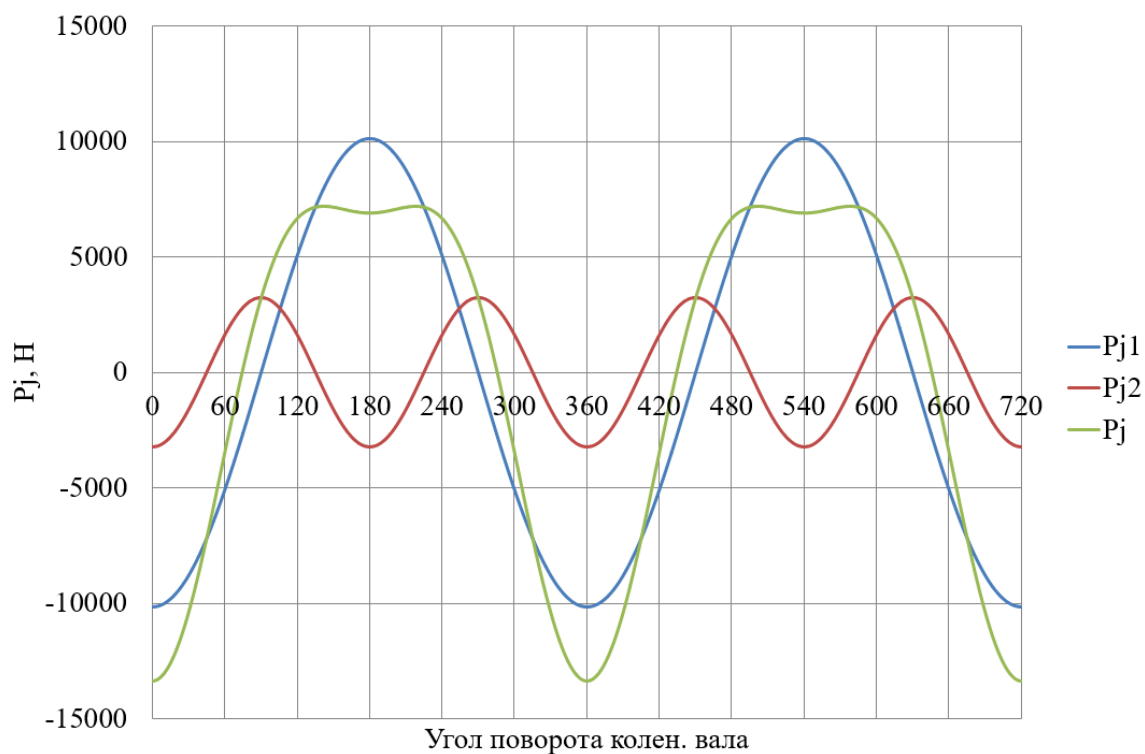


Рисунок 11 – Силы инерции возвратно-поступательного движения поршня и шатуна

На рисунке 12 приведено сравнение суммарных сил, действующих на поршневой палец двигателя при работе на бензине (рисунок 12а) и бензине с добавкой 2% N_2O (рисунок 12б). Видно, что при работе на бензине суммарные силы ниже на 5000 Н.

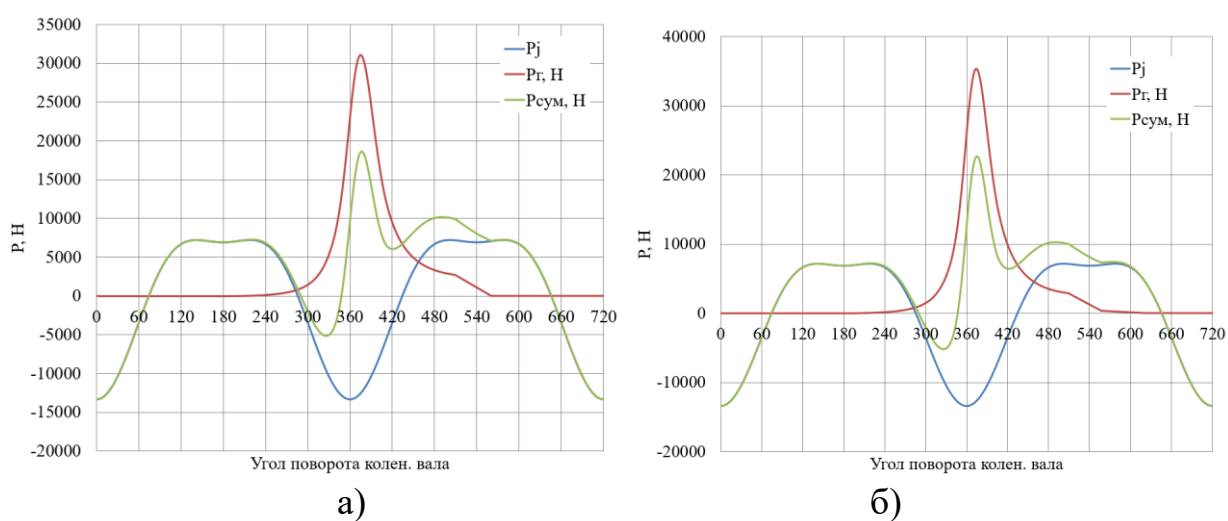


Рисунок 12 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N_2O

На рисунке 13 приведено сравнение сил, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки. Также отмечаем большие по величинам силы, действующие при работе на бензине с добавкой 2% N_2O .

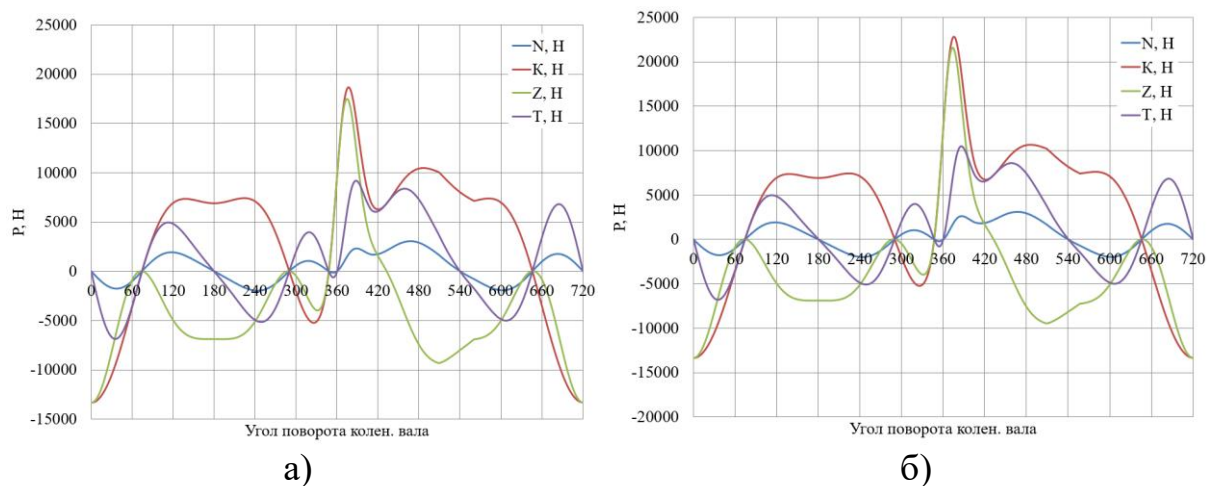


Рисунок 13 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N_2O

На рисунке 14 приведено сравнение крутящего момента двигателя при работе на бензиновом топливе (рисунок 14а) и на бензине с добавкой 2% N_2O (рисунок 14б). При работе на бензине с добавкой 2% N_2O средний крутящий момент увеличивается на 9% или 14 Нм.

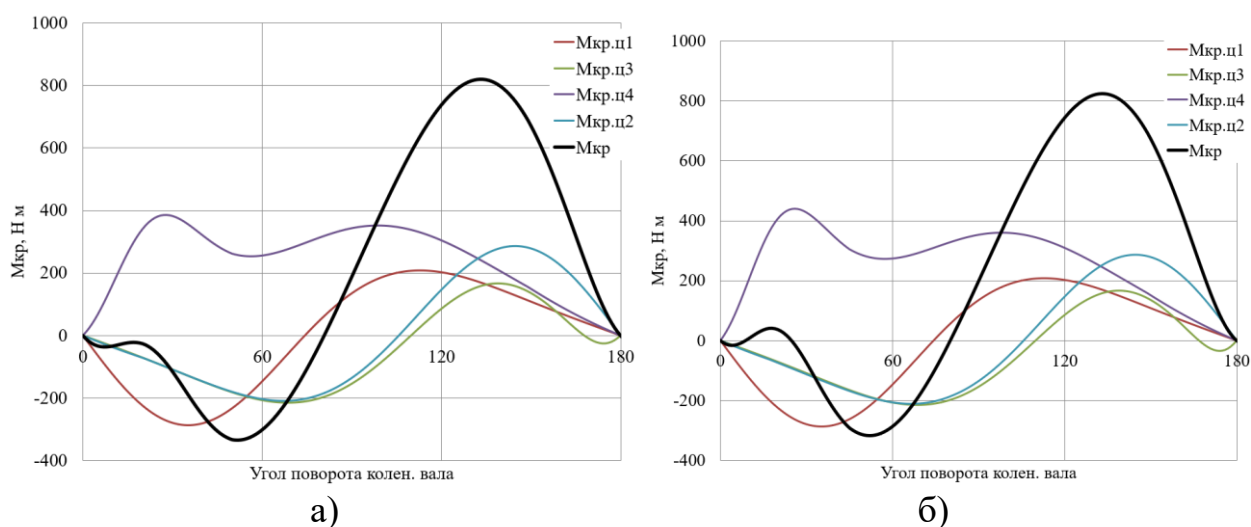


Рисунок 14 – Крутящего момента при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N_2O

Расчет основных сил и моментов, действующих в КШМ, показал, что наибольшие силы возникают при работе на бензине с добавкой 2% N_2O и частоте вращения 6000 мин^{-1} , причем пиковые значения превышают значения полученные для бензина на 10-15%.

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

На рисунке 15 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в прямоугольных координатах. Величина изменения вида нагрузок на шатунную шейку при изменении вида топлива очень значительна. При работе на бензине с добавкой 2% N_2O максимальные нагрузки увеличились на 7%.

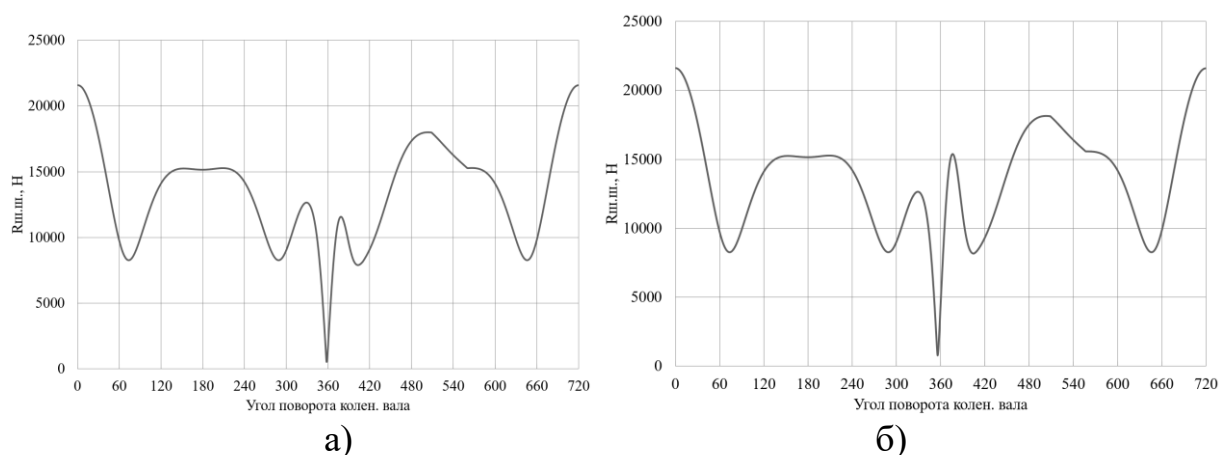


Рисунок 15 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N_2O

На рисунке 16 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в полярных координатах. И здесь как видим величина увеличения нагрузок на шатунную шейку при работе на бензине с добавкой 2% N_2O находится в пределах 5%.

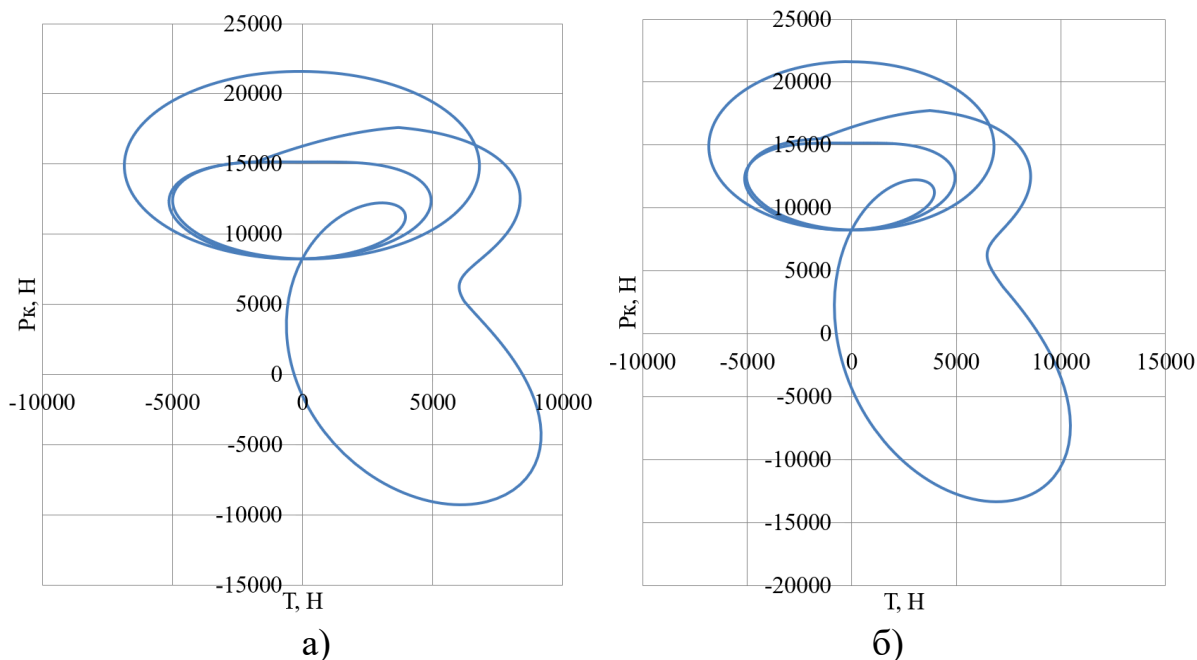


Рисунок 16 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N₂O

На рисунке 17 приведено сравнение суммарных сил, действующих на коренные шейки в прямоугольных координатах.

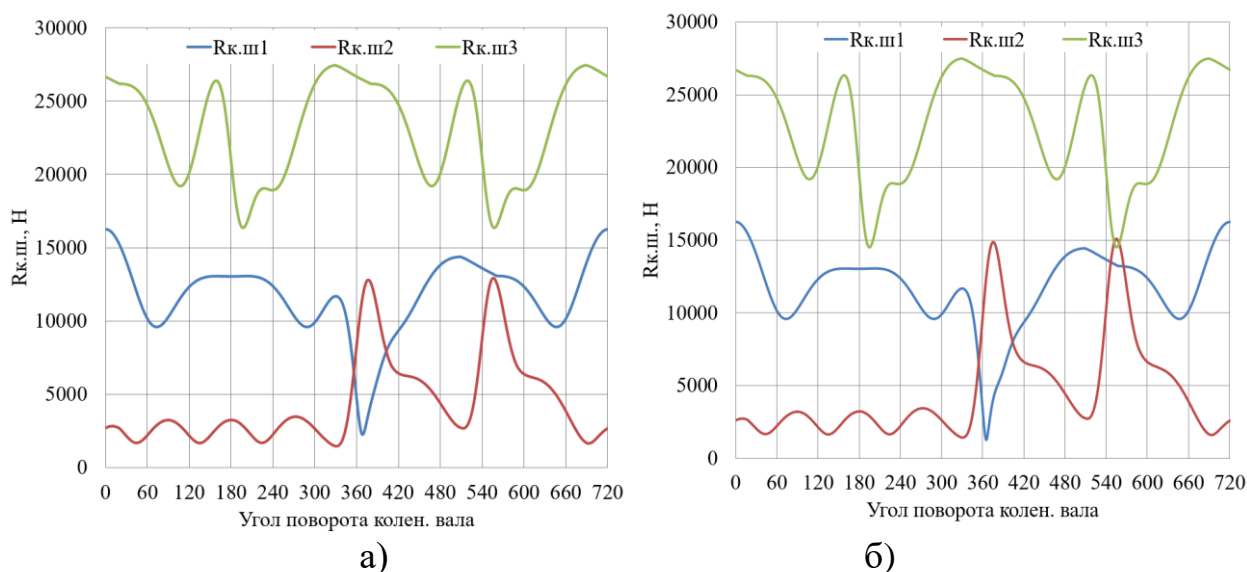


Рисунок 17 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N₂O

На рисунке 18 приведено сравнение суммарных сил, действующих на 1-ю коренную шейку в полярных координатах.

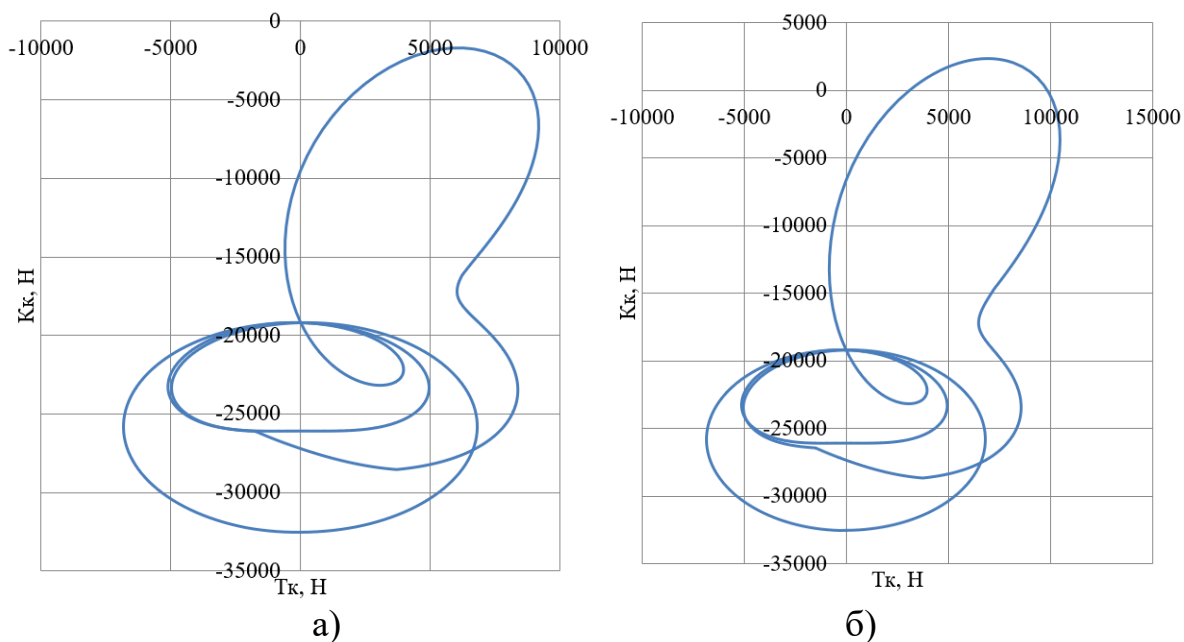


Рисунок 18 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе (а) на бензине и (б) на бензине с добавкой 2% N_2O

Выводы по 3-му разделу

По результатам динамического расчета получено, что при добавке закиси азота в бензовоздушную смесь происходит увеличение нагрузки на элементы кривошипно-шатунного механизма. Так суммарные силы, действующие на поршневой палец, возросли на 12% при добавке 2% закиси азота и на 14 % при добавке 5% закиси азота.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что применение добавки закиси азота не вызывает значительного роста нагрузок, величина прироста находится в пределах запаса прочности деталей КШМ двигателя.

4 Анализ влияния закиси азота на рабочий процесс бензинового ДВС

4.1 Влияния закиси азота на максимальную температуру и давление цикла

Сравнивая величины максимального давления в цилиндре двигателя (рисунок 19), следует отметить, что при работе на бензине с добавкой 2% N_2O , происходит повышение почти на 1 МПа максимальное давление, но в тоже время максимальная температура повышается в среднем на $150^\circ C$, что говорит о росте концентрации оксидов азота в отработавших газах.

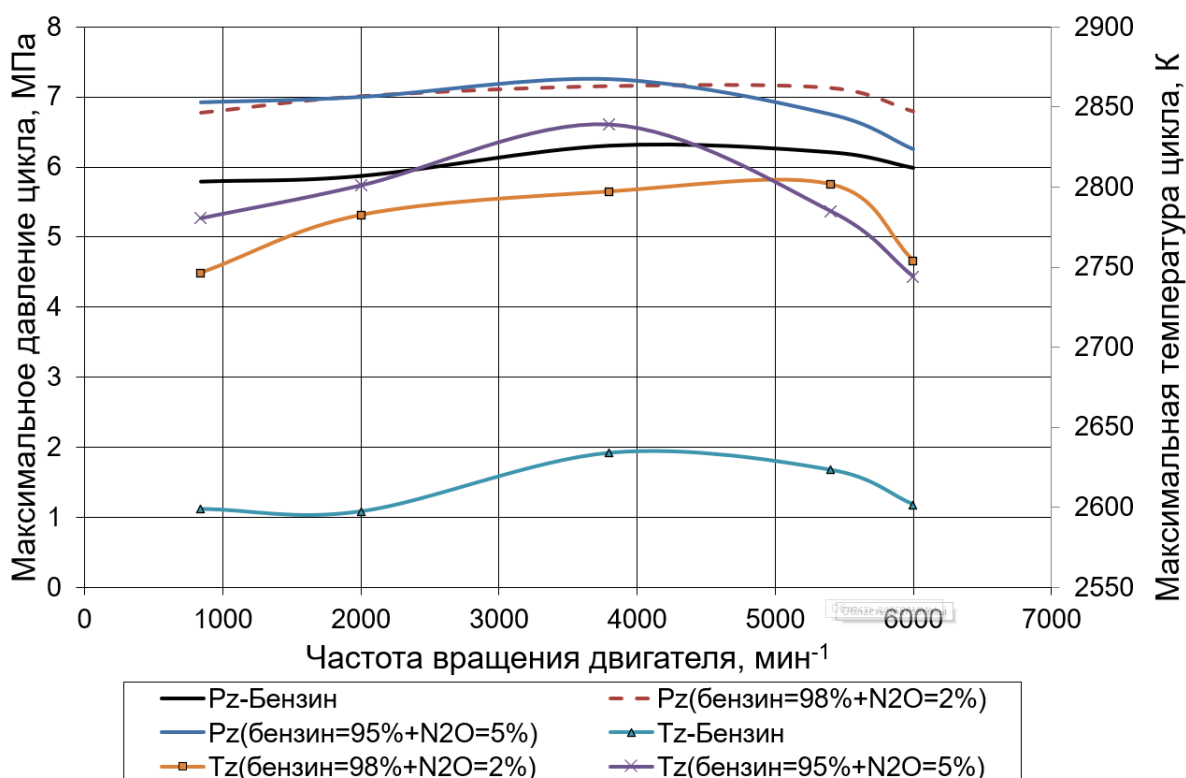


Рисунок 19 – Сравнение величины максимального давления в цилиндре двигателя для исследуемых топлив

Для оценки токсичности проведем сравнение изменения температуры в процессе сгорания (рисунки 20 – 24).

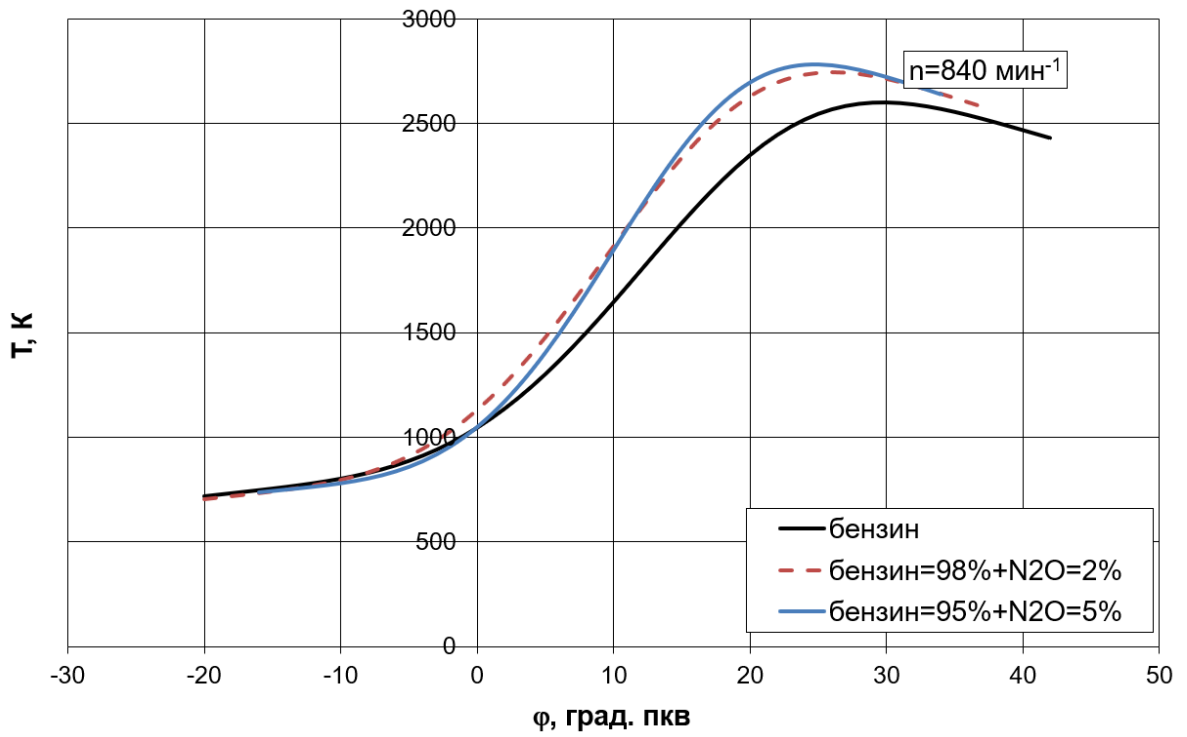


Рисунок 20 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 840 мин^{-1}

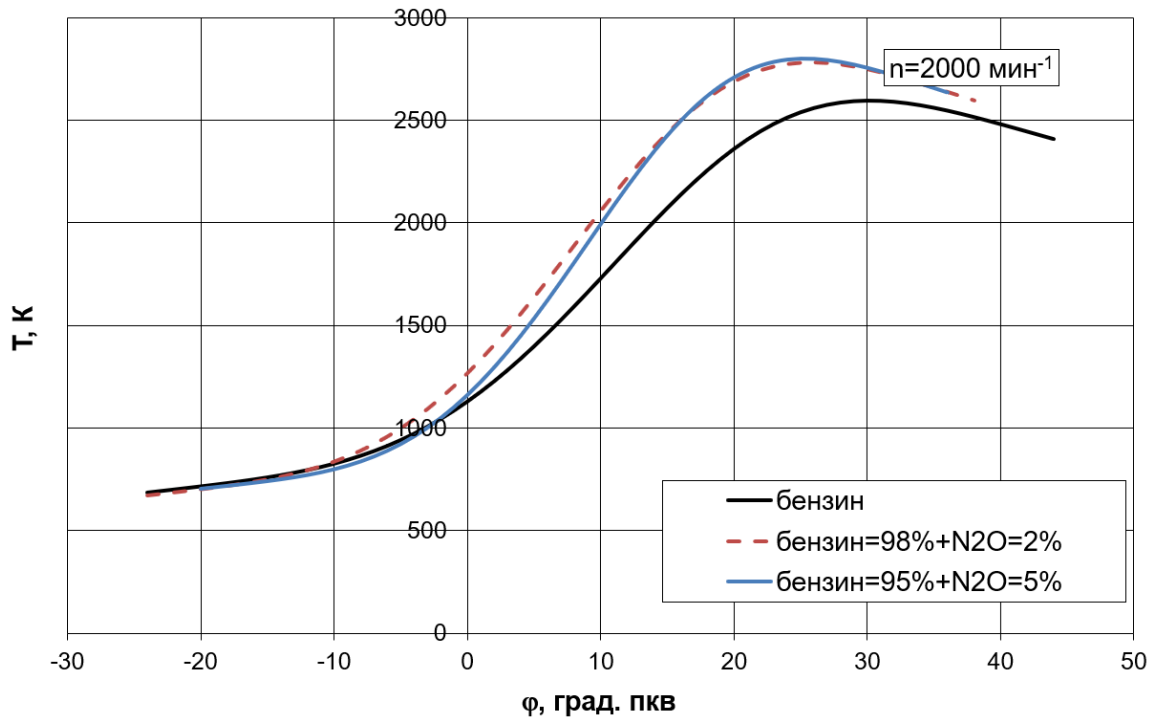


Рисунок 21 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 2000 мин^{-1}

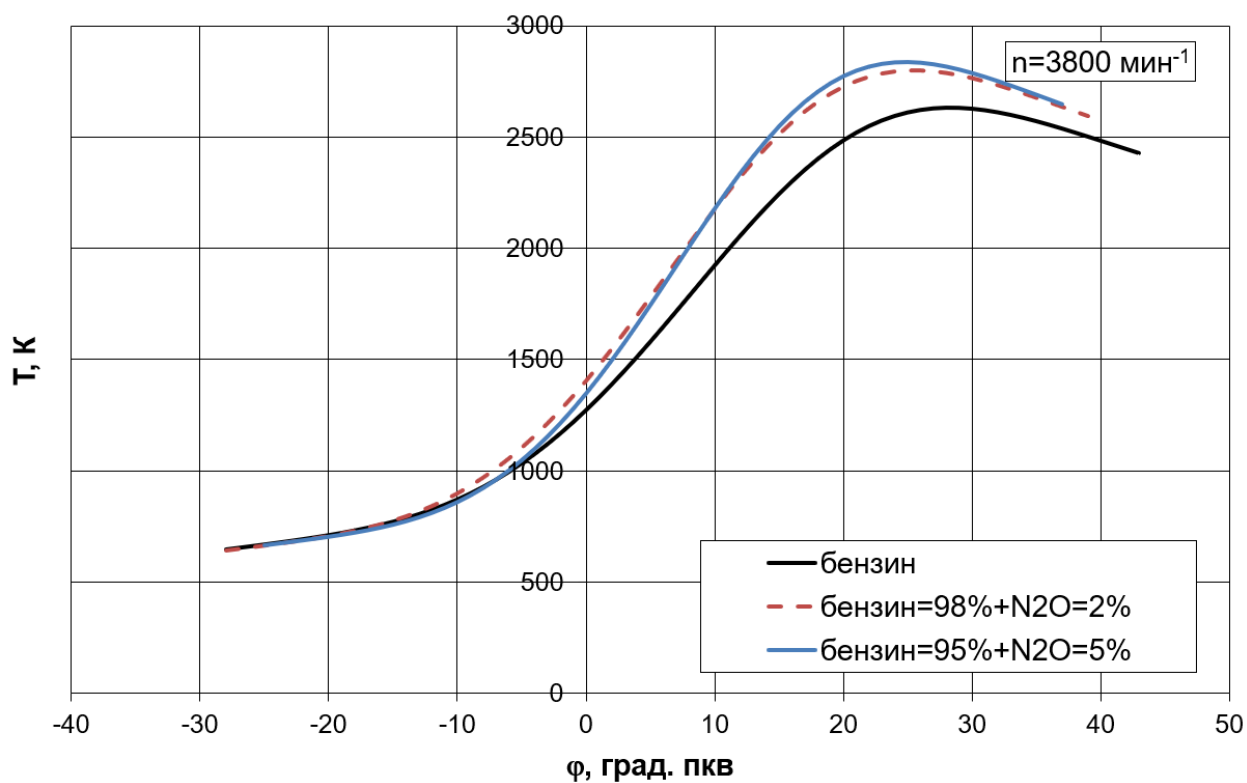


Рисунок 22 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 3800 мин^{-1}

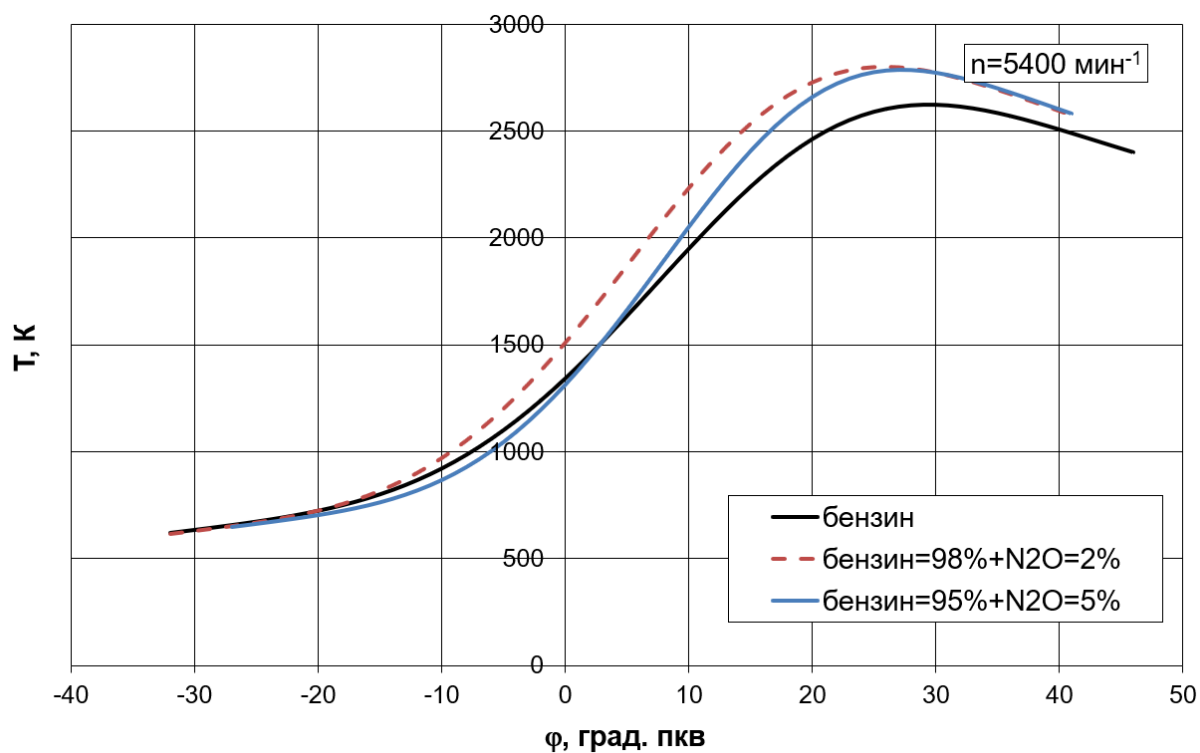


Рисунок 23 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 5400 мин^{-1}

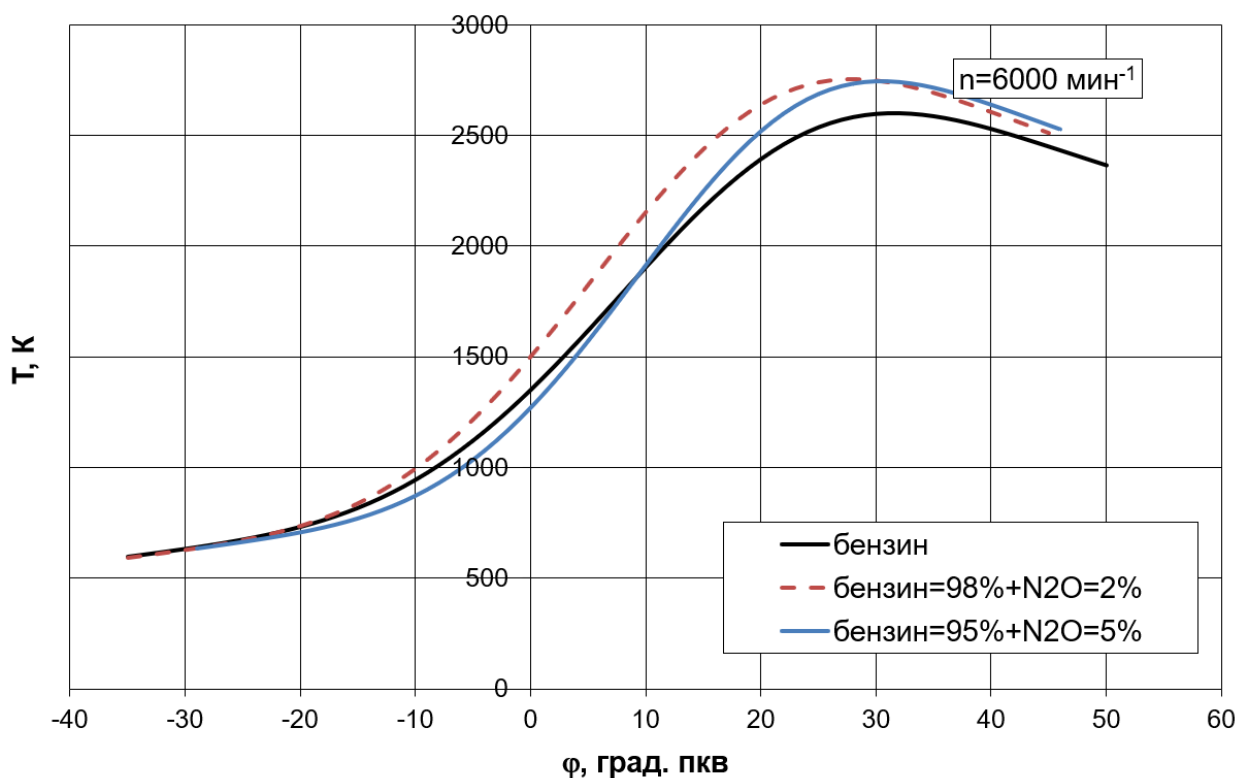


Рисунок 24 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 6000 мин⁻¹

Проводя анализ средней температуры в цилиндре двигателя во время сгорания по рисункам 20 – 24, можно отметить, что максимальная температура соответствует рабочему процессу на бензине с добавкой 2% и 5% N₂O за счет более быстрого сгорания. При этом уровень температур с добавкой 2 и 5% практически идентичен, что говорит о нецелесообразности добавления повышенной концентрации закиси азота для форсирования двигателя:

- Максимальная температура возросла при добавке 2% N₂O в среднем на 6,3%, а при 5% N₂O – на 6,8%.;
- Максимальное давление в цикле увеличилось при добавке 2% N₂O в среднем на 15,6%, а при 5% N₂O – на 13,4%.;

Добавка закиси азота сама по себе увеличивает токсичность по оксидам азота, и помимо этого отмечаем рост термических оксидов за счет повышения максимальной температуры цикла. Оценивая влияние закиси азота на токсичность по продуктам не полного сгорания, следует отметить

вероятное снижение концентрации CO и CH, в связи с ростом интенсивности процесса сгорания, а также снижением концентрации углерода в смеси.

4.2 Анализ влияния добавки закиси азота на эффективных показатели бензинового двигателя

Проводить анализ эффективных показателей работы двигателя правильнее всего по графическому изображению внешней скоростной характеристики (рисунки 25, 26 и 27).

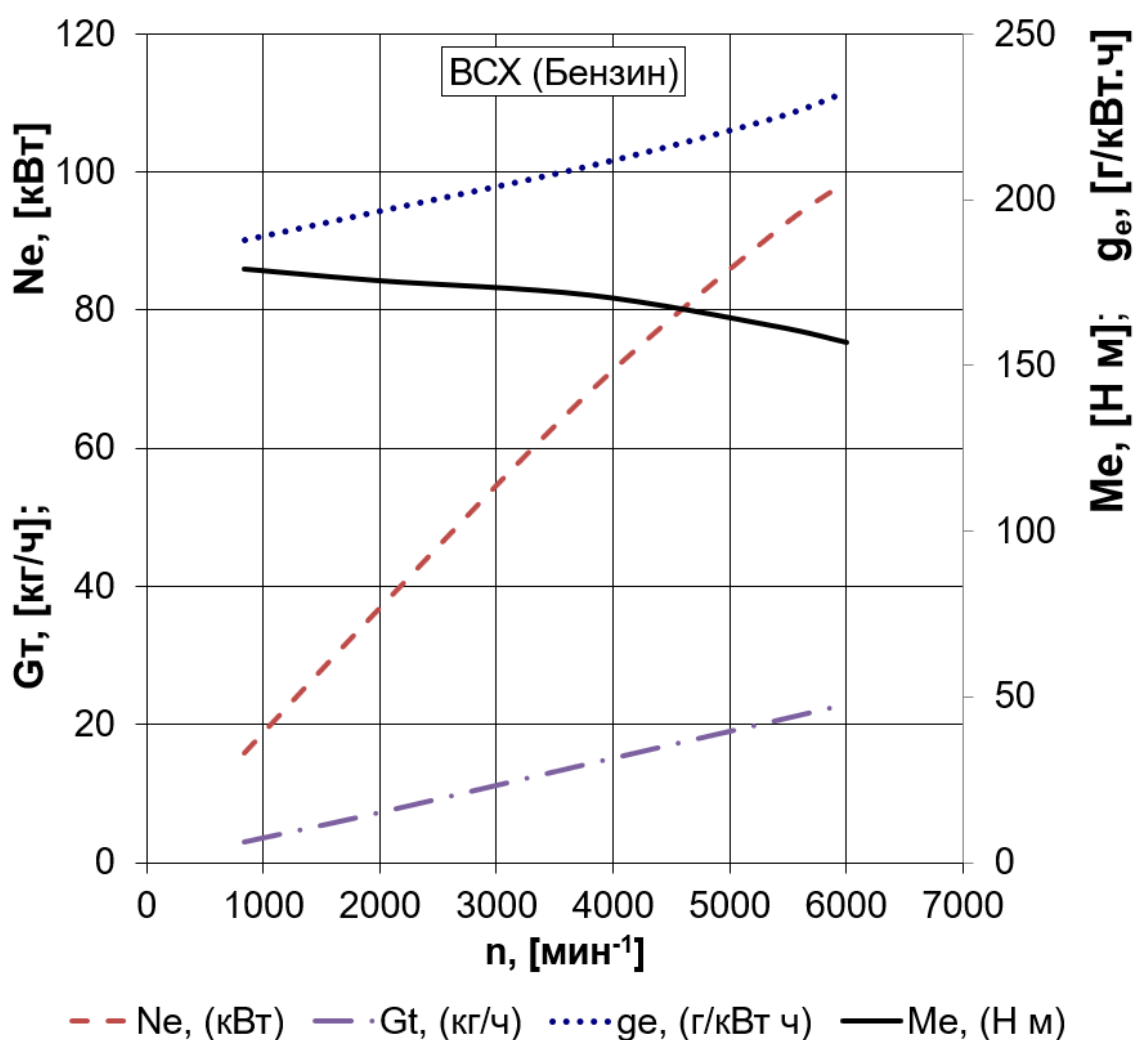


Рисунок 25 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием при работе на бензине

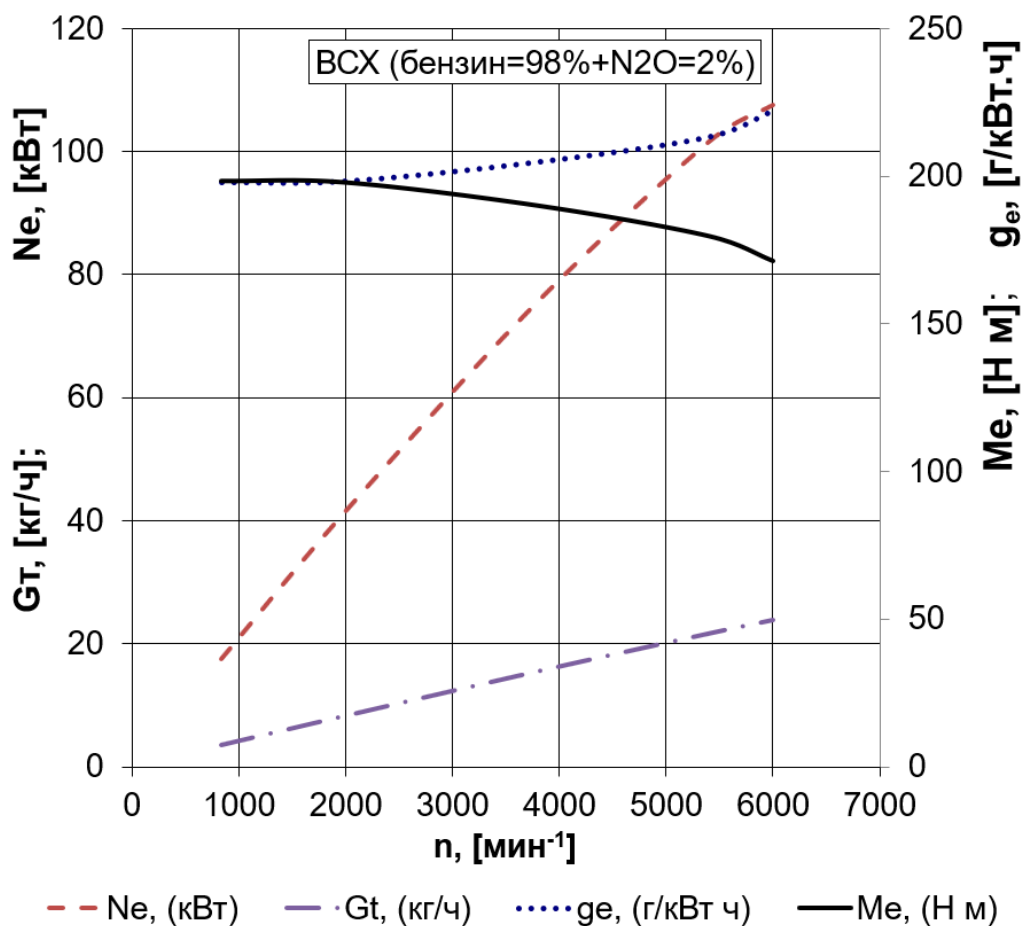


Рисунок 26 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием при работе на бензине с добавкой 2% N₂O

Из графиков внешней скоростной характеристики видно наличие высоких крутящих моментов на низких частотах вращения. Особенно это заметно для условий работы на бензине, где видно, что крутящий момент с ростом оборотов падает на 20%. Еще раз наглядно убеждаемся наличием значительного прироста мощностных показателей уже с 2% добавки закиси азота, так получено:

- Мощность и крутящий момент возросли при добавке 2% N₂O в среднем на 10,8%, а при 5% N₂O – на 11,2%;
- Эффективный КПД двигателя увеличился при добавке 2% N₂O в среднем на 5,5%, а при 5% N₂O – на 6,2%;
- Удельный эффективный расход топлива снизился при добавке 2% N₂O в среднем на 1,2%, а при 5% N₂O – на 0,4%.

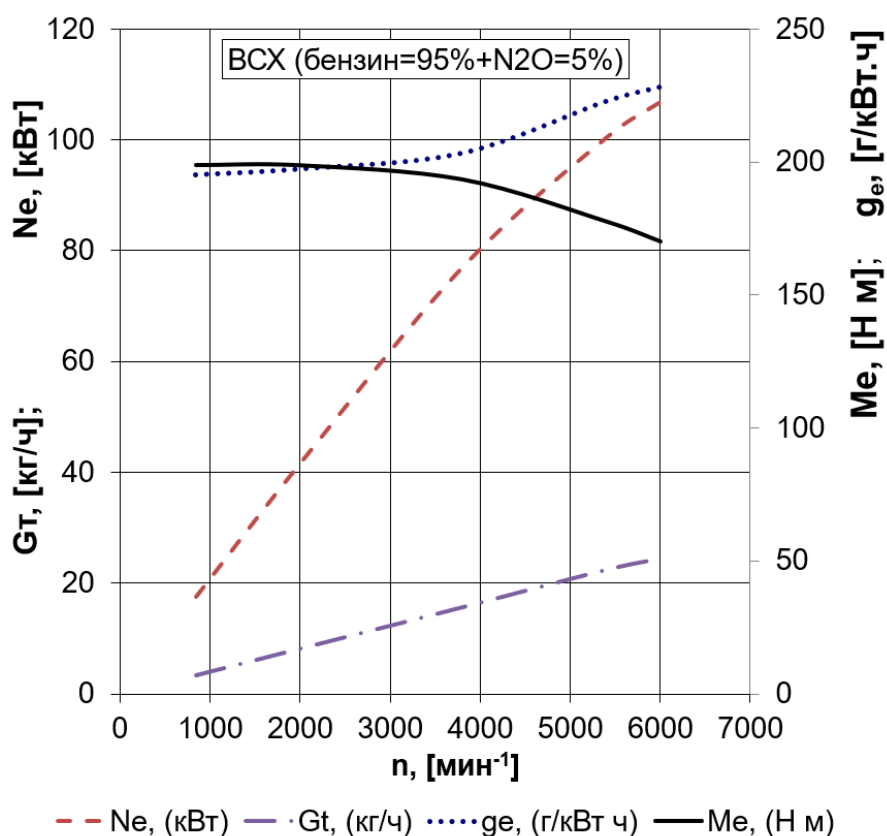


Рисунок 27 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием при работе на бензине с добавкой 5% N₂O

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, улучшение мощностных и эффективных показателей работы двигателя. Но следует отметить, что добавка закиси азота не может применяться для форсирования серийных автомобилей в связи с большой сложностью снижения концентрации оксидов азота в отработавших газах. А для спортивных автомобилей мощностными режимами работы являются режимы богатой смеси, где добавка закиси азота более эффективна, так как она по мимо повышения мощности приводит к росту детонационной стойкости, а значит при работе на богатой смеси большая доля закиси азота приведет к большему расширению границ детонации и, следовательно позволит больше повысить мощность двигателя. Хотя общая закономерность от снижения эффекта при увеличении добавки закиси азота будет справедлива и для богатых смесей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведен расчет основных параметров бензинового двигателя для легкового автомобиля форсированного закисью азота, при стехиометрическом составе смеси. Получены основные выводы по работе:

1. Добавка закиси азота не может применяться для форсирования серийных автомобилей в связи с большой сложностью снижения концентрации оксидов азота в отработавших газах.
2. Добавка закиси азота более эффективна на богатых смесях, так как она приведет к большему расширению границ детонации и, следовательно позволит больше повысить мощность двигателя.
3. Показано что наиболее эффективно применять 2% добавку закиси азота в бензиновых двигателях.
4. Анализ расчетов показал следующие результаты:
 - Мощность и крутящий момент возросли при добавке 2% N_2O в среднем на 10,8%, а при 5% N_2O – на 11,2%;
 - Эффективный КПД двигателя увеличился при добавке 2% N_2O в среднем на 5,5%, а при 5% N_2O – на 6,2%;
 - Удельный эффективный расход топлива снизился при добавке 2% N_2O в среднем на 1,2%, а при 5% N_2O – на 0,4%.;
 - Максимальная температура возросла при добавке 2% N_2O в среднем на 6,3%, а при 5% N_2O – на 6,8%.;
 - Максимальное давление в цикле увеличилось при добавке 2% N_2O в среднем на 15,6%, а при 5% N_2O – на 13,4%.;

Выводы по 1-му разделу

Проведенный обзор влияния закиси азота на процесс сгорания углеводородных топлив показал возможности повышения мощностных характеристик двигателя за счет кратковременной подачи закиси азота в цилиндр двигателя.

Характер потребления закиси азота в смесях водород-закись азота-воздух сильно отличается от поведения в смесях метан-закись азота-воздух. В то время как закись азота полностью диссоциирует при сгорании всех легковоспламеняющихся смесей метана с закисью азота и воздухом, она лишь частично диссоциирует для бедных смесей водорода с закисью азота и воздухом. Для трудновоспламеняющихся смесей водорода с закисью азота и воздухом закись азота практически не расходуется.

Нижний предел воспламеняемости смесей метана с закисью азота достигается при 2,7% метана при энергии воспламенения менее 10 Дж. Это значение увеличивается до 4,7% для энергий воспламенения менее 0,04 Дж. Верхний предел воспламеняемости составляет от 40 до 50% метана при энергии воспламенения менее 10 Дж. Добавление 70% N₂ делает смесь инертной.

Выводы по 2-му разделу

Применение закиси азота действительно повышает мощностные характеристики работы двигателя. Также подтверждено расчетами, что для углеводородных топлив более эффективной является добавка 2 % от массы топлива закиси азота, при добавке в 5% прирост мощности практически остается на уровне 2% добавки. Это подтверждает результаты обзора научных источников, где показано, что для метана оптимальной по эффективности прироста мощности является добавка 2,5 % закиси азота, при том, что оптимальной добавка в водород будет 5%.

Выводы по 3-му разделу

По результатам динамического расчета получено, что при добавке закиси азота в бензовоздушную смесь происходит увеличение нагрузки на элементы кривошипно-шатунного механизма. Так суммарные силы, действующие на поршневой палец, возросли на 12% при добавке 2% закиси азота и на 14 % при добавке 5% закиси азота.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что применение добавки закиси азота не вызывает значительного роста нагрузок, величина прироста находится в пределах запаса прочности деталей КШМ двигателя.

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, улучшение мощностных и эффективных показателей работы двигателя. Но следует отметить, что добавка закиси азота не может применяться для форсирования серийных автомобилей в связи с большой сложностью снижения концентрации оксидов азота в отработавших газах. А для спортивных автомобилей мощностными режимами работы являются режимы богатой смеси, где добавка закиси азота более эффективна, так как она по мимо повышения мощности приводит к росту детонационной стойкости, а значит при работе на богатой смеси большая доля закиси азота приведет к большему расширению границ детонации и, следовательно позволит больше повысить мощность двигателя. Хотя общая закономерность от снижения эффекта при увеличении добавки закиси азота будет справедлива и для богатых смесей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вибе, И.И. Уточненный тепловой расчет двигателя / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 1971. - с.282
2. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
3. 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.
4. Орлин А.С., Круглов М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. – М.: «Машиностроение», 1983.
5. Смоленский, В.В. Автомобильные двигатели: курс лекций / В.В. Смоленский. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 183 с.
6. Akmandor, I.S. Novel Thermodynamic Cycle / I.S. Akmandor, N. Ersöz// PTC, WO, 2004. 022919 A1. (March 18th 2004)
7. Alamia, A.; Magnusson, I.; Johnsson, F.; Thunman, H. Well-to-wheel analysis of bio-methane via gasification, in heavy duty engines within the transport sector of the European Union. Appl. Energy 2016, 170, 445–454.
8. Alfredas Rimkus, Tadas Vipartas, Donatas Kriauciunas, Jonas Matijošius and Tadas Ragauskas «The Effect of Intake Valve Timing on Spark-Ignition Engine Performances Fueled by Natural Gas at Low Power» / Energies 2022, 15, 398. doi.org/10.3390/en15020398
9. Ammenberg, J.; Anderberg, S.; Lönnqvist, T.; Grönkvist, S.; Sandberg, T. Biogas in the transport sector: Actor and policy analysis focusing on the demand side in the Stockholm region. Resour. Conserv. Recycl. 2018, 129, 70.
10. Baumeister, T. Mark's Standard Handbook for M. Engineer / T Baumeister // McGraw- Hill Inc., New York, 1966.

11. 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
12. Beran, R., Baufeld, T., Philipp, H., Kim, J. T., Kim, J. S.: Entwicklung des H17/24G - Dem ersten koreanischen Gasmotor. in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007
13. Bonnevie-Svendsen, A. 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
14. Bonnevie-Svendsen, A., Boulouchos, K., Lämmle, Ch., Vlakos, I.: Double-Vibe-Model for heat release in lean burn gas engines with prechamber ignition. in: 6. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau-Roßlau. 2009
15. 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
16. Cinzia Tornatore, Luca Marchitto, Maria Antonietta Costagliola and Gerardo Valentino « Experimental Comparative Study on Performance and Emissions of E85 Adopting Different Injection Approaches in a Turbocharged PFI SI Engine» / Energies 2019, 12, 1555; doi:10.3390/en12081555
17. Clarke, J. M. Thermodynamic Cycle Requirements for Very High Rotational Efficiencies / J. M. Clarke // J. Mech. Eng. Sci. 1974
18. Defu, Z., Qingping, Z. Investigation on the Combustion Characteristics of the Compression Ignition Divided Chamber Combustion System of the Natural Gas Engine. in: CIMAC Congress. Wien. 2007.

19. Duranti, A. *Ethnography of Speaking: Toward a Linguistics of praxis* / A. Duranti // *Linguistics: The Cambridge Survey*. – Cambridge, 1988. – PP. 210-228.
20. Fuller, D.D. *Theory and Practice of Lubrication for Engineers* / D.D. Fuller // John Wiley & Sons Inc., New York, 1966
21. Haywood, R.W. *A Critical Review of Theorems of Thermodynamics Availability* // R.W. Haywood / *J. Mech. Eng. Sci.* vol.16 MIT Press, 1970.
22. Heinz, C. Mittermayer, F., Sattelmayer, T.: *Investigation of a Novel Pre-Chamber-Concept for Lean Premixed Combustion in Large Bore Gas Motors*. Projektplakat. Technische Universität München. 2005
23. 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
24. Jensen, S.S.; Winther, M.; Jørgensen, U.; Møller, H.B. *Scenarios for Use of Biogas for Heavy-Duty Vehicles in Denmark and Related GHG Emission Impacts*; Trafikdage: Aalborg, Denmark, 2017.
25. Lönnqvist, T.; Sanches-Pereira, A.; Sandberg, T. *Biogas potential for sustainable transport—a Swedish regional case*. *J. Clean. Prod.* 2015, 108, 1105–1114.
26. Lyng, K.A.; Brekke, A. *Environmental Life Cycle Assessment of Biogas as a Fuel for Transport Compared with Alternative Fuels*. *Energies* 2019, 12, 532.
27. Moteki K, Aoyama S, Ushijima K, Hiyoshi R, Takemura S, Fujimoto H, et al. *A study of a variable compression ratio system with amulti-linkmechanism*. SAE Paper No. 2003-01-0921.Warrendale PA, USA: SAE International; 2003
28. Osama H. Ghazal, Gabriel Borowski « *Use of Water Injection Technique to Improve the Combustion Efficiency of the Spark-Ignition Engine: A Model Study*»/ *Journal of Ecological Engineering* Vol. 20(2), 2019. - 226–233. – doi.org/10.12911/22998993/99689

29. Paolo Iodice, Amedeo Amoresano, Giuseppe Langella «A review on the effects of ethanol/gasoline fuel blends on NOX emissions in spark-ignition engines» / *Biofuel Research Journal* 32 (2021) 1465-1480. DOI: 10.18331/BRJ2021.8.4.2
30. Renegar, D.C. The Quasiturbine / D.C. Renegar // USA Patent No:6629065 September 12th 2003
31. Rory, R. D. The Ball Piston Engine: A New Concept in High Efficient Power Machines / R. D. Rory // Convergence Eng. Corporation.
32. 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
33. Stephen, R. T. An Introduction to Combustion / R.T.Stephen // McGraw-Hill Series in Mech. Eng. 1996.
34. 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
35. Verhelst, S. A critical review of experimental research on hydrogen fueled SI engines / S. Verhelst, R. Sierens, S. Verstraeten // SAE. - 2006. - №2006-01-0430.
36. Wonjae Choi, Han Ho Song «Composition-considered Woschni heat transfer correlation: Findings from the analysis of over-expected engine heat losses in a solid oxide fuel cell-internal combustion engine hybrid system» / *Energy* 203 (2020) 117851: doi.org/10.1016/j.energy.2020.117851
37. 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