

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 Применение биогаза в ДВС с искровым зажиганием

Студент

П.А. Гончаренко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, В.В. Смоленский

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

Тольятти 2021

АННОТАЦИЯ

Применение биогаза в автомобильных двигателях позволит снизить нагрузку на ископаемые углеводородные источники энергии. Анализ возможностей применения биогаза как основного или второго топлива, является актуальной задачей бакалаврской работы и соответствует профилю направления обучения.

Целью бакалаврской работы является оценка возможностей эффективного применения биогаза в поршневых двигателях внутреннего сгорания. В работе показано, что биогаз не может сразу после получения использоваться в качестве топлива для двигателей с искровым зажиганием. Необходимо провести его очистку с удалением серы и углекислого газа и только тогда он переходит в разряд биометана который и становится очень перспективным альтернативным топливом, особенно для стран потребителей ископаемых углеводородов.

В бакалаврской работе представлены результаты проектирования двигателя с искровым зажиганием с двух топливной системой питания, рассчитанной на работу с бензином и газовым топливом (сжатый природный газ или сжатый биометан). Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка состоит из аннотации, введения, 4 разделов, заключения с основными результатами и выводами, содержит 42 рисунков, 13 таблиц, списка использованных источников (25 источников). Основной текст изложен на 55 страницах.

Графическая часть работы содержит 8 листов, из них 2 формата А0 и 6 формата А1 иллюстрирующих материал, представленный в пояснительной записке.

ABSTRACT

The use of biogas in automobile engines will reduce the load on fossil hydrocarbon energy sources. Analysis of the possibilities of using biogas as the main or second fuel is an urgent task of bachelor's work and corresponds to the profile of the direction of study.

The aim of the bachelor's work is to assess the possibilities of effective use of biogas in reciprocating internal combustion engines. It is shown in the work that biogas cannot be used immediately after production as fuel for spark ignition engines. It is necessary to purify it with the removal of sulfur and carbon dioxide, and only then it goes into the category of biomethane, which becomes a very promising alternative fuel, especially for countries that consume fossil hydrocarbons.

The bachelor's work presents the results of designing a spark ignition engine with a dual fuel supply system, designed to work with gasoline and gas fuel (compressed natural gas or compressed biomethane). The bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part.

The explanatory note consists of an annotation, an introduction, 4 sections, a conclusion with the main results and conclusions, contains 42 figures, 13 tables, a list of sources used (25 sources). The main text is presented on 55 pages.

The graphic part of the work contains 8 sheets, of which 2 are A0 and 6 are A1, illustrating the material presented in the explanatory note.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Биогаз, его свойства и перспективы	7
2 Тепловой расчет проектируемого двигателя	13
3 Кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя	22
3.1 Кинематический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя.....	22
3.2 Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя	24
4 Анализ влияния вида топлива (бензин, КППГ и биометан) на рабочий процесс ДВС	37
4.1 Влияния вида топлива (бензин, КППГ и биометан) на максимальную температуру и давление цикла	37
4.2 Влияния вида топлива (бензин, КППГ и биометан) на эффективные показатели цикла	46
Заключение	50
Список используемых источников	53

ВВЕДЕНИЕ

Биогаз является важным компонентом системы возобновляемой энергетики во многих странах. Биогазовые установки обладают некоторыми специфическими свойствами по сравнению с другими установками возобновляемой энергии, такими как гибкое обеспечение электроэнергией и теплом посредством хранения газа или возможный вклад энергии в транспортный сектор.

При анаэробном сбраживании (АС) основной процесс преобразования органических веществ в биогаз является биологическим. Сложные процессы гидролиза, ацидогенеза, ацетогенеза и метаногенеза хорошо известны и описаны [1]. АС работает с различными типами органического сырья, например с бытовым илом от очистных сооружений, твердыми бытовыми отходами, отходами животноводства, водорослями или энергетическими культурами. Некоторые из них доступны постоянно, а другие подлежат региональным и сезонным ограничениям. Основным продуктом анаэробного сбраживания является биогаз, в первую очередь метан и диоксид углерода (CO_2). Побочный продукт – это богатый питательными веществами дигестат. Биогаз может быть преобразован в различные энергетические продукты, такие как тепло (путем сжигания), электричество и тепло (комбинированная теплоэлектроцентраль (ТЭЦ)), электричество (с помощью турбин), природный газ (путем выделения CO_2) или топливо (например, за счет увеличения доли метана или каталитического риформинга с участием CO_2) [2]. Биогазовые установки могут гибко производить электроэнергию в соответствии с потребностями, используя возможность хранения сырья и биогаза [4]. Это обеспечивает выдающуюся роль биогазовых установок в энергетическом секторе.

Ископаемые ресурсы нефти, газа и угля не безграничны. Необходимо устранить экологические проблемы, вызванные отходами и сточными водами, и их следует избегать в будущем. Помимо вышеупомянутых проблем, следует

учитывать, что сама вода также ограничена. Использование биогаза в качестве чистого топлива отвечает на текущие проблемы, связанные с экономикой, экологией и энергетикой:

- поиск возобновляемых источников энергии во время истощения разведанных запасов нефти и газа,
- снижение энергетической зависимости,
- ограничение загрязнения атмосферы, связанного с выбросами газов,
- уменьшение неприятного запаха и шума
- уменьшение парниковых эффектов.

Биогазовое топливо обычно вызывает незначительное загрязнение атмосферы, и, поскольку оно поступает из возобновляемых источников энергии, оно имеет большой потенциал для будущего использования.

За последнее десятилетие использование биогаза, поступающего из сточных вод, ферм и промышленных предприятий, постоянно растет. В настоящее время биогазовые установки легко доступны на рынке. Модернизированный биогаз в основном используется для производства тепла и электроэнергии. Однако все больше и больше проектов, использующих биогаз в качестве автомобильного топлива, реализуется в больших городах. Действительно, использование биогаза как автомобильное топливо – лучший способ улучшить отходы. Тем не менее, необходима государственная поддержка, чтобы сделать рынок биогаза привлекательным из-за его высоких инвестиционных затрат.

1 Биогаз, его свойства и перспективы

Биометан в настоящее время становится одним из жизнеспособных решений для сектора городского автотранспорта [10–12]. Использование энергетических установок для производства биогаза дает лучший выход энергии на единицу площади, чем использование того же растительного сырья для производства жидкого биотоплива, что до сих пор остается предпочтительным решением в нескольких странах по всему миру из-за его относительной совместимости с автомобилями, работающими на нефтяном топливе. Хотя в этом отношении можно рассматривать биогаз как возобновляемое топливо с большим потенциалом, его конкурентоспособность может быть дополнительно повышена за счет использования связанного CO_2 [19].

Для использования биогаза в транспорте биометан может быть сжатым (200 бар) или сжиженным. В отличие от водорода (H_2), который ограничен стоимостью, наличием транспортных средств и недостатками инфраструктуры транспортировки и хранения [20], биометан может использоваться в существующих системах, где используется метан из природного газа (CH_4).

Ферментация метана – это давно известный процесс преобразования органического вещества в энергию в анаэробных условиях под влиянием бактериальной флоры. Биогаз, образующийся во время метанирования, представляет собой жидкий метан, угольную кислоту, до 1% сероводорода, а не большое количество азота, кислорода, водорода, аммиака и оксида углерода.

Биометан известен как усовершенствованная форма биогаза, и его окончательное качество / состав зависит от эксплуатационных параметров конечного использования и от используемой технологии модернизации. Т.е. биометан – это богатый метаном газ, получаемый из биогаза. Третий путь получения биометана – это газификация биомассы. Большим преимуществом

биогаза / биометана является то, что его можно производить из самых разных источников: в основном, для этой цели можно использовать все типы биоматериала, например, отходы. Однако не все субстраты ведут себя одинаково в отношении эффективности производства биогаза или имеют одинаковый потенциал экономии выбросов. Поскольку метан является основным компонентом природного газа, биометан можно использовать в транспортных средствах, работающих на природном газе, без каких-либо модификаций.

Состав биогаза приведен в таблице 1

Таблица 1 – Компонентный состав биогаза

Состав	Биогаз после получения	Очищенный биогаз – БиоКПГ	Диапазон для БиоКПГ
CH ₄ , % от объема	55,0	90	80-95
CO ₂ , % от объема	39,5	0,3	0,0-0,5
O ₂ , % от объема	0,5	0,1	0,1-0,5
N ₂ , % от объема	5,0	9,6	5-15
H ₂ S, ppm от объема	250	0	0

Многие автомобили можно переоборудовать для работы как на обычном жидком топливе, так и на природном газе. Это включает перевод с бензина на работу на природном газе / бензине и с дизельного топлива на работу на природном газе / дизельном топливе.

Чтобы переоборудовать автомобиль с бензинового на двухтопливный режим, установите на автомобиль баллоны для хранения топлива - обычно под автомобилем или в багажнике. Среди других необходимых компонентов - топливопроводы из нержавеющей стали, регулятор понижения давления и специальный топливно-воздушный смеситель.

Без дополнительных резервуаров для хранения газа типичный автомобиль с газомоторным топливом может проехать около 175 км на одном резервуаре с газом (по сравнению с примерно 400 км для обычного автомобиля). Это значение было рассчитано исходя из объема хранения

топлива, равного нормальному бензобаку. В большинстве случаев в газомоторных автомобилях устанавливаются резервуары большего объема или несколько резервуаров, чтобы обеспечить большее расстояние между дозаправками.

Разработка технических стандартов важна для вывода на рынок передового биотоплива, в том числе биометана. Стандарты на биометан должны соответствовать не только требованиям автомобильной промышленности и пользователей транспортных средств, но и требованиям сектора природного газа.

В частности, при использовании природного газа и биометана на транспорте важны следующие вопросы [22]:

- Сероводород как токсичный газ обладает высокими коррозионными свойствами. Содержащаяся в нем сера превращается в оксиды серы, негативно влияющие на окружающую среду.
- Сера оказывает огромное влияние на размер и тип выхлопных газов автомобиля, а также на коррозионные свойства топлива. Несоблюдение требуемого предела содержания серы сокращает срок службы катализатора и, как следствие, во многих современных двигателях нарушение системы контроля дозы топлива и проблемы с правильной работой двигателя. Также существует опасность коррозии двигателя. Соединения серы являются одними из самых вредных с технологической и экологической точек зрения.
- Ртуть признана металлом, представляющим значительную угрозу для окружающей среды и здоровья человека, а ее специфическое поведение в различных экосистемах затрудняет полное прогнозирование экологических и медицинских последствий загрязнения этим металлом. Ртуть в природном газе обычно присутствует в элементарной форме, а также может существовать в форме HgCl_2 , CH_3HgCH_3 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{HgC}_2\text{H}_5$ и ClHgCH_3 . Ртуть из алюминия образует амальгамы, которые могут повредить материалы, с которыми соприкасаются.

- Запах. Природный газ легче воздуха, бесцветен и не имеет запаха, поэтому он одорирован специальным химическим веществом, которое придает ему характерный запах, чтобы обнаруживать даже очень низкие концентрации газа от утечек (до того, как газ достигнет опасной концентрации. в воздухе). Газ в сочетании с воздухом может образовывать взрывоопасную смесь. Предел взрываемости 5–15%.
- Теплота сгорания – это количество энергии, которое выделяется при сгорании данного вещества. Если продуктом сгорания является водяной пар, теплота сгорания включает также теплоту конденсации водяного пара. Предполагается, что все топливо будет сожжено (полное сгорание) и что сгорание завершено (т.е. в выхлопе отсутствуют горючие вещества). Когда рассматривается теплотворная способность, имеется дело с таким же количеством энергии, но не принимаем во внимание конденсацию водяного пара. Поскольку они похожи по определению, но сильно различаются численно, важно обращать внимание на все таблицы или утверждения, в которых указывается количество.
- Воды. Самым важным требованием безопасности для BioCNG / CNG является очень низкое значение точки росы по воде, исключающее образование жидкой воды. По этой причине температура точки росы по воде в газовом топливе на выходе из заправочной станции должна быть адекватно ниже самой низкой температуры окружающей среды, при которой будут работать заправочная станция и используемые транспортные средства.
- Жидкая вода является предшественником образования коррозионных соединений, поскольку она соединяется с такими компонентами природного газа, как диоксид углерода и сероводород. Сочетание коррозионных компонентов и переменного давления, вызванного расходом топлива и последующей заправкой топливного бака, может вызвать трещины в металле, что приведет к повреждению и отказу.

Жидкая вода также может быть вредной, создавая жидкие или постоянные засоры в топливной системе.

- Поставляемое газовое топливо должно быть технически непыльным.
- Содержание масла в подаваемом газе не должно отрицательно сказываться на безопасной эксплуатации автомобиля. При необходимости можно использовать фильтры и сепараторы. Небольшое количество масла может положительно повлиять на защиту бака и смазку форсунок.
- Кислород вместе с сероводородом может реагировать, в частности, с медью, что вредно для установки.

Сведение к минимуму содержания загрязняющих веществ до предельных значений, указанных в стандартах, важно из-за их неблагоприятного воздействия на процесс сгорания в двигателях автомобилей.

Компримированный биометан – новое дешевое топливо из местного сырья. Однако создание двигателей автотранспортных средств, работающих на газе с низкой теплотой сгорания, как у биогаза, представляет определенные трудности. Поэтому целесообразнее использовать не биогаз, а получаемый из него биометан. Для этого из биогаза удаляют CO_2 и другие примеси. Получаемый газ имеет однородный состав (биометан), содержащий 90-97 % CH_4 с теплотой сгорания 35-40 МДж/м³.

Очистка биогаза от двуокиси углерода может производиться различными способами. Наиболее распространенные: промывка газов через жидкие поглотители (например, воду), вымораживание, адсорбция при низких температурах.

Биометан, как и другие газовые топлива, имеет низкую объемную концентрацию энергии. При нормальных условиях теплота сгорания 1 л. биометана составляет 33 – 36 кДж, в то время как теплота сгорания 1 л бензина составляет 31400 кДж, т.е. в 1000 раз больше, чем у биометана. Поэтому биометан может применяться в автомобилях как моторное топливо

либо в компримированном (сжатом), либо в криогенном (сжиженном) состоянии.

Выводы по первому разделу

Для того чтобы использовать биогаз в автомобилях его необходимо очистить, так как сжигание не очищенного биогаза приводит к поломке двигателя автомобиля. Очистка биогаза – это процесс удаления диоксида углерода (CO_2) из исходной смеси, который увеличивает содержание метана (CH_4) в полученном газе, и его очистку от сероводорода, воды и других микропримесей. Обработка позволяет адаптировать параметры качества биогаза к параметрам природного газа.

Биометан – привлекательное топливо, доступное сейчас для поддержки перехода от обычных видов топлива к перспективным альтернативным топливам (новое биотопливо, водород и т. д.).

Использование биометана связано с очень низкими выбросами парниковых газов, если они производятся посредством газификации биомассы, или даже с отрицательными выбросами парниковых газов при производстве из субстратов, таких как органические бытовые отходы или навоз (в противном случае выделяется метан в процессе его разложения).

2 Тепловой расчет проектируемого двигателя

Согласно заданию на бакалаврскую работу, требуется провести тепловой расчет для оценки влияния биогаза представленного виде очищенного биометана на рабочий процесс ДВС с искровым зажиганием. Для этого приводиться сравнение результатов расчета для 3-х видов топлива (таблица 2): бензин (базовое топливо), сжатый природный газ и биометан. Состав природного газа и некоторые его характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Физико-технические характеристики исследуемых топлив

Характеристика топлива	Бензин Аи-95	Компримированный природный газ	Биометан
Октановое число по исследовательскому методу	95	110	110
Объемная теплота сгорания низшая, кДж/м ³ , не менее	-	31800	30240
Молекулярная масса	115	19,98478	18,14323
Плотность, кг/м ³	760	0,82752	0,810885
Массовая теплота сгорания, МДж/кг	43929,5	44604,5	42,73807
Элементарный состав, % (массы)			
– Углерод	85,5	68,84	62,8461
– Водород	14,5	22,06	20,879
– Кислород	0	0,98	0,7219
– Азот	0	8,12	15,5326

Таблица 3 – Состав газа природного топливного компримированного для двигателей внутреннего сгорания по ГОСТ 27577-2000

Состав КПГ	Объемная доля в КПГ	Плотность по воздуху	Плотность при 20 ° С, кг/м ³	Газовая постоянная, Дж/(кг·К)	Молекулярная масса	Массовая доля в КПГ
Метан, CH ₄	0,9	0,5546	0,7170978	518,3	16,04	0,8134235
Этан, C ₂ H ₆	0,0296	1,046	1,352478	277	30,07	0,0504565
Пропан, C ₃ H ₈	0,0017	1,549	2,002857	189	44,1	0,0042913
Бутан, C ₄ H ₁₀	0,0055	2,07	2,67651	143	58,12	0,0185535
Пентан, C ₅ H ₁₂	0,0042	2,637	3,409641	103,4	72,15	0,0180490
Водород, H ₂	0,0014	0,0695	0,0898635	4,124	2,02	0,0001585
Угарный газ, CO	0,0014	0,9671	1,2504603	297	28,01	0,0022064

Продолжение таблицы 3

Углекислый газ, CO ₂	0,0047	1,528	1,975704	188,9	44,01	0,0117034
Азот, N ₂	0,0515	0,967	1,250331	296,8	28,01	0,0811573

Предполагается что биметан может заправляться в ту же топливную аппаратуру что и сжатый природный газ, только необходимо внести в контроллер соответствующие настройки и калибровки, для работы на биометане.

Основные характеристики двигателя на базе двигателя SAAB B234 принятого для расчета приведены в таблице 4, а общий вид его конструкции на рисунке 1.

Таблица 4 – Технические характеристики двигателя

Тип	4-тактный двухтопливный с искровым зажиганием
Число и расположение цилиндров	4 – рядно
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Диаметр цилиндров, мм	90
Ход поршня, мм	79
Длина шатуна, мм	147,5
Рабочий объем, л	2,015
Степень сжатия	11
Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	4800
Максимальный частота вращения коленчатого вала, об/мин	5200
Минимальная частота вращения коленчатого вала при режиме холостого хода, об/мин	840
Номинальная мощность при частоте вращения коленчатого вала 5200 об/мин, кВт (л.с.)	100
Максимальный крутящий момент, Нм	220



Рисунок 1 – Общий вид двигателя SAAB B234 взятого как базовый для расчета

Тепловой расчет производится по методике И.И. Вибе, с учетом рекомендаций по расчету основных параметров, предложенных в учебниках [2,3]. 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.

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
Компримированный природный газ							
0,52345	15,148	0,57349	0,054033	0,1103	0,415288	0,579622	1,0107
Компримированный биометан							
0,50165	14,517	0,55677	0,052372	0,104395	0,399869	0,556636	0,99976

Анализ результатов расчета процесса впуска (таблица 6) показал увеличение удельного объема рабочего тела в конце процесса наполнения при работе на компримированном природном газе и биометане, что показывает снижение энергоемкости наполнения цилиндров количество заряда поступившего в цилиндр двигателя.

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	0,00016	0,09984	1065	0,103878	0,031219	327,2379	0,9159	0,898671	9,991764
2000	0,00091	0,099092	1080	0,105645	0,031103	326,0446	0,922	0,9021498	23,78991
3400	0,00262	0,097376	1100	0,109699	0,031896	325,3579	0,9166	0,9161119	40,44285
4800	0,00523	0,094771	1142	0,115855	0,032703	325,41	0,9094	0,9414495	57,09579
5200	0,00614	0,093863	1150	0,118	0,033835	326,0292	0,889007	0,9523622	61,85378
Компримированный природный газ									
840	0,00016	0,09984	995	0,103878	0,035905	328,1488	0,8524	1,0192887	9,991764
2000	0,00091	0,099092	1005	0,105645	0,035454	326,6451	0,8692	1,0222735	23,78991
3400	0,00262	0,097376	970	0,109699	0,03469	325,2702	0,8957	1,0359072	40,44285
4800	0,00523	0,094771	990	0,115855	0,035707	325,2967	0,8889	1,0644725	57,09579
5200	0,00614	0,093863	1005	0,118	0,036532	326,0583	0,868704	1,0772842	61,85378
Компримированный биометан									
840	0,00016	0,09984	990	0,103878	0,036086	328,09	0,8524	1,0391906	9,991764
2000	0,00091	0,099092	995	0,105645	0,035811	326,53	0,8692	1,0420576	23,78991
3400	0,00262	0,097376	1035	0,109699	0,035099	325,55	0,8852	1,0572298	40,44285
4800	0,00523	0,094771	1060	0,115855	0,036044	325,19	0,8889	1,0850937	57,09579
5200	0,00614	0,093863	1075	0,118	0,037042	325,898	0,868704	1,0979707	61,85378

Анализ результатов расчета параметров в конце сжатия и начала воспламенения (таблица 7) показал снижение коэффициента молекулярного изменения рабочей смеси при переходе на газовое топливо, причем на биметане он меньше единицы.

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	1,0508449	1,3356	10	0,089553	2,172364	709,5342
2000	1,0508507	1,3355	13	0,095305	1,993918	693,075

Продолжение таблицы 7

3400	1,050812	1,3352	15	0,101211	1,844321	680,8083
4800	1,05077	1,3351	18	0,112012	1,625624	664,114
5200	1,050716	1,33507	22	0,126254	1,393456	641,6511
Компримированный природный газ						
840	1,010329	1,3356	11	0,103435	2,120387	707,2169
2000	1,010333	1,3358	18	0,121628	1,702135	667,571
3400	1,010341	1,3359	20	0,129961	1,558757	653,2221
4800	1,010331	1,3359	23	0,145152	1,3572	635,2394
5200	1,010327	1,3358	26	0,160137	1,197634	618,4206
Компримированный биометан						
840	0,9998	1,3756	13	0,109782	2,198561	763,2462
2000	0,9998	1,3758	19	0,127274	1,787877	719,5674
3400	0,9998	1,3758	19	0,127274	1,787877	719,5674
4800	0,9998	1,3759	29	0,176074	1,156993	644,2013
5200	0,999768	1,375834	32	0,194512	1,015388	624,5612

Анализ результатов коэффициентов термодинамического расчета (таблица 8) показал снижение коэффициента использования теплоты в связи с увеличением тепловых потерь в стенку цилиндра и систему охлаждения, связанных с увеличением продолжительности сгорания при работе на газовом топливе.

Таблица 8 – Коэффициенты термодинамического расчета

$n, \text{мин}^{-1}$	ξ	$q_z, \text{Дж/кг}$	$E_2, \text{МПа}$	$\varphi_z, \text{град, пкв.}$	m
Бензин Аи-95					
840	0,86	2296	56,206613	50	3
2000	0,88	2349,6	57,29843	56	3
3400	0,9	2401,2	57,663208	62	3
4800	0,9	2423,305	55,979451	68	3
5200	0,91	2423,305	55,979451	75	3
Компримированный природный газ					
840	0,8	2133,2	46,041838	57	3
2000	0,82	2187,5	47,075564	62	3
3400	0,84	2242,5	47,624251	67	3
4800	0,86	2293,6	47,403113	73	3
5200	0,88	2345,077	47,890508	80	3
Компримированный биометан					
840	0,78	2073,5	43,897711	62	3
2000	0,8	2127,3	44,911366	68	3
3400	0,82	2182	45,404725	71	3
4800	0,84	2233,1	45,276443	78	3
5200	0,86	2284,115	45,766724	85	3

Анализ результатов расчета процесса расширения и выпуска (таблица 9) показал, что при переходе на сжатый природный газ происходит снижение температуры конца сгорания и отработавших газов, что приводит к ухудшению условий прогрева трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. Также следует отметить снижение степени последующего расширения, что показывает на сколько снизилось теплоиспользование при удлинении процесса сгорания.

Таблица 9 – Результаты расчета процесса расширения и выпуска

n , мин ⁻¹	Vz' , м ³	Tz' , К	Pz' , МПа	δ	n_2	P_b , МПа	T_b , К	T_r , К	Δ , %
Бензин Аи-95									
840	0,2	2555,25	3,680276	4,492591	1,188	0,617509	1926,162	1063,29	-0,1602
2000	0,2179	2546,96	3,367097	4,13959	1,188	0,62278	1950	1079,52	-0,0445
3400	0,2458	2532,78	2,968396	3,72678	1,188	0,62212	1978	1109,33	0,8481
4800	0,2724	2486,79	2,629664	3,45569	1,189	0,60207	1968	1135,91	-0,5333
5200	0,2964	2460,7	2,391944	3,21361	1,19	0,59653	1972	1149,08	-0,08
Компримированный природный газ									
840	0,2665	2231,7173	2,62344	3,82421	1,196	0,526259	1712,023	996,823	0,1832
2000	0,2536	2263,9	2,796636	4,03047	1,199	0,52614	1717	1005,22	0,0223
3400	0,278	2264,4	2,552468	3,72678	1,197	0,52823	1746	1034,22	-0,0755
4800	0,308	2262,04	2,300858	3,4557	1,1974	0,5212	1770,9	1072,71	0,2529
5200	0,3432	2253,64	2,057319	3,1388	1,197	0,52321	1799	1095,03	0,4611
Компримированный биометан									
840	0,2933	2181,76	2,3515	3,542657	1,201	0,514789	1692,079	992,474	0,2499
2000	0,2941	2193,11	2,357228	3,54266	1,202	0,51602	1701	1002,41	0,7452
3400	0,2163	2381,75	3,480725	4,88694	1,195	0,5224	1747	1038,32	0,321
4800	0,3063	2234,88	2,306857	3,54266	1,199	0,50645	1738	1063,07	0,2892
5200	0,3417	2223,37	2,057403	3,21361	1,198	0,50785	1764	1084,27	0,8626

Анализ результатов расчета индикаторных показателей рабочего цикла (таблица 10) показал, снижение примерно на 17-20% мощностных показателей работы двигателя при переходе на газовое топливо, но в тоже время практически индикаторные характеристики двигателя на компримированном природном газе находятся в 2-3% выше характеристик при работе двигателя на биометане. Это связано с большим содержанием газов не участвующих в процессе горения, а именно азота. И если на низких частотах вращения показана максимальная эффективность при работе на

бензине, то с ростом частоты вращения эффективность рабочего процесса на газе увеличивается, и разница в мощности уменьшается.

Таблица 10 – 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	1,1771325	1,440845	20,27577	0,458679	178,664
2000	1,1921802	1,453637	48,70423	0,459702	178,2666
3400	1,1721972	1,407488	80,16863	0,447728	183,034
4800	1,1668052	1,363308	109,6266	0,437097	187,4858
5200	1,1672976	1,348255	117,4509	0,442183	185,3295
Компримированный природный газ					
840	1,0653906	1,149752	16,17947	0,422678	190,9476
2000	1,1186863	1,203743	40,33152	0,433985	185,9726
3400	1,1371595	1,207517	68,77853	0,422458	191,047
4800	1,1479148	1,186227	95,38715	0,418161	193,01
5200	1,1547824	1,179132	102,718	0,425338	189,7533
Компримированный биометан					
840	1,0338469	1,094344	15,39975	0,407621	206,6389
2000	1,0788328	1,13882	38,15626	0,416	202,4767
3400	1,1428313	1,189065	67,72751	0,426469	197,5065
4800	1,15186	1,167684	93,89601	0,41706	201,9621
5200	1,1489458	1,151069	100,2733	0,420698	200,2155

Анализ результатов расчета эффективных показателей рабочего цикла (таблица 11) показал, что все эффекты, которые мы наблюдали у индикаторных показателей также присутствуют и у эффективных показателей работы двигателя.

Таблица 11 – Результаты расчета эффективных показателей рабочего цикла

n , мин ⁻¹	$V_{п.ср.}$, м/с	p_m , Мпа	p_e , Мпа	η_m	η_e	g_e , г/(кВт.ч)	N_e , кВт	M_e , Н.м	G_T , кг/ч
Бензин Аи-95									
840	2,212	0,115102	1,381849	0,959055	0,439899	186,2918	19,44557	221,0614	3,62255
2000	5,2667	0,093513	1,360124	0,935669	0,430129	190,5231	45,57105	217,5858	8,682338
3400	8,9533	0,135173	1,272316	0,903962	0,404729	202,4798	72,46938	203,5387	14,67358
4800	12,64	0,176832	1,186476	0,870292	0,380402	215,4286	95,40716	189,8065	20,55343
5200	13,693	0,188735	1,159521	0,860016	0,380284	215,4955	101,0096	185,4943	21,76711
Компримированный природный газ									
840	2,212	0,115102	1,090757	0,948688	0,40099	201,2753	15,34928	174,4938	3,089431
2000	5,2667	0,093513	1,11023	0,922315	0,400271	201,6368	37,19835	177,609	7,500557
3400	8,9533	0,135173	1,072344	0,888057	0,375167	215,1291	61,07928	171,5483	13,13993
4800	12,64	0,176832	0,996513	0,849292	0,351284	229,7548	80,13183	159,4172	18,41068

Продолжение таблицы 11

5200	13,693	0,188735	0,972321	0,837446	0,350737	230,1136	84,70198	155,547	19,49108
Компримированный биометан									
840	2,212	0,115102	0,979242	0,894821	0,364748	230,9275	13,78003	156,6542	3,182188
2000	5,2667	0,151147	0,987673	0,867278	0,360788	233,4623	33,09208	158,0031	7,725753
3400	8,9533	0,194649	0,994415	0,8363	0,356656	236,1669	56,64054	159,0816	13,37662
4800	12,64	0,238152	0,929532	0,796047	0,332	253,7061	74,74568	148,7018	18,96344
5200	13,693	0,250581	0,900488	0,782306	0,329115	255,93	78,4444	144,0556	20,07628

Анализ результатов расчета теплового баланса (таблица 12) показал, значительное увеличение доли потерь на теплоотдачу в окружающую среду в газовом варианте. Для работы двигателя на бензине, следует отметить повышение потерь с отработавшими газами, вследствие увеличения температуры сгорания.

Таблица 12 – 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	44204,67	19445,57	43,98986	9329,962	21,10628	14001,14	31,67343	1427,997	3,230422
2000	105947,4	45571,05	43,01289	23660,73	22,33252	34274,52	32,3505	2441,123	2,304089
3400	179056,4	72469,38	40,47292	40930,45	22,85897	59548,72	33,25696	6107,886	3,411151
4800	250806,1	95407,16	38,0402	62484,55	24,91349	88219,27	35,17429	4695,15	1,872024
5200	265616,1	101009,6	38,02841	66244,38	24,93989	94404,24	35,54161	3957,932	1,490095
Компримированный природный газ									
840	38278,5	15349,28	40,09895	10919,62	28,52677	11266,47	29,43289	743,1355	1,941391
2000	92933	37198,35	40,02706	27933,37	30,05753	27778,47	29,89086	22,81409	0,024549
3400	162805,7	61079,28	37,51668	48578,73	29,83848	50911,47	31,27131	2236,178	1,373526
4800	228111	80131,83	35,12844	62484,55	27,39217	75035,43	32,89426	10459,17	4,585124
5200	241497,3	84701,98	35,07367	66244,38	27,43069	81692,91	33,82767	8858,064	3,667976
Компримированный биометан									
840	37779,6	13780,03	36,47478	12780,13	33,82811	10049,89	26,60135	1169,564	3,095755
2000	91721,77	33092,08	36,07877	32977,56	35,9539	24590,25	26,80961	1061,878	1,157717
3400	158810,1	56640,54	35,66559	55714,2	35,08228	45236,5	28,48465	1218,833	0,767479
4800	225137,9	74745,68	33,19995	74416,62	33,05379	66504,91	29,53963	9470,711	4,206626
5200	238349,8	78444,4	32,91146	78957,59	33,12677	71923,49	30,1756	9024,314	3,786164

Выводы по 2-му разделу бакалаврской работы

Тепловой расчет показал значительное влияние вида топлива на мощностные и экономические характеристики работы. Получено, что для эффективного использования природного газа требуется повысить степень

сжатия, что приводит к необходимости организовывать дросселирование при работе на бензине при низких частотах вращения. А без повышения степени сжатия перевод двигателя на газовое топливо, причем не принципиально природный газ или биометан, мощностные характеристики работы двигателя снижаются на 17%, а удельный эффективный расход топлива возрастает на 7 и 15 процентов при работе на компримированном природном газе и биометане соответственно.

С учетом меньшей стоимости газового топлива $1 \text{ м}^3 - 16 \text{ руб}$, по сравнению с бензином $1 \text{ л} - 43 \text{ руб}$, при пересчете на 1 кг получаем $19,3 \text{ руб}$ за компримированный природный газ и $56,6 \text{ руб}$ за 1 кг бензина Аи-92. Таким образом получаем двухкратное снижение стоимости расхода горючего при переходе на газовое топливо. А для биометан при его себестоимости 4 руб за 1 м^3 , и цене на заправочных станциях порядка 12 руб за 1 м^3 или 15 руб за 1 кг . Эти расчеты показывают экономическую эффективность применения биометана в качестве хотя бы второго топлива в двухтопливных двигателях для начала развития этого направления.

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 39,5 мм, а длина шатуна 147,5 мм) проводился по известным методикам приведенным в [1,2], при частоте вращения коленчатого вала 5200 мин^{-1} .

Результаты расчета перемещения, скорости и ускорения поршня приведены на рисунках 2 – 4.

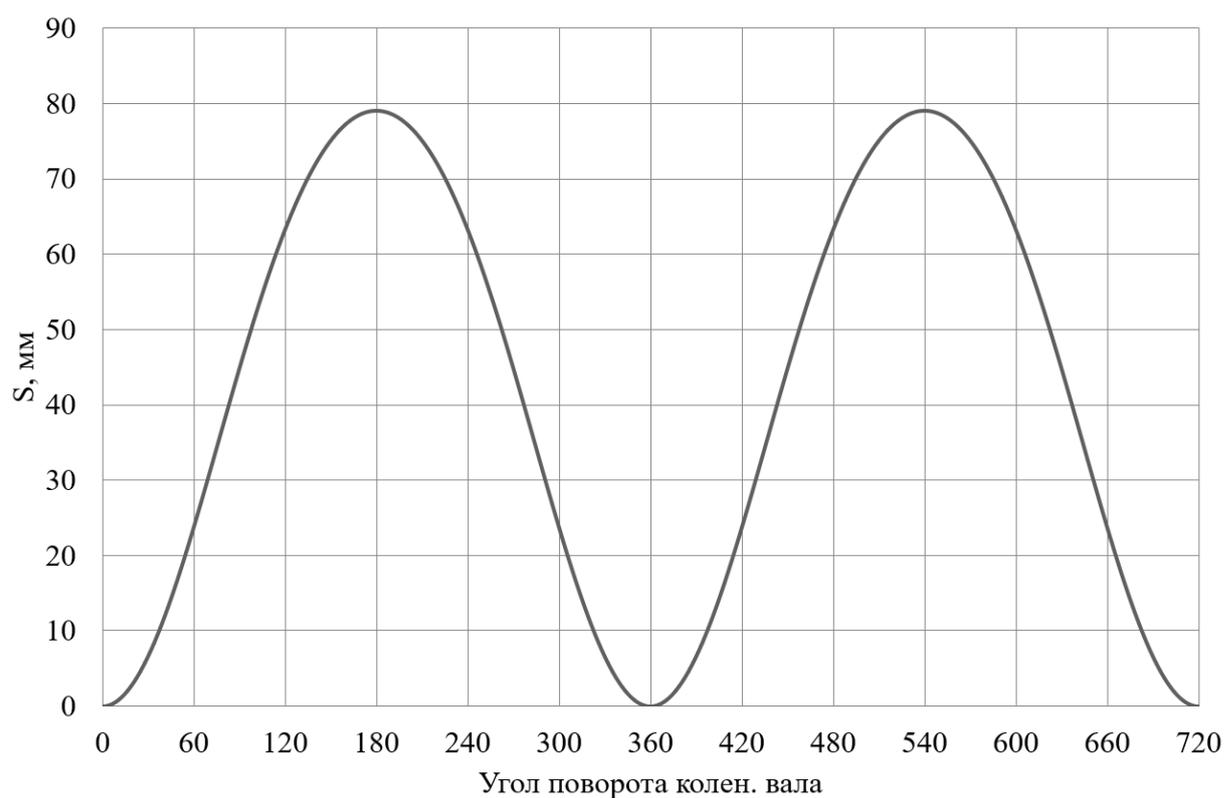


Рисунок 2 – Диаграмма изменения хода поршня

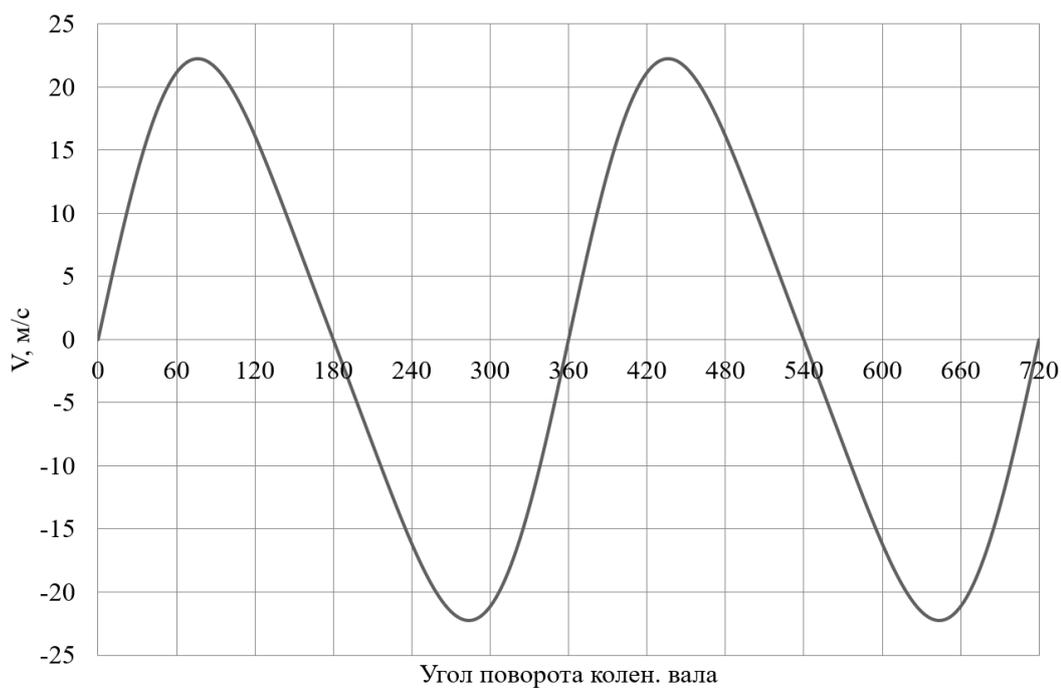


Рисунок 3 – Диаграмма изменения скорости поршня

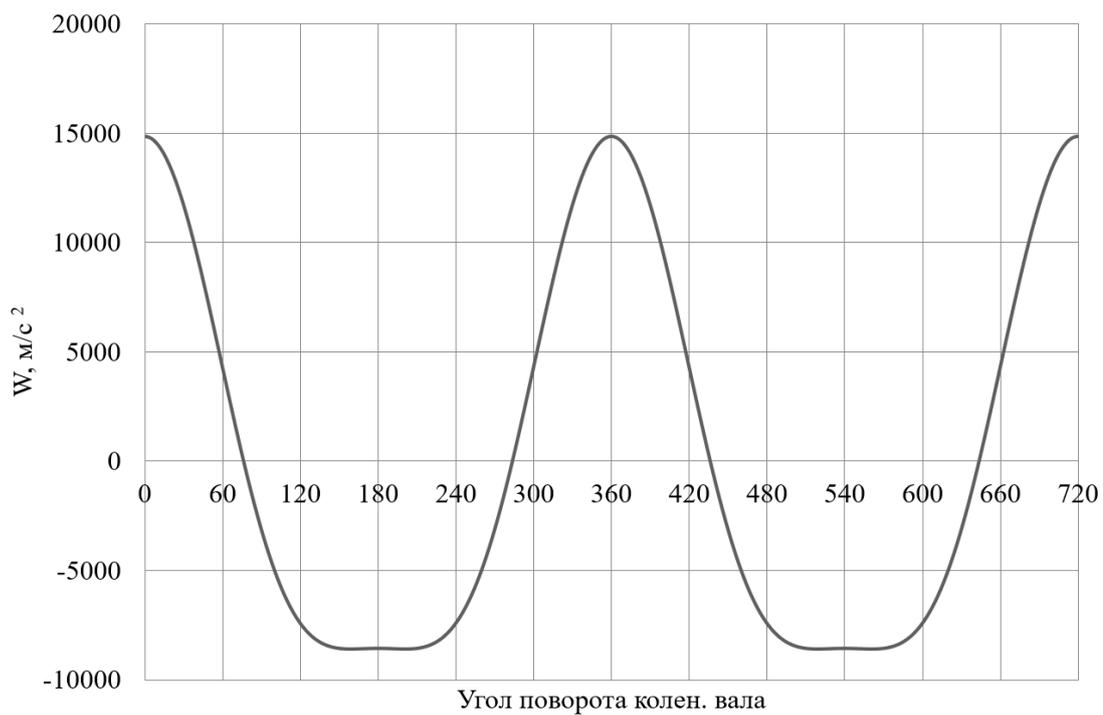


Рисунок 4 – Диаграмма изменения ускорения поршня

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 5200 мин^{-1} , для условий работы двигателя на бензине, сжатом природном газе и биометане соответственно.

Результаты приведение масс кривошипно-шатунного механизма по двух массовой схеме показаны в таблице 13.

Таблица 13 – Приведение масс кривошипно-шатунного механизма

Параметр	Величина
Площадь поршня, м^2	0,006362
Удельная масса поршня, $\text{кг}/\text{м}^2$	100
Масса поршневой группы, кг	0,63617
Удельная масса шатуна, $\text{кг}/\text{м}^2$	150
Масса шатуна, кг	0,95426
Масса шатуна, сосредоточенная на оси поршневого пальца, кг	0,262
Масса шатуна, сосредоточенная на оси кривошипа, кг	0,692
Удельная масса одного колена вала, $\text{кг}/\text{м}^2$	140
Масса неуравновешенных частей одного колена вала, кг	0,8906
Массы, совершающие возвратно-поступательное движение	0,899
Массы, совершающие вращательное движение	1,58248
Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна, Н	-8103,36
Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа, Н	-10432
Центробежная сила инерции вращающихся масс, Н	-18535

Результаты расчета приведены в виде графиков. На рисунке 5 приведены силы инерции возвратно-поступательного движения.

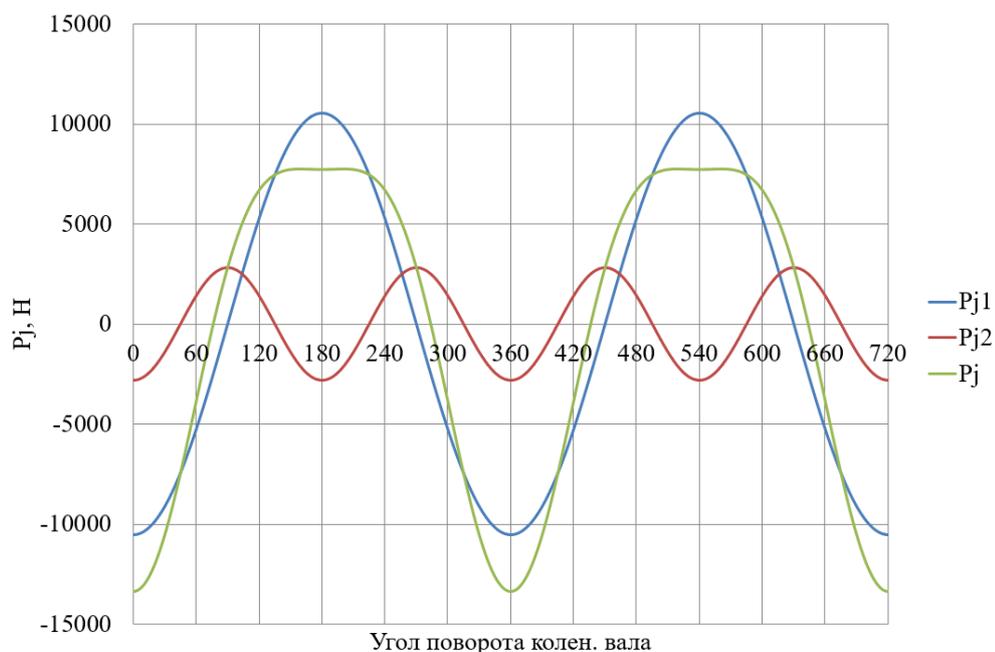


Рисунок 5 – Силы инерции возвратно-поступательного движения поршня и шатуна

На рисунках 6 – 8 приведено сравнение суммарных сил, действующих на поршневой палец двигателя при работе на бензине (рисунок 6), КПГ (рисунок 7) и биометане (рисунок 8).

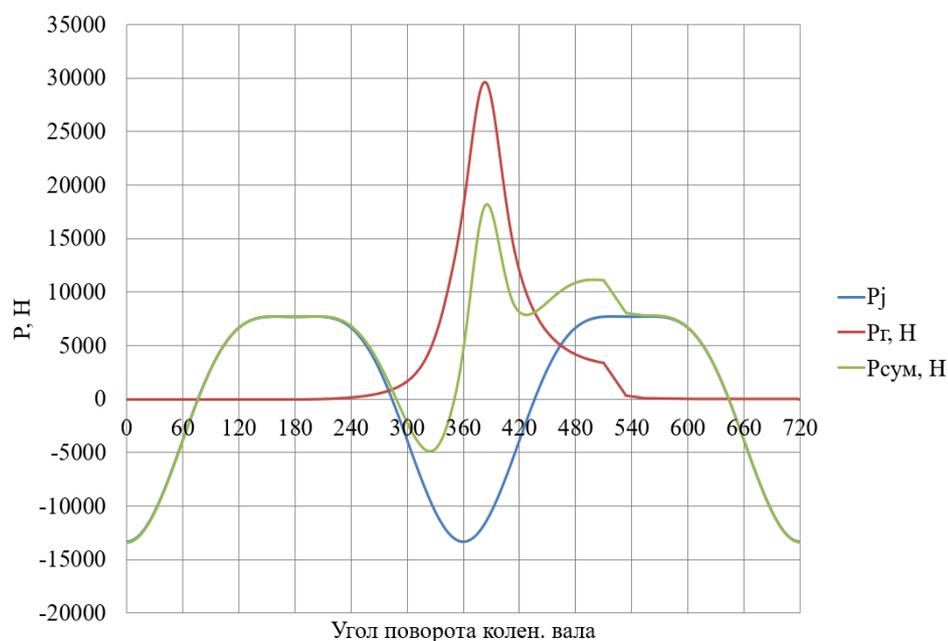


Рисунок 6 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя при работе на: (а) бензине

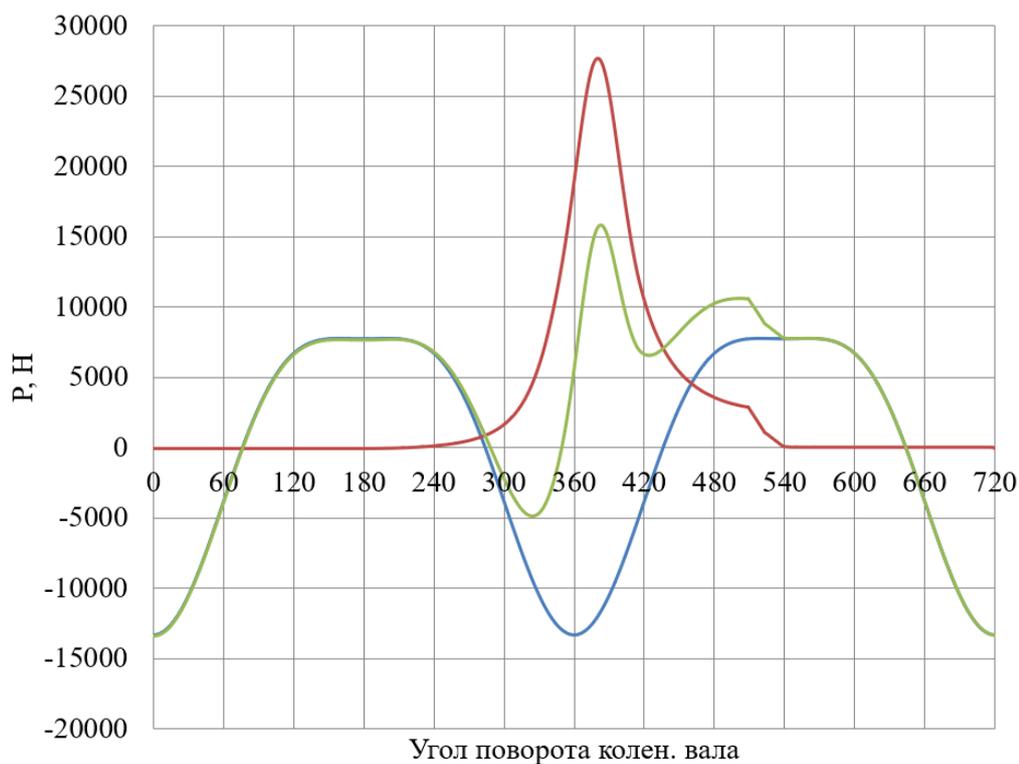


Рисунок 7 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя при работе на компримированном природном газе

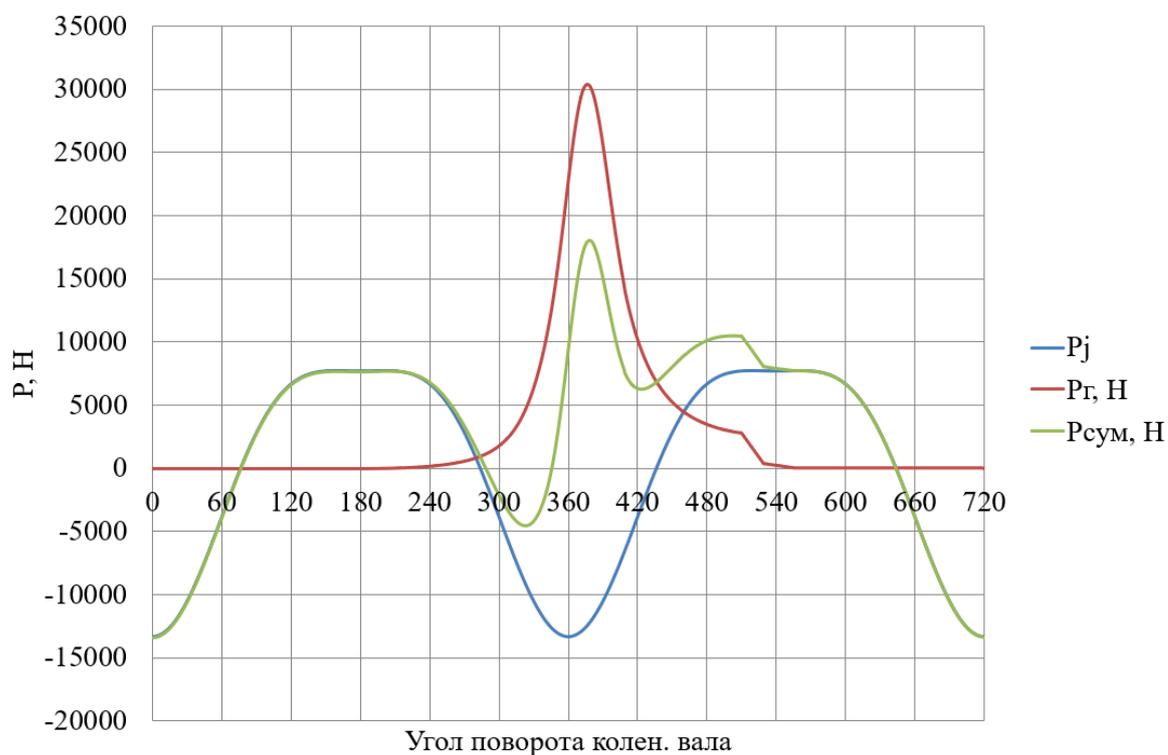


Рисунок 8 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя при работе на компримированном биометане

На рисунках 9 – 11 приведено сравнение сил, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки при работе на бензине (рисунок 9), КПГ (рисунок 10) и биометане (рисунок 11).

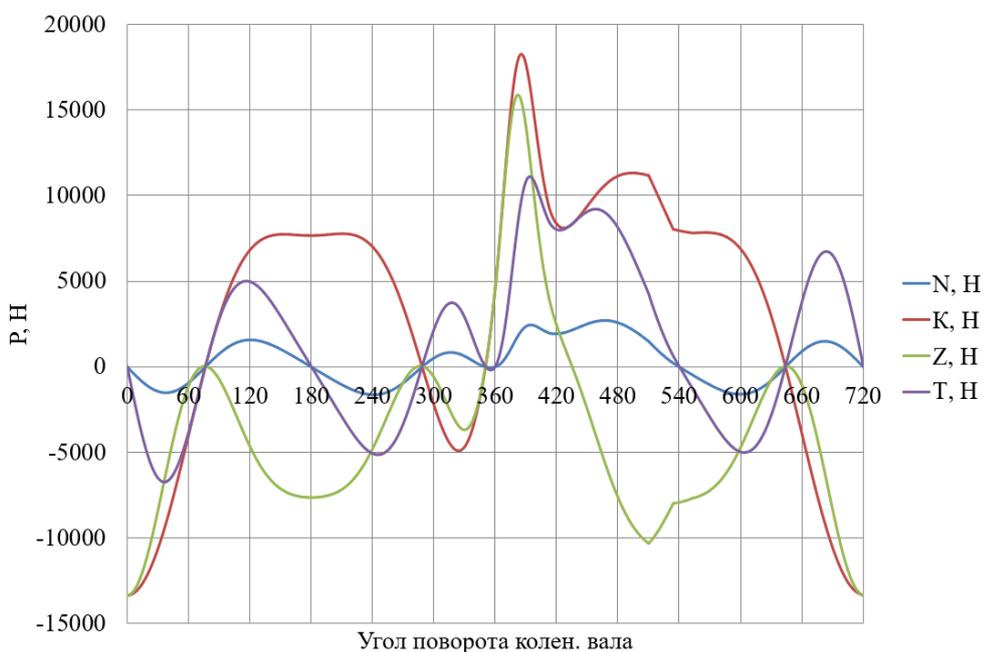


Рисунок 9 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя при работе на бензине

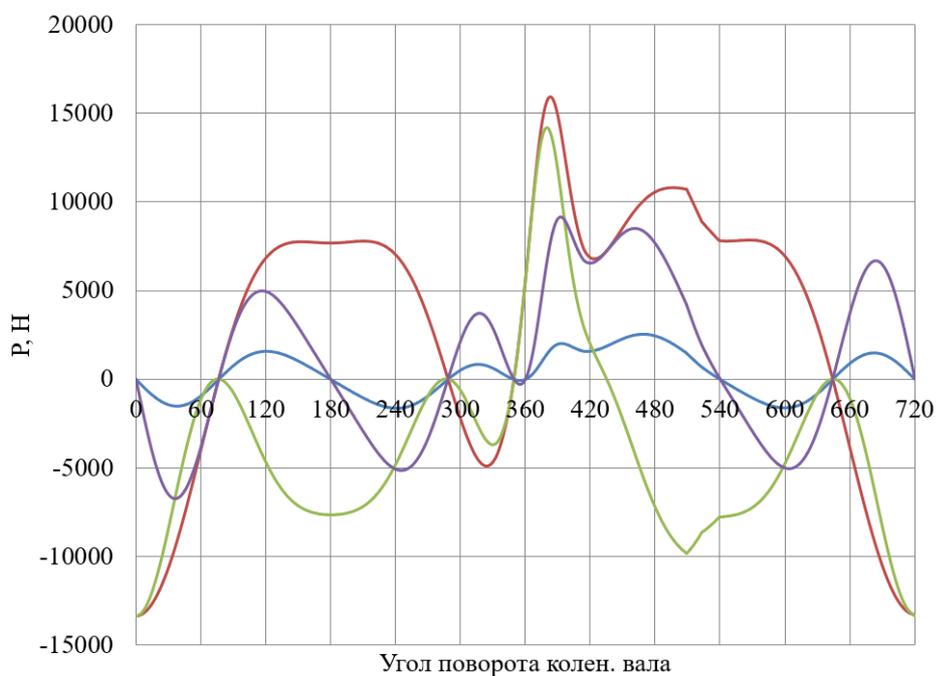


Рисунок 10 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя при работе на компримированном природном газе

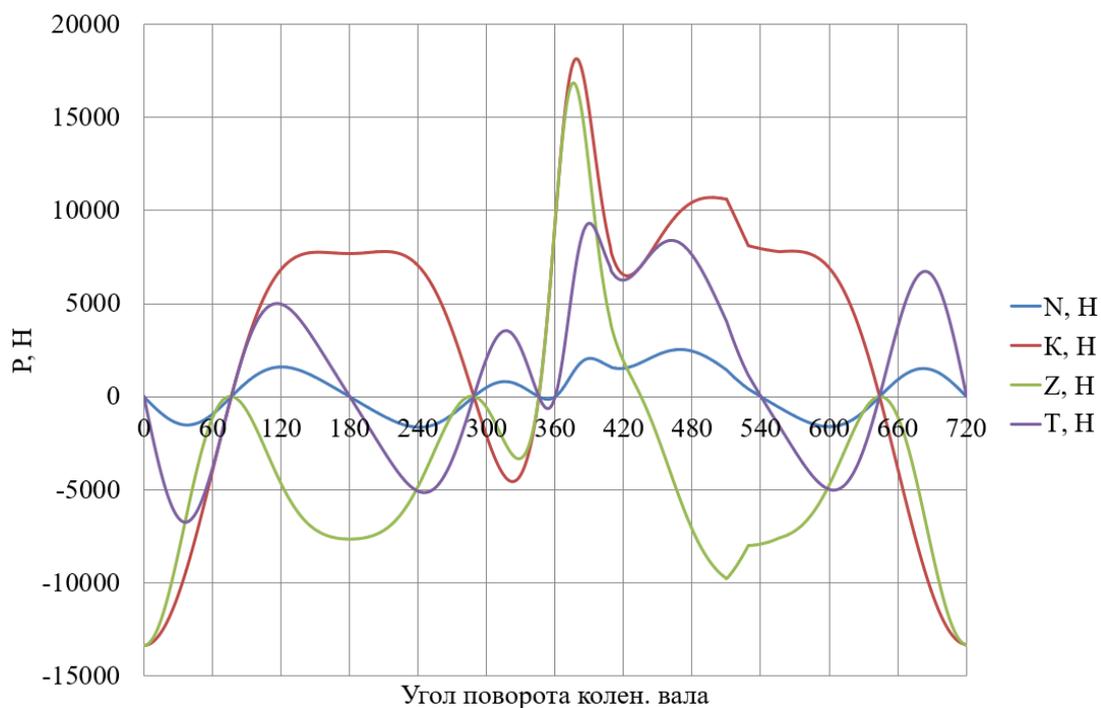


Рисунок 11 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя при работе на сжатом биометане

На рисунках 12 – 14 приведено сравнение крутящего момента двигателя при работе на бензине (рисунок 12), КПГ (рисунок 13) и биометане (рисунок 14).

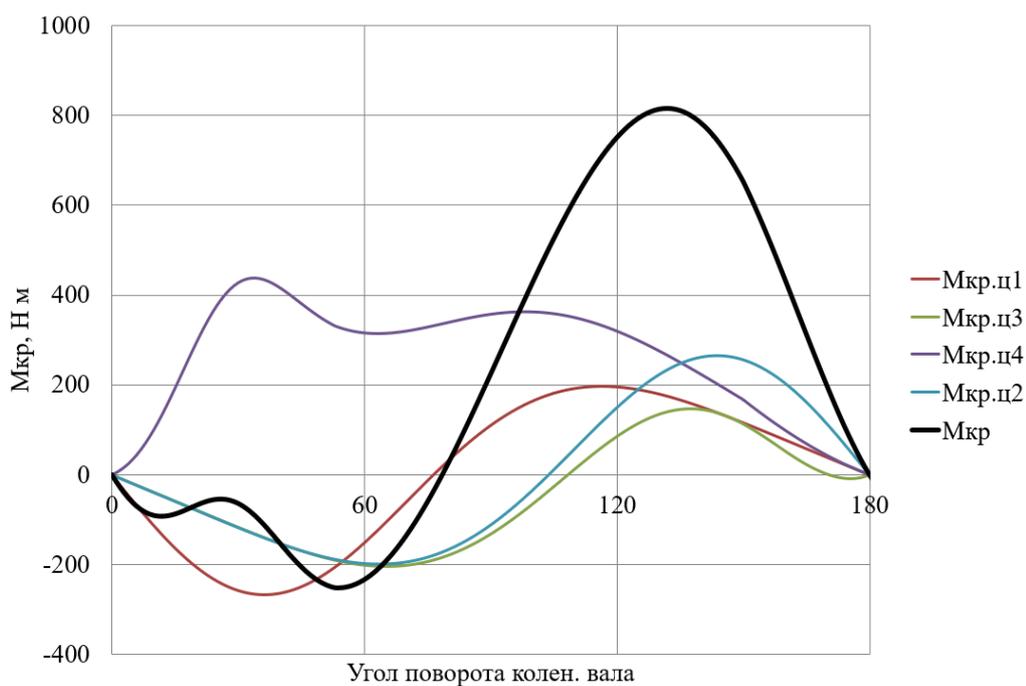


Рисунок 12 – График крутящего момента при работе на бензине

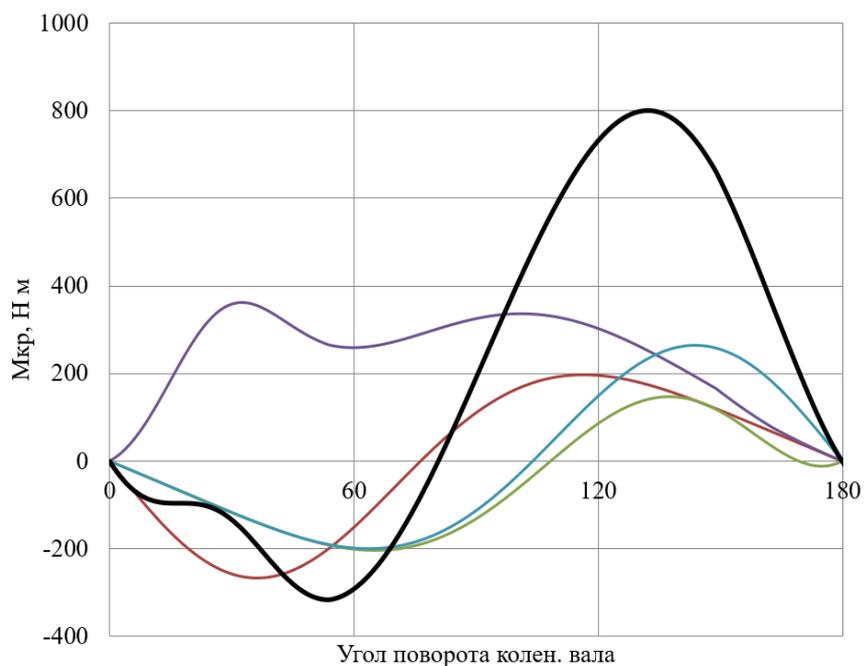


Рисунок 13 – График крутящего момента при работе на сжатом природном газе

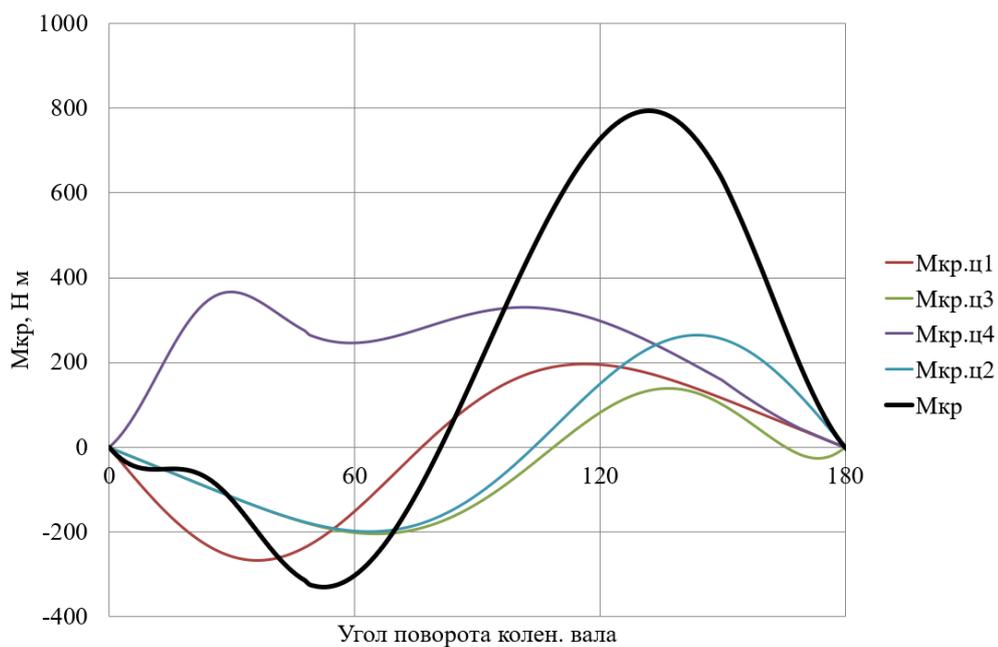


Рисунок 14 – График крутящего момента при работе на сжатом биометане

Расчет основных сил и моментов действующих в КШМ показал, что наибольшие силы возникают при работе на бензине, а при работе на газовом топливе их максимальные величины снижаются 5 – 8 %, причем при работе на биометане происходит еще снижение на 1 – 2 процента.

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

На рисунках 15 – 17 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в прямоугольных координатах при работе на бензине (рисунок 15), КПГ (рисунок 16) и биометане (рисунок 17) соответственно.

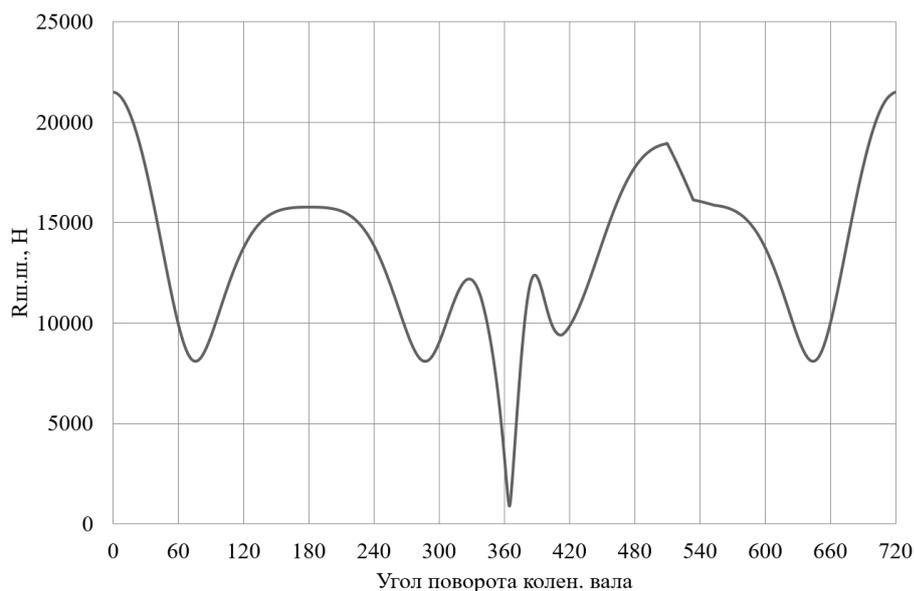


Рисунок 15 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку при работе на бензине

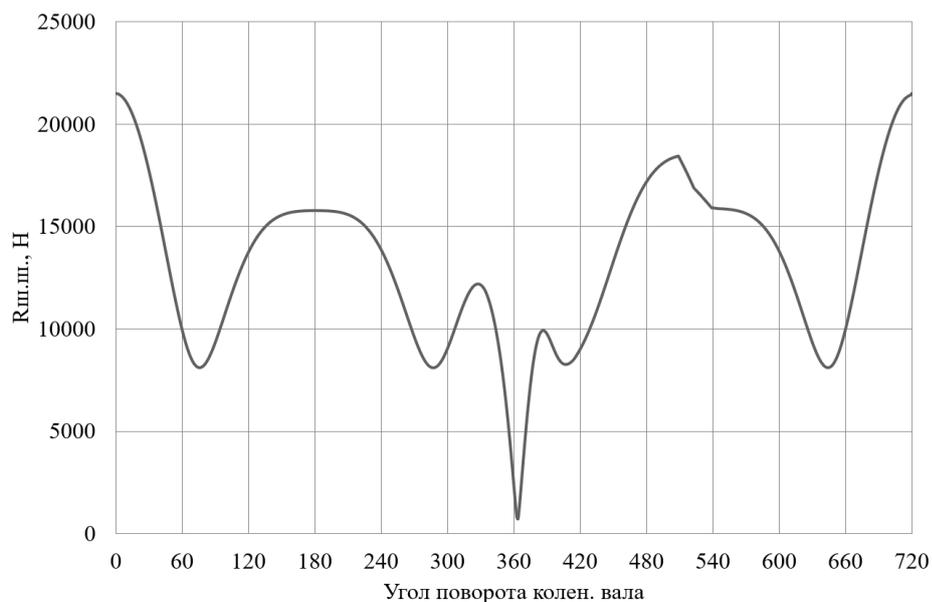


Рисунок 16 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку при работе на компримированном природном газе

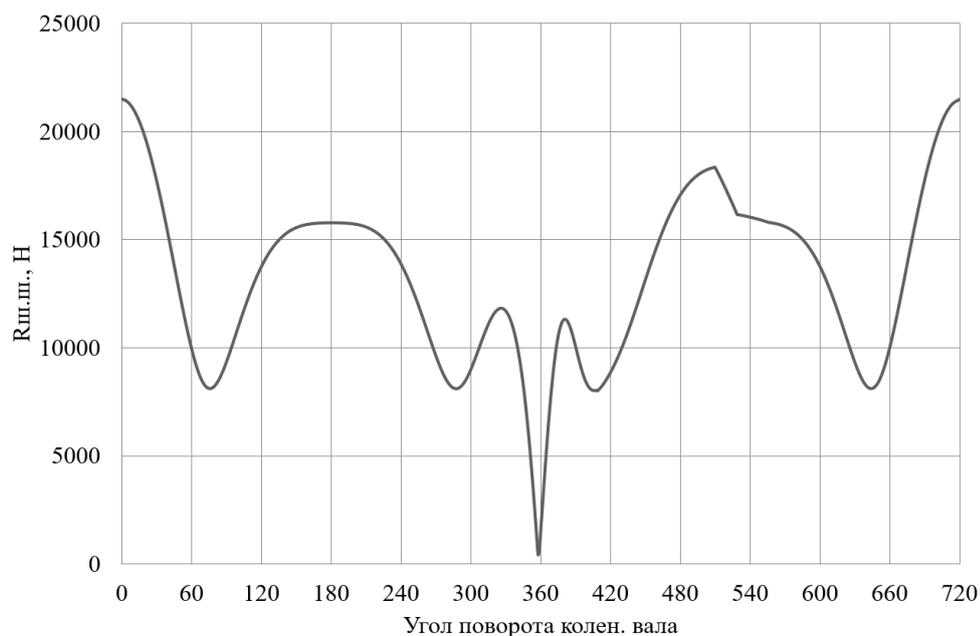


Рисунок 17 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку при работе на компримированном биометане

На рисунках 18 – 20 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в полярных координатах при работе на бензине (рисунок 18), КПГ (рисунок 19) и биометане (рисунок 20) соответственно.

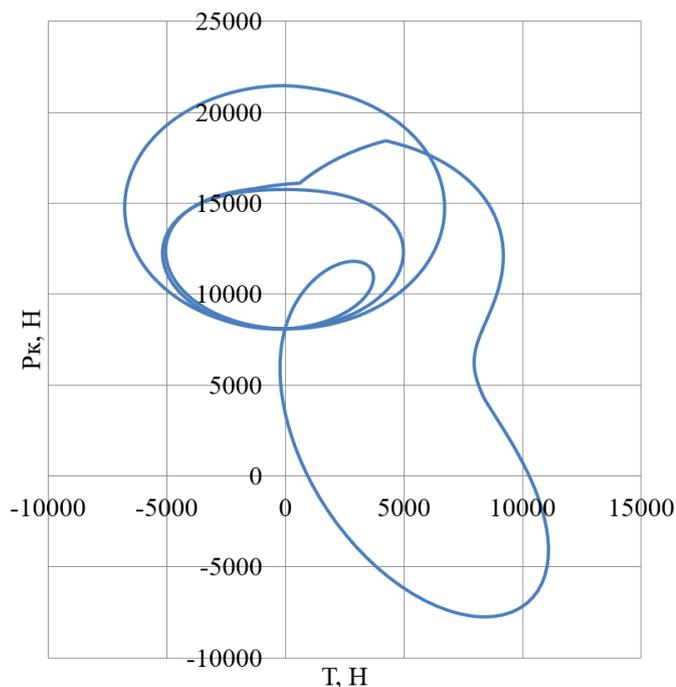


Рисунок 18 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах при работе на бензине

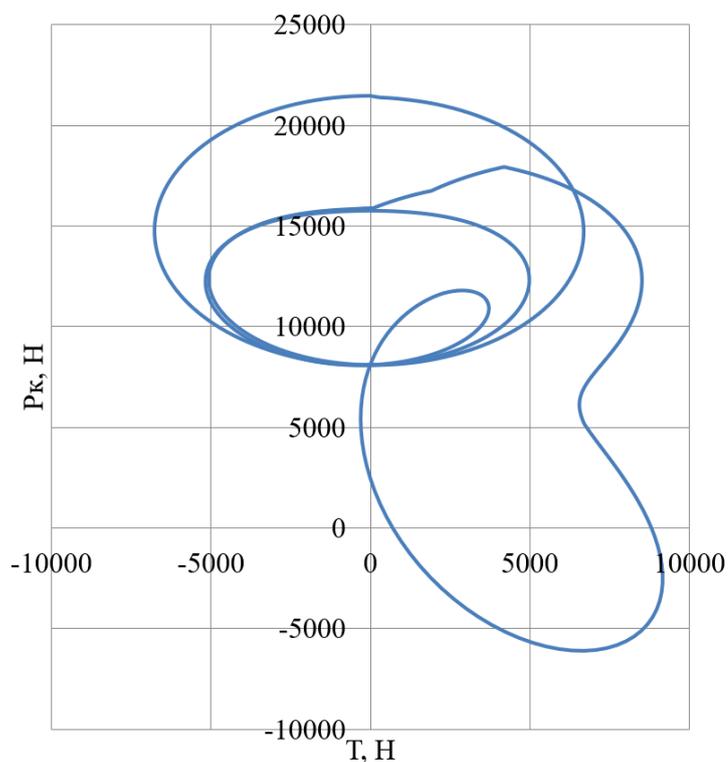


Рисунок 19 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах при работе на КПП

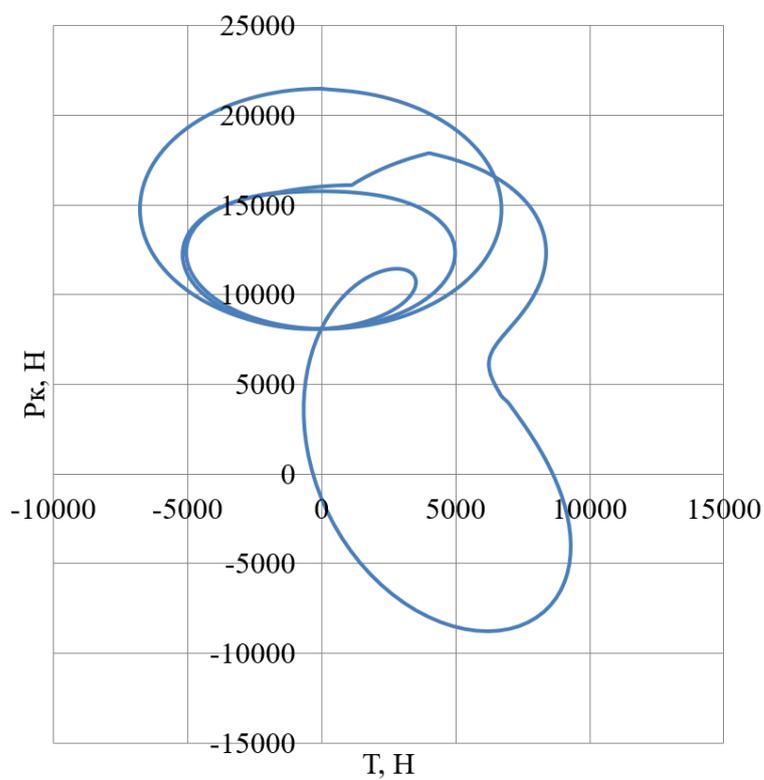


Рисунок 20 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах при работе на компримированном биометане

На рисунках 21 – 23 приведено сравнение суммарных сил, действующих на коренные шейки в прямоугольных координатах при работе на бензине (рисунок 21), КПГ (рисунок 22) и биометане (рисунок 23).

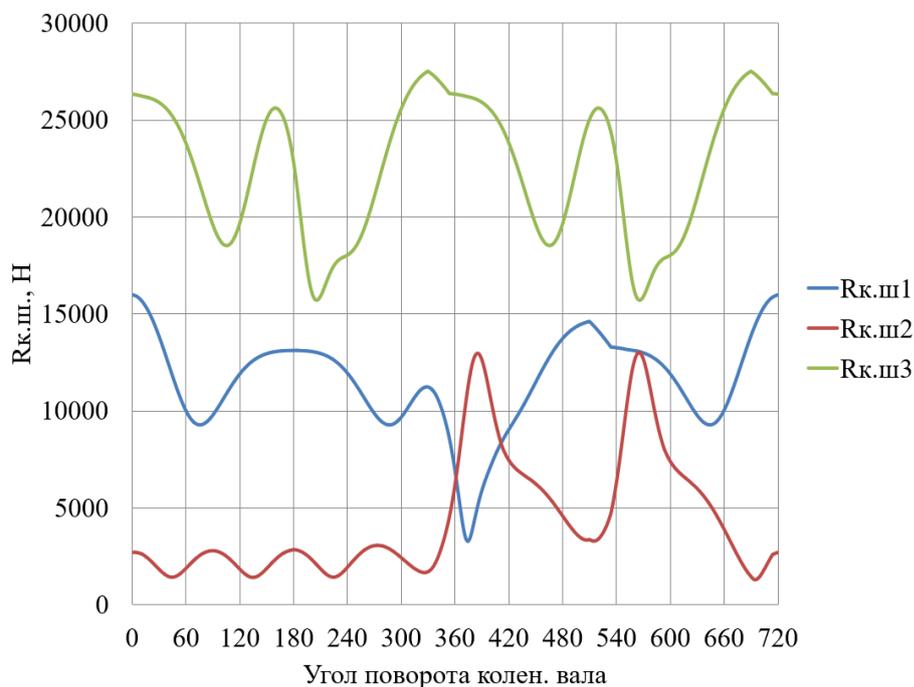


Рисунок 21 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах при работе на бензине

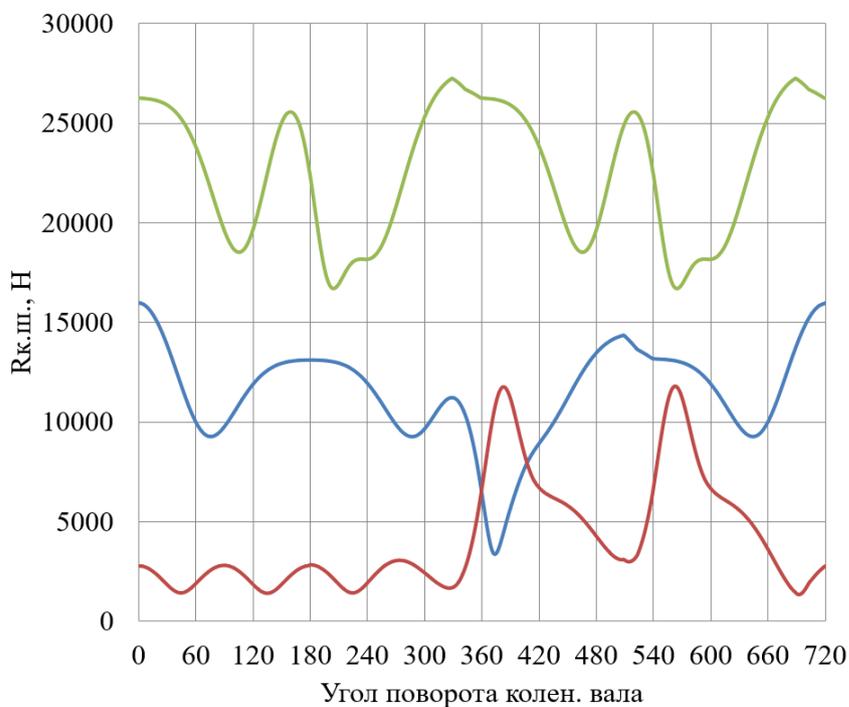


Рисунок 22 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах при работе на КПГ

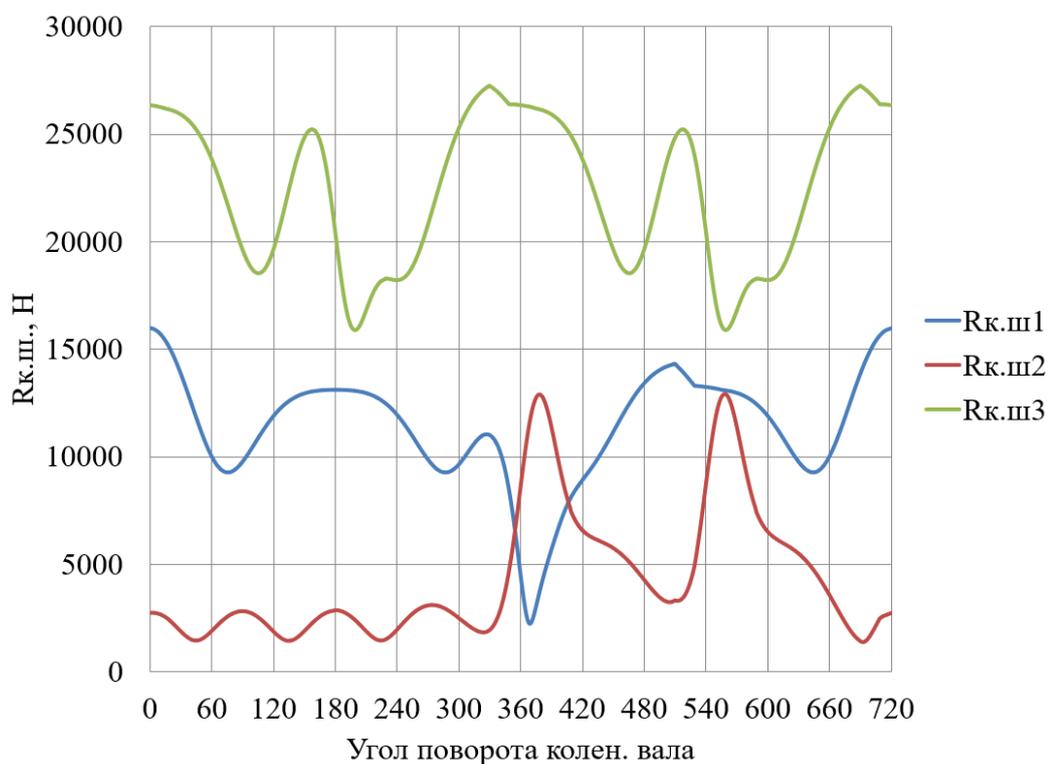


Рисунок 23 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах при работе на сжатом биометане

На рисунках 24 – 26 приведено сравнение суммарных сил, действующих на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе на бензине (рисунок 24), КПГ (рисунок 25) и биометане (рисунок 26).

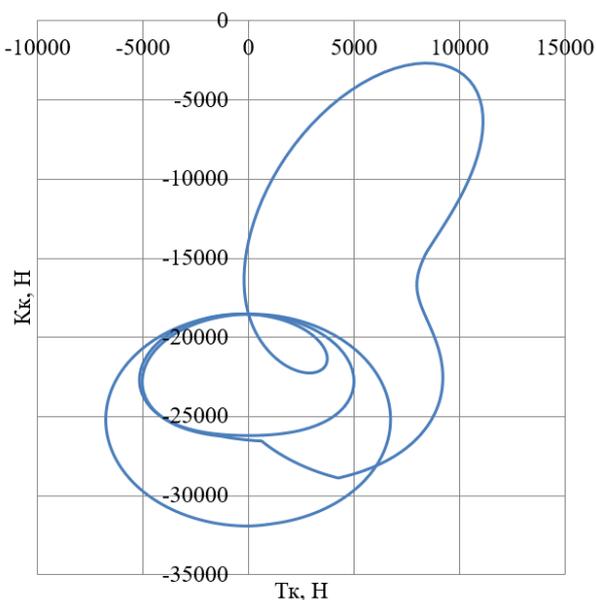


Рисунок 24 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе на бензине

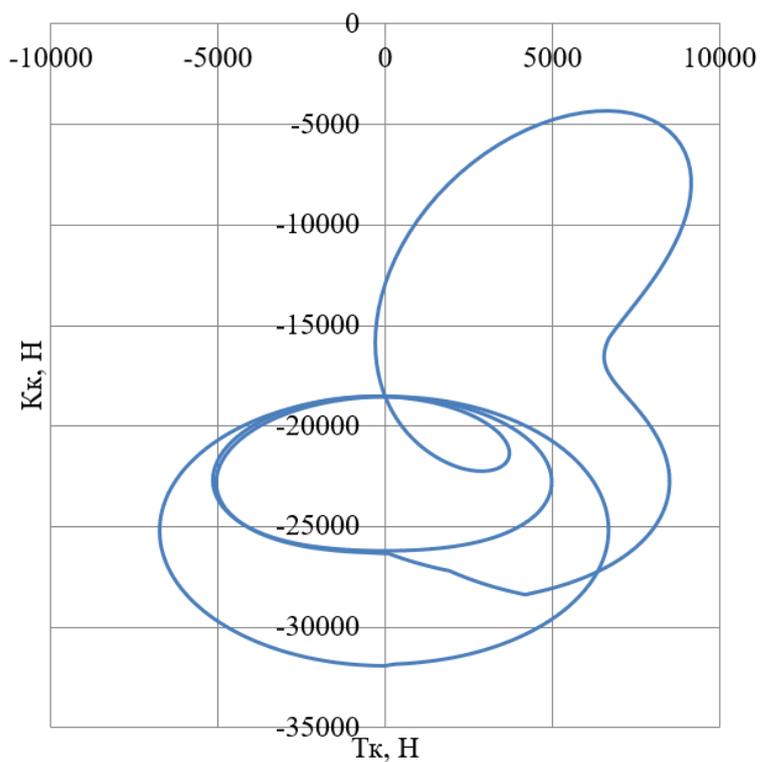


Рисунок 25 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе на КПГ

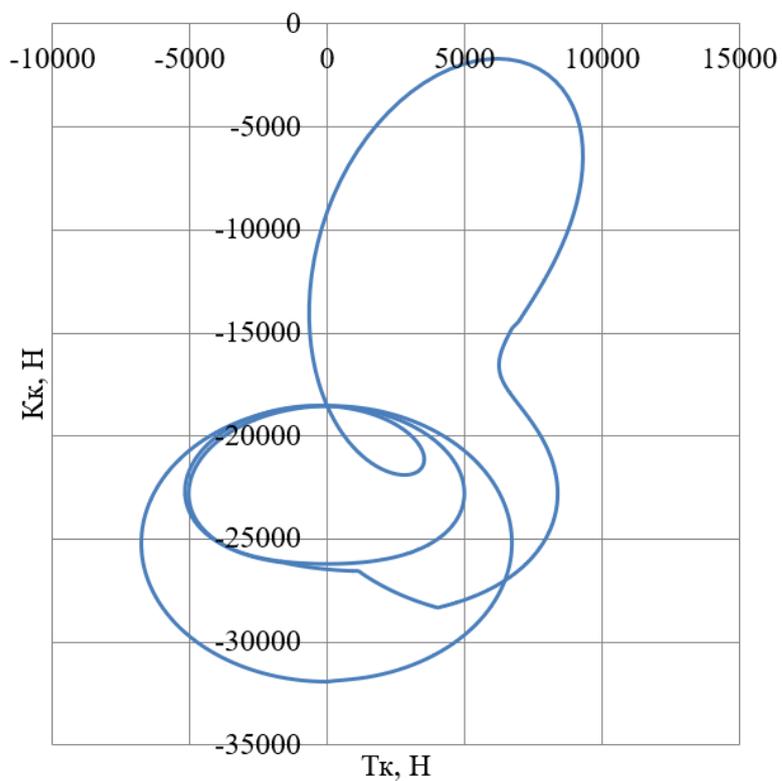


Рисунок 26 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе на компримированном биометане

Выводы по 3-му разделу

Как мы видим переход двигателя с жидкого топлива (бензина) на газовое привел к снижению нагрузок в среднем на 8-10%, что показывает возросший ресурс и возможности форсирования двигателя при работе на газовом топливе. Для полноценного использования газового топлива эффективно было-бы применять агрегатный наддув со степенью повышения давления 1,6-1,8 с охладителем надувочного воздуха. Это бы позволило повысить эффективность работы на низких нагрузках и при переходе на газовое топливо с октановым числом около 120.

Помимо снижения нагрузки на элементы кривошипно-шатунного механизма, переход на газовое топливо улучшает условия смазывания поршневой группы за счет того, что газ не смывает микрослой смазки с зеркала цилиндра, который позволяет двигаться поршню с меньшими потерями на износ и трение, при лучшем теплоотводе.

4 Анализ влияния вида топлива (бензин, КПГ и биометан) на рабочий процесс ДВС

4.1 Влияния вида топлива (бензин, КПГ и биометан) на максимальную температуру и давление цикла

Сравнивая величины максимального давления в цилиндре двигателя (рисунок 27), следует отметить снижение давления с ростом оборотов при работе на бензине и рост давления при работе на биометане. Такие характеристики изменения максимального давления произошли из-за подбора оптимальных значений угла опережения зажигания. Проведем сравнение индикаторных диаграмм в P-V координатах для всех 3-х рассматриваемых топлив (рисунок 28 – 32). Из представленных рисунков видно, что максимальное давление снижается по мере увеличения частоты вращения, это объясняется увеличением продолжительности процесса сгорания по углу поворота коленчатого вала.

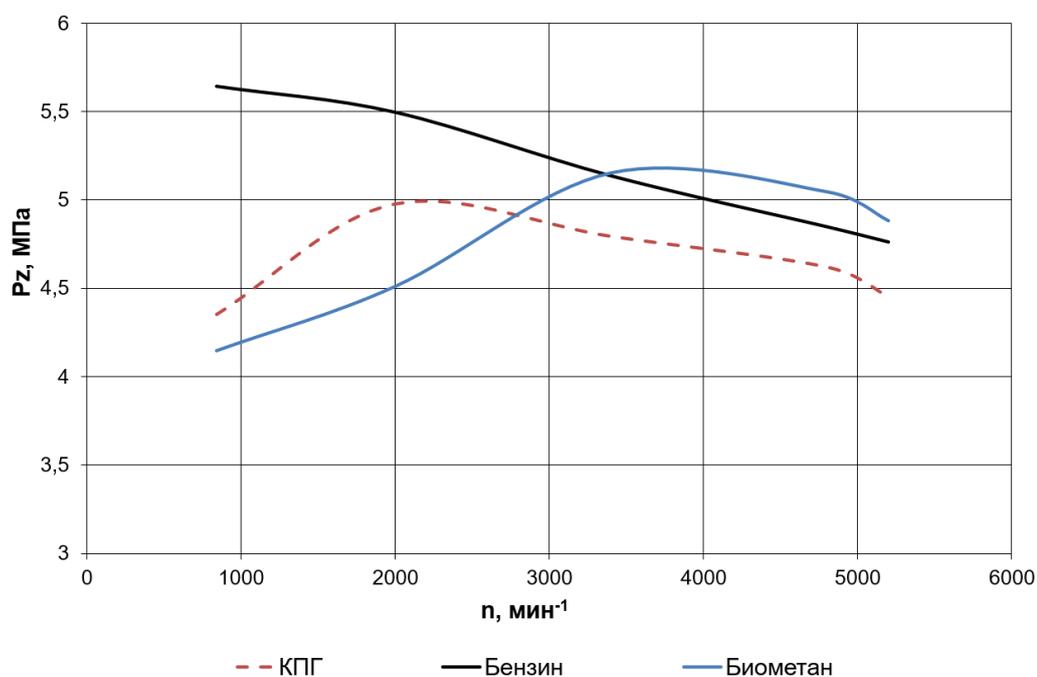


Рисунок 27 – Сравнение величины максимального давления в цилиндре двигателя для исследуемых топлив

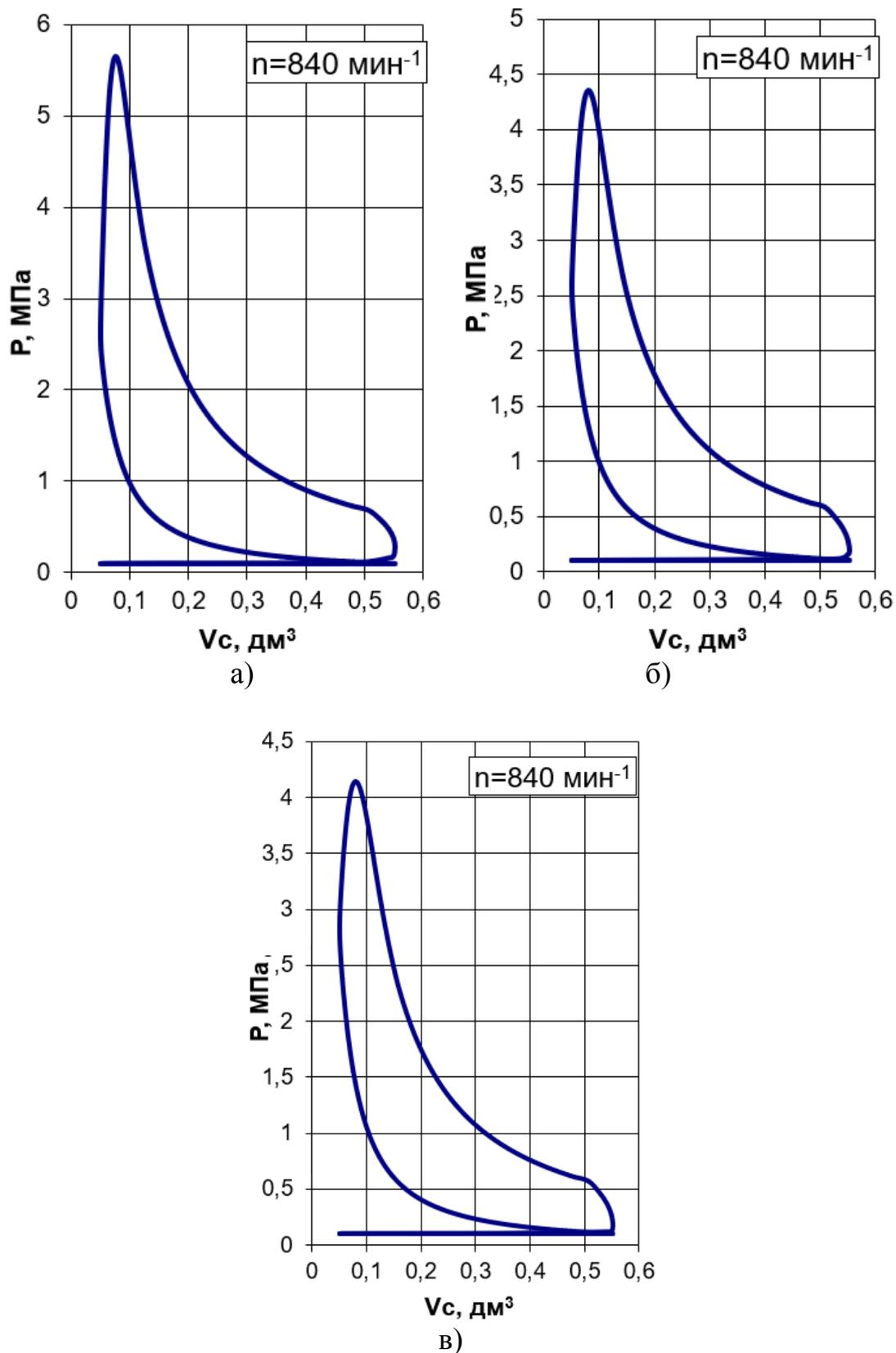


Рисунок 28 – Индикаторные диаграммы в P-V координатах для скоростного режима 840 мин^{-1} при работе на: (а) бензине; (б) КПГ и (в) компримированном биометане

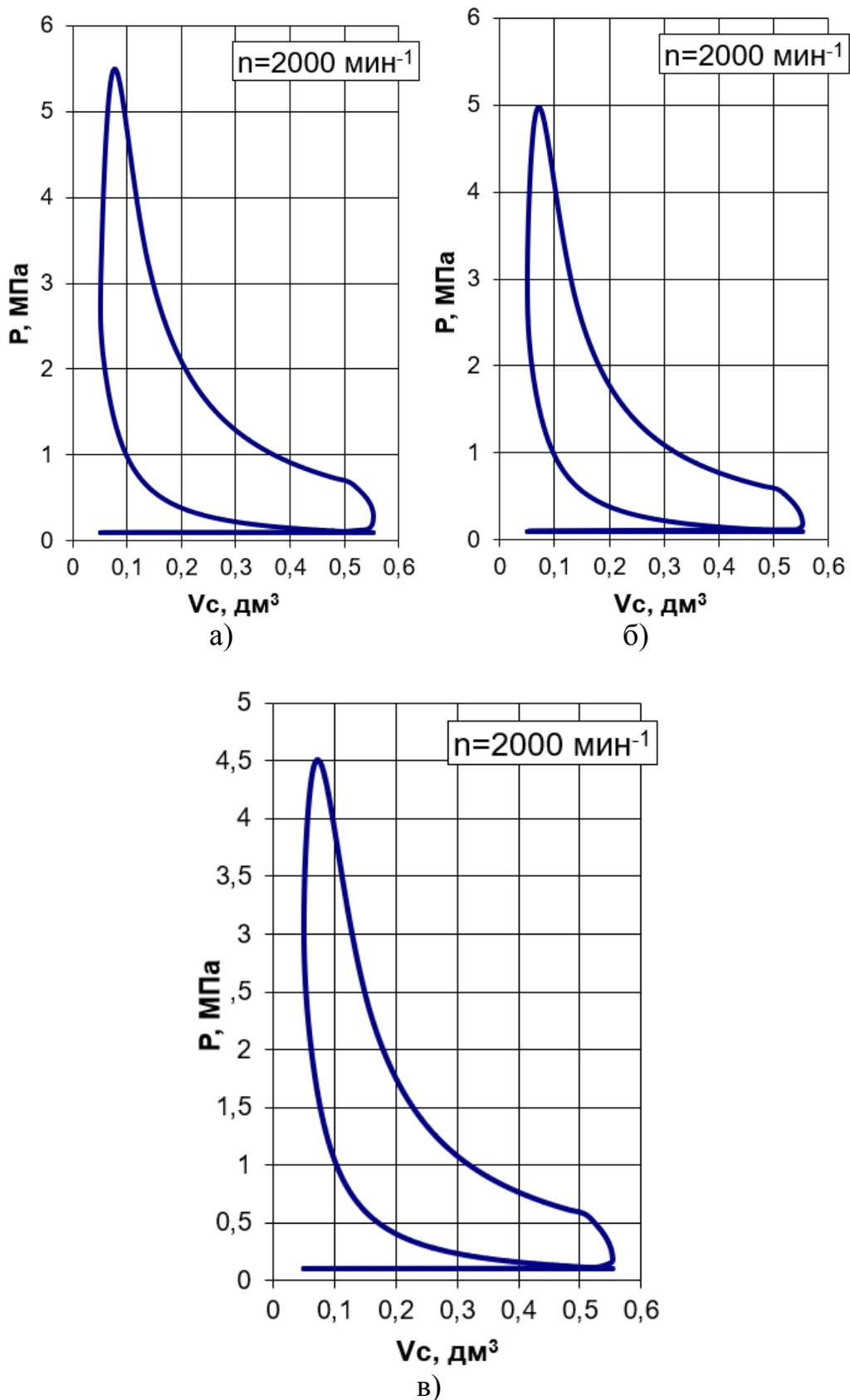


Рисунок 29 – Индикаторные диаграммы в P-V координатах для скоростного режима 900 мин^{-1} при работе на: (а) бензине; (б) КПГ и (в) компримированном биометане

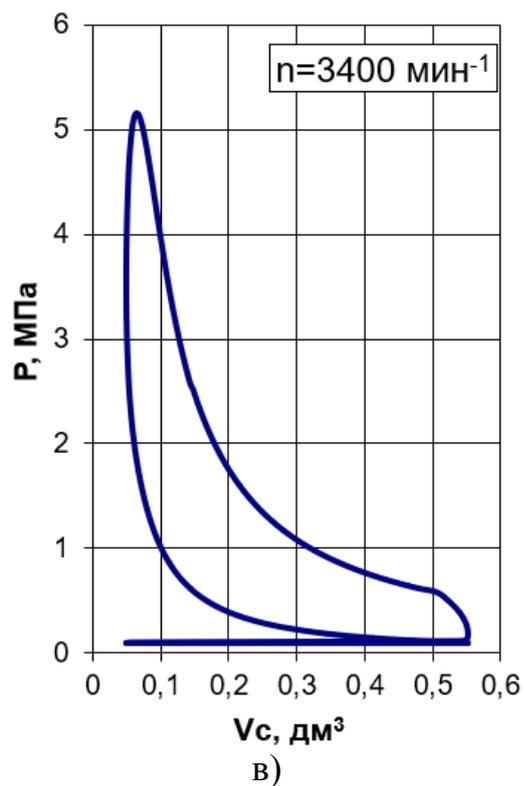
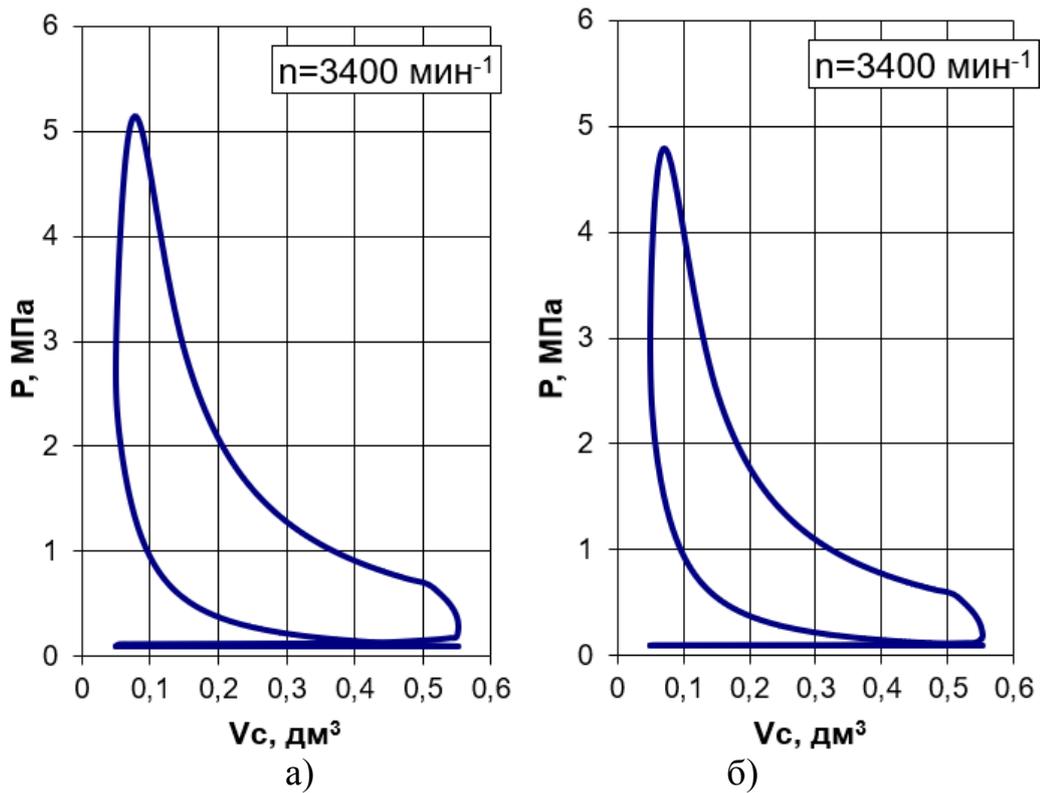


Рисунок 30 – Индикаторные диаграммы в P - V координатах для скоростного режима 1200 min^{-1} при работе на: (а) бензине; (б) КПГ и (в) компримированном биометане

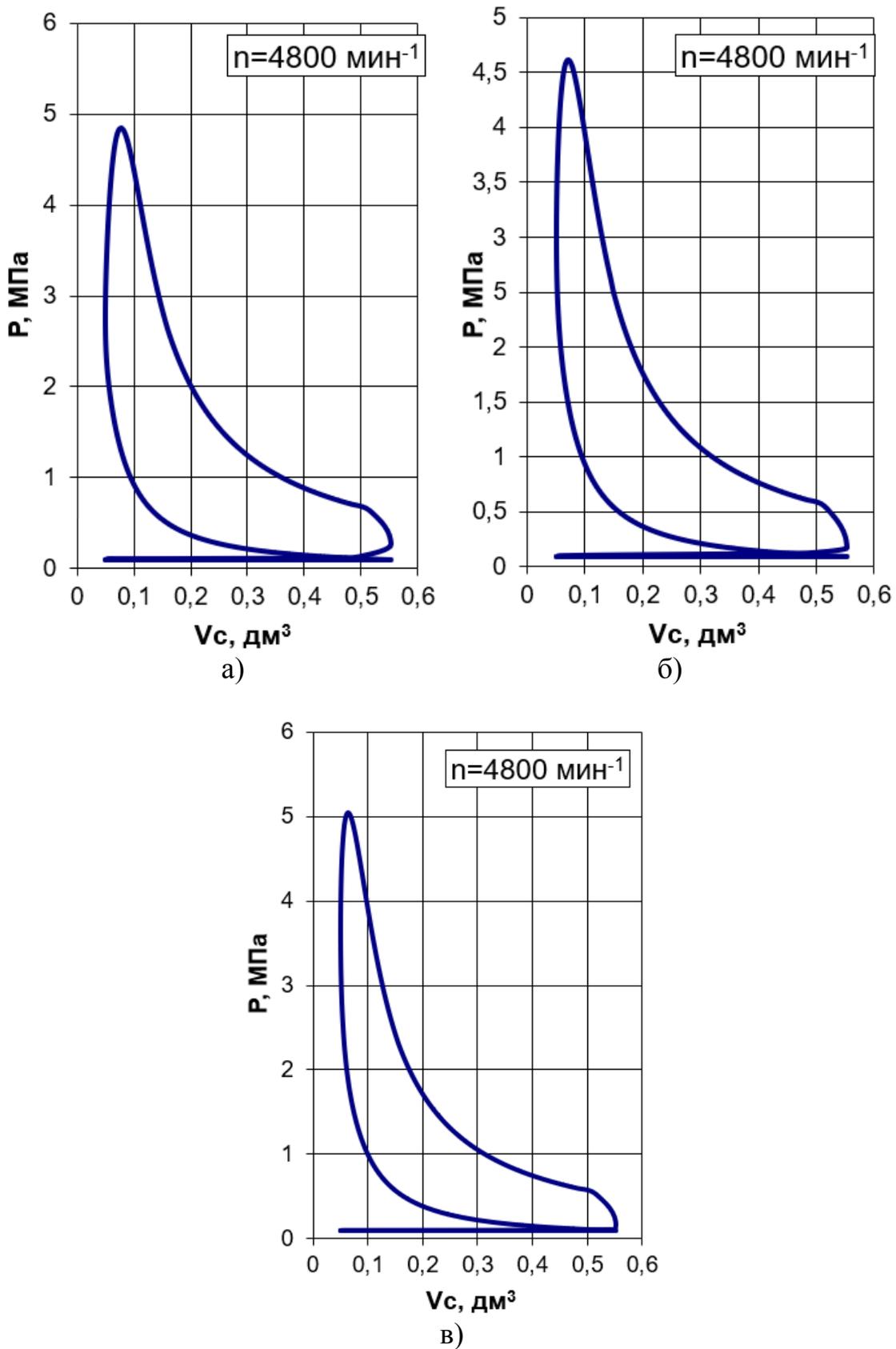


Рисунок 31 – Индикаторные диаграммы в P-V координатах для скоростного режима 1600 мин^{-1} при работе на: (а) бензине; (б) КПГ и (в) компримированном биометане

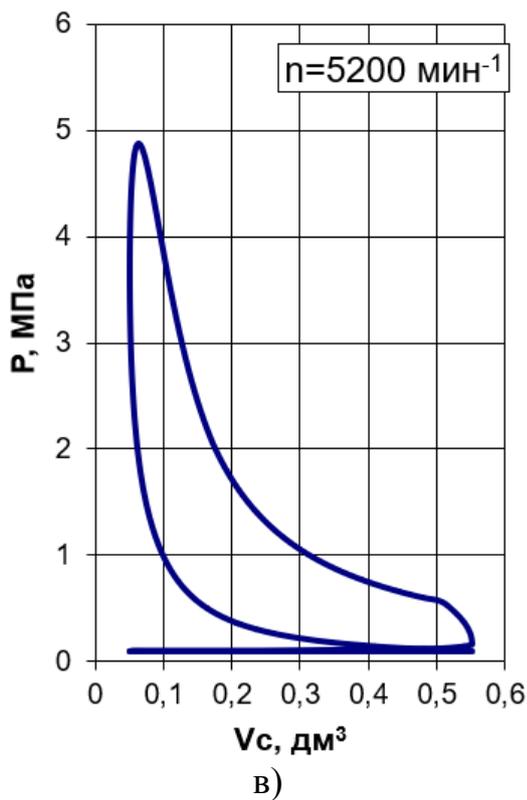
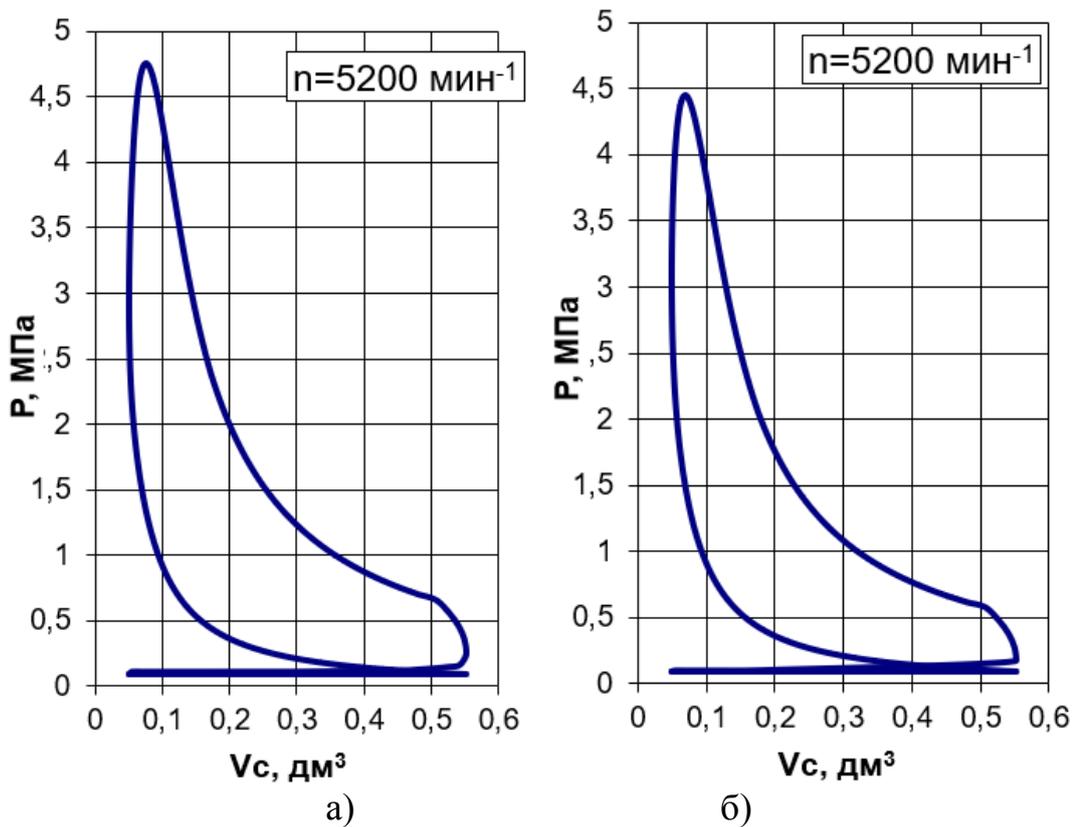


Рисунок 32 – Индикаторные диаграммы в P-V координатах для скоростного режима 2000 мин^{-1} при работе на: (а) бензине; (б) КПГ и (в) компримированном биометане

Для оценки токсичности проведем сравнение изменения температуры в процессе сгорания (рисунки 33 – 37).

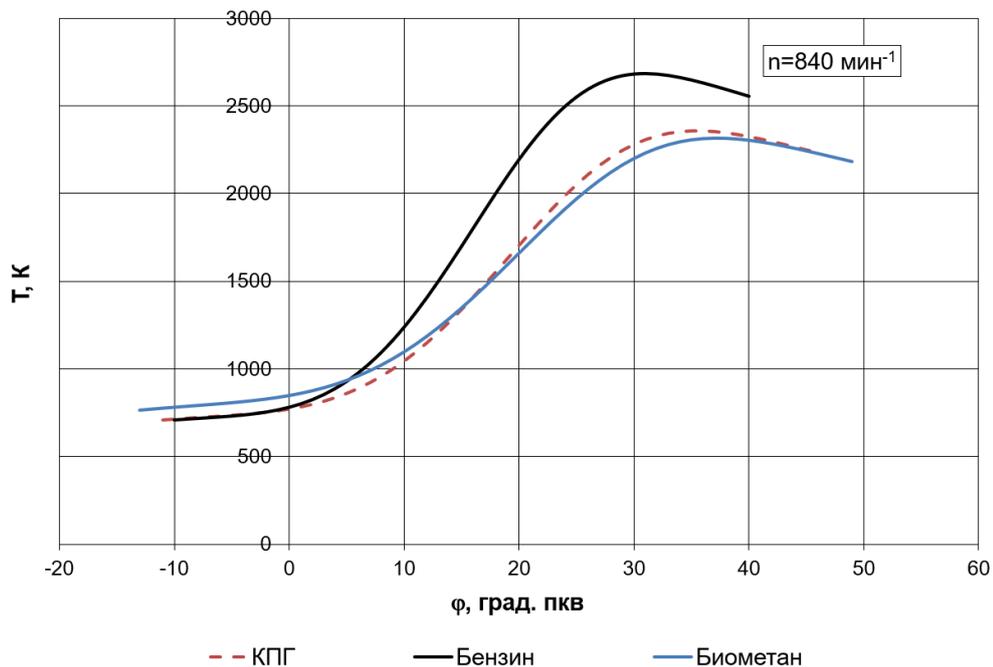


Рисунок 33 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 840 мин⁻¹

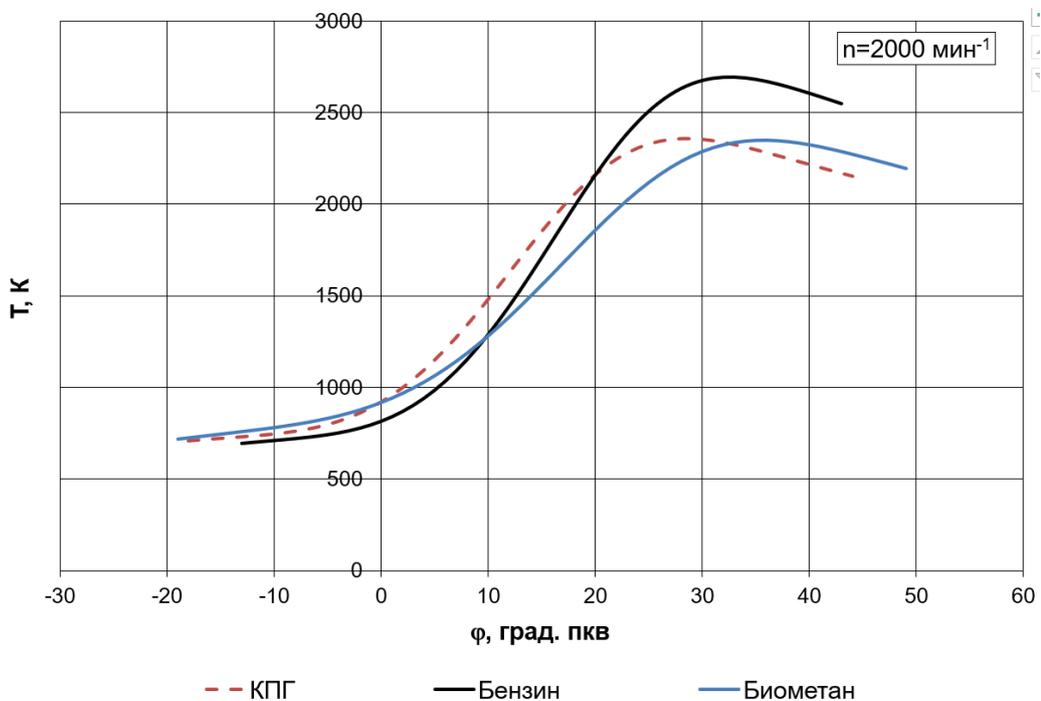


Рисунок 34 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 2000 мин⁻¹

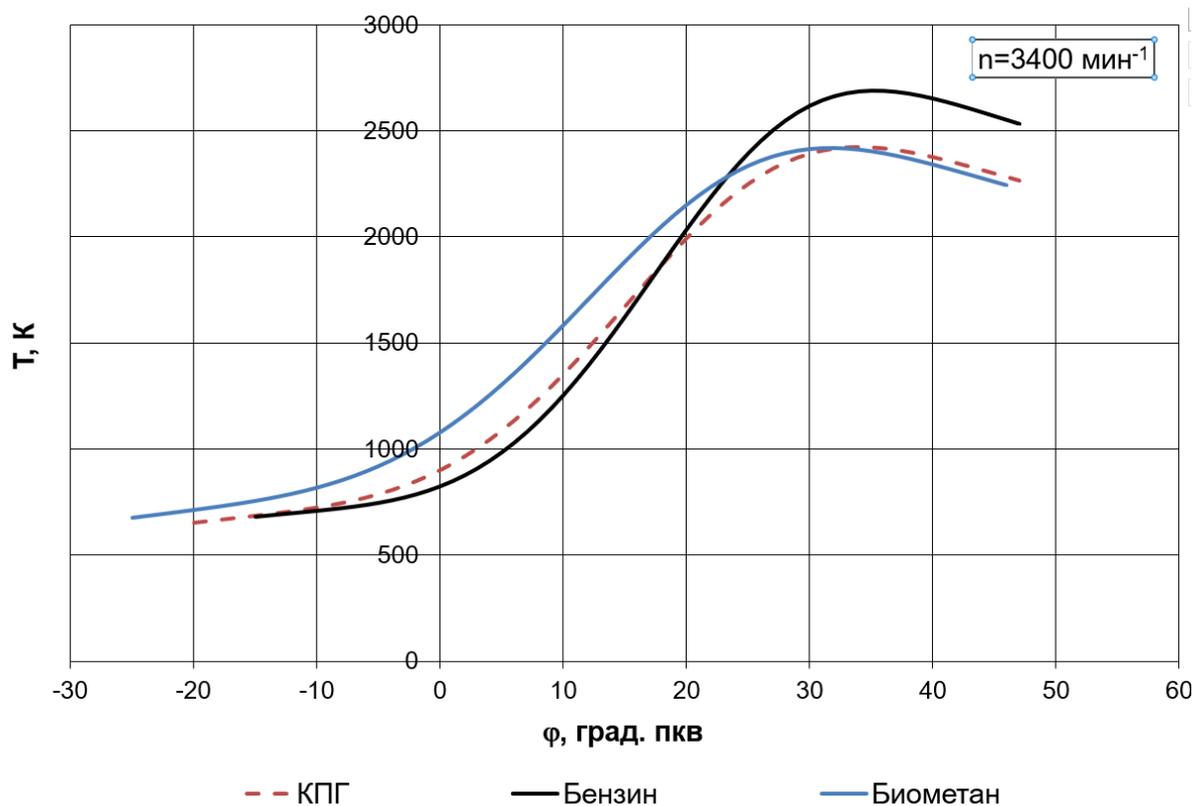


Рисунок 35 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 3400 мин^{-1}

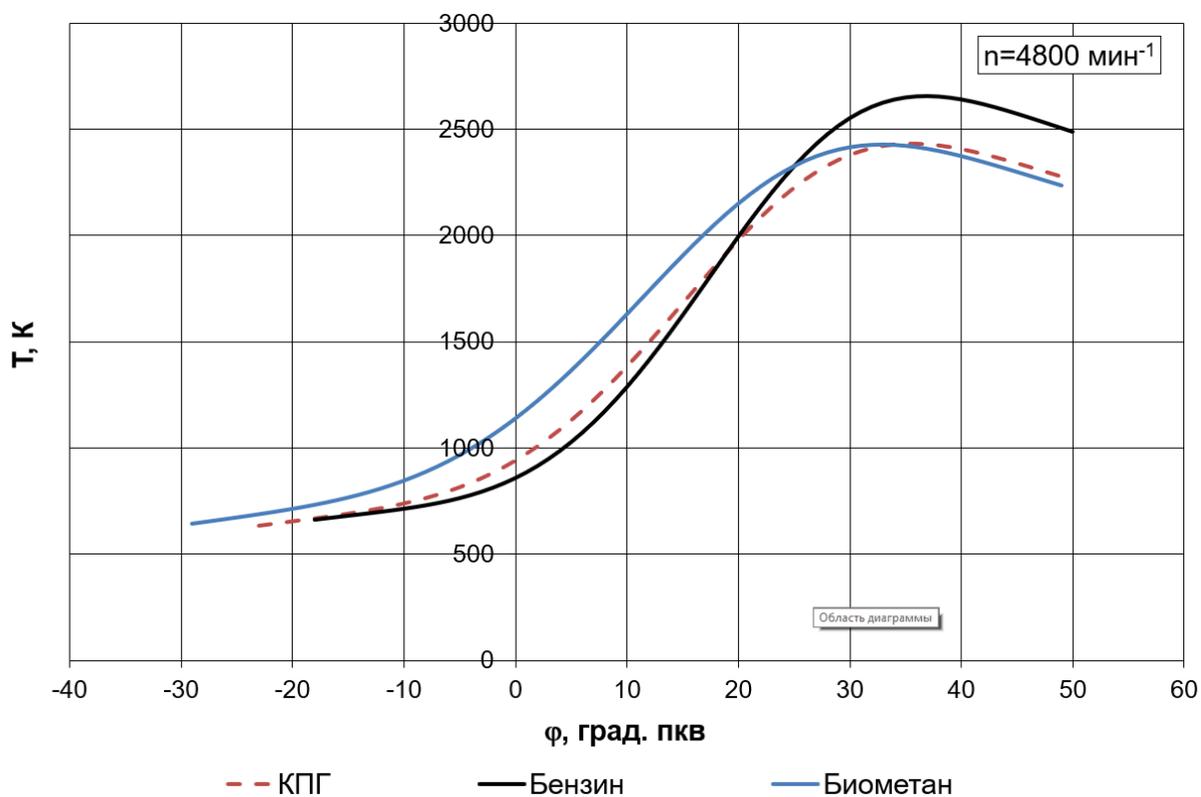


Рисунок 36 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 4800 мин^{-1}

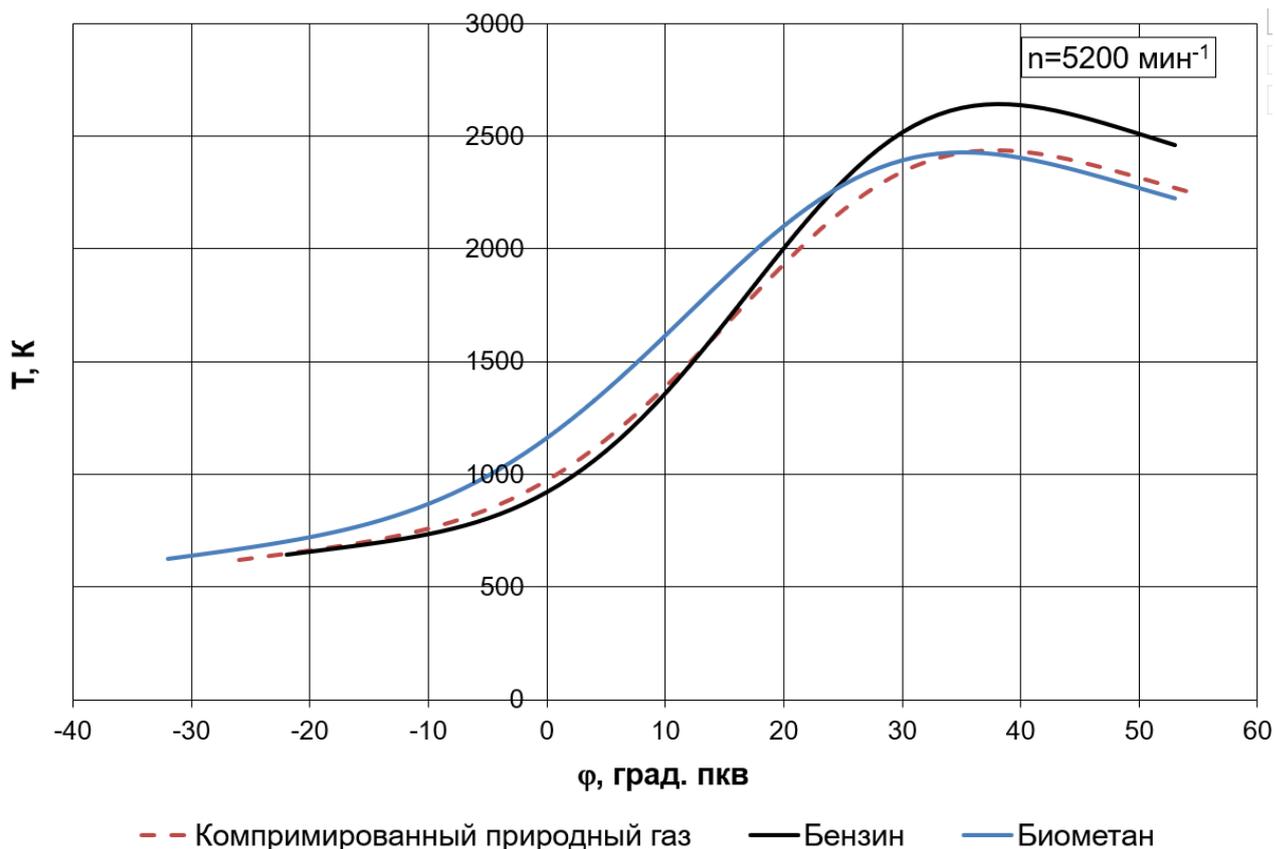


Рисунок 37 – Средняя температура в цилиндре двигателя во время сгорания для скоростного режима 5200 мин⁻¹

Проводя анализ средней температуры в цилиндре двигателя во время сгорания по рисункам 33 – 37, можно отметить, что максимальная температура соответствует рабочему процессу на бензине, что соответствует большему энергетическому заряду, вводимому в цилиндр двигателя при работе на бензине на впуске, по сравнению с газовыми топливами, где происходит вытеснение части воздуха газовым топливом. Сравнивая рабочий процесс для компримированного природного газа и биометана, следует отметить, что у биометана ниже объемная энергоемкость стехиометрической смеси, что требует более раннего угла опережения зажигания. Более раннее зажигание позволяет биометану показывать такие же максимальные температуры как и при работе на КПГ.

4.2 Влияния вида топлива (бензин, КПГ и биометан) на эффективные показатели цикла

Проводить анализ эффективных показателей работы двигателя правильнее всего по графическому изображению внешней скоростной характеристики (рисунки 38 – 40). Для биометана наглядно видно (рисунок 38), наличие максимума крутящего момента для частоты вращения 3400 мин⁻¹. С увеличением частоты вращения крутящий момент снижается.

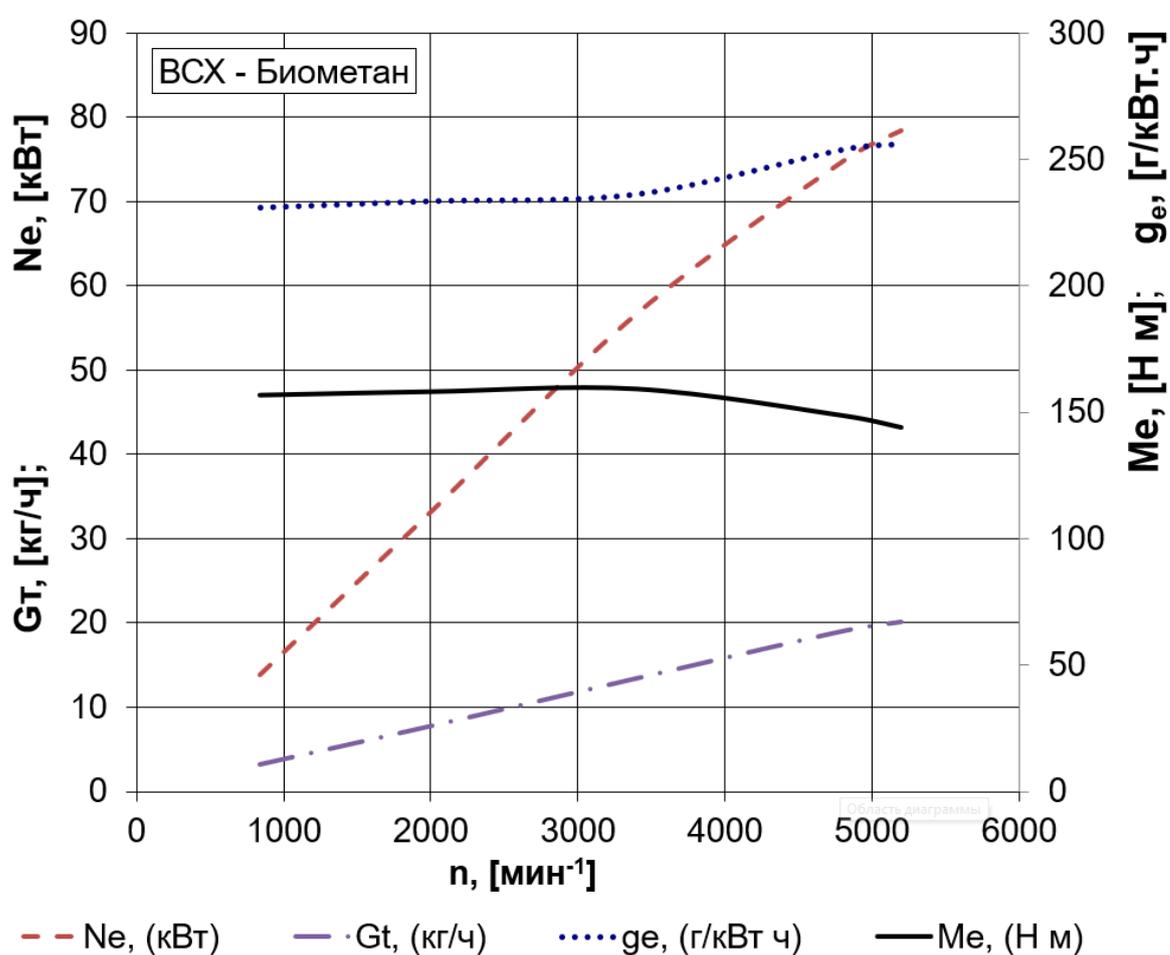


Рисунок 38 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием при работе на сжатом биометане

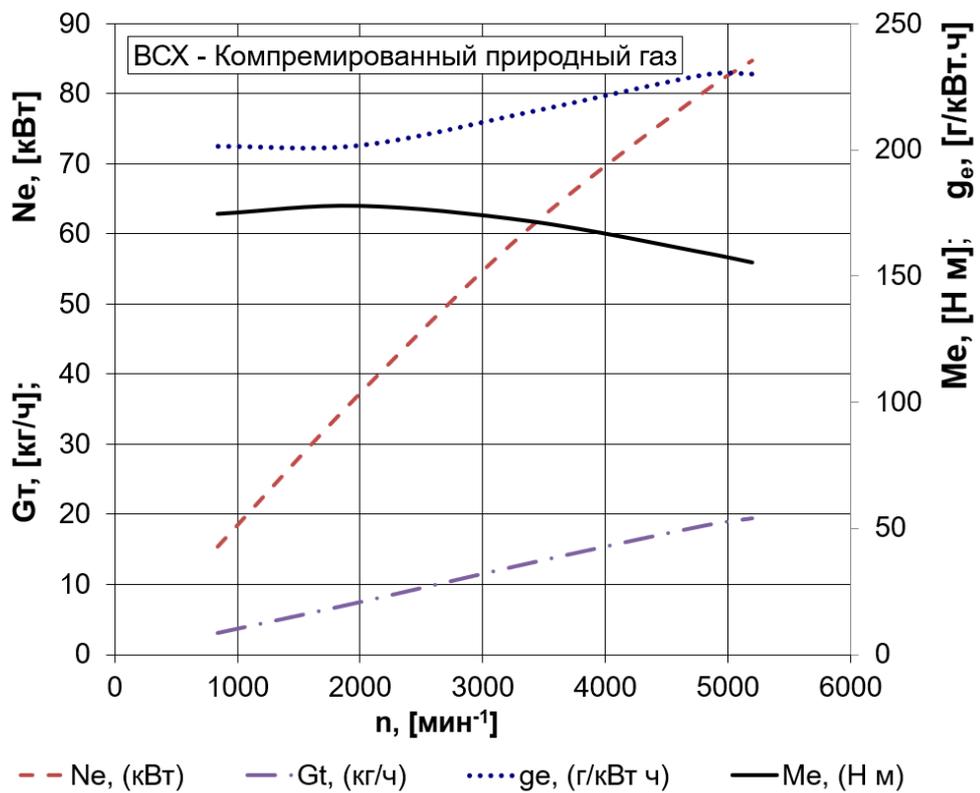


Рисунок 39 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием при работе на КПГ

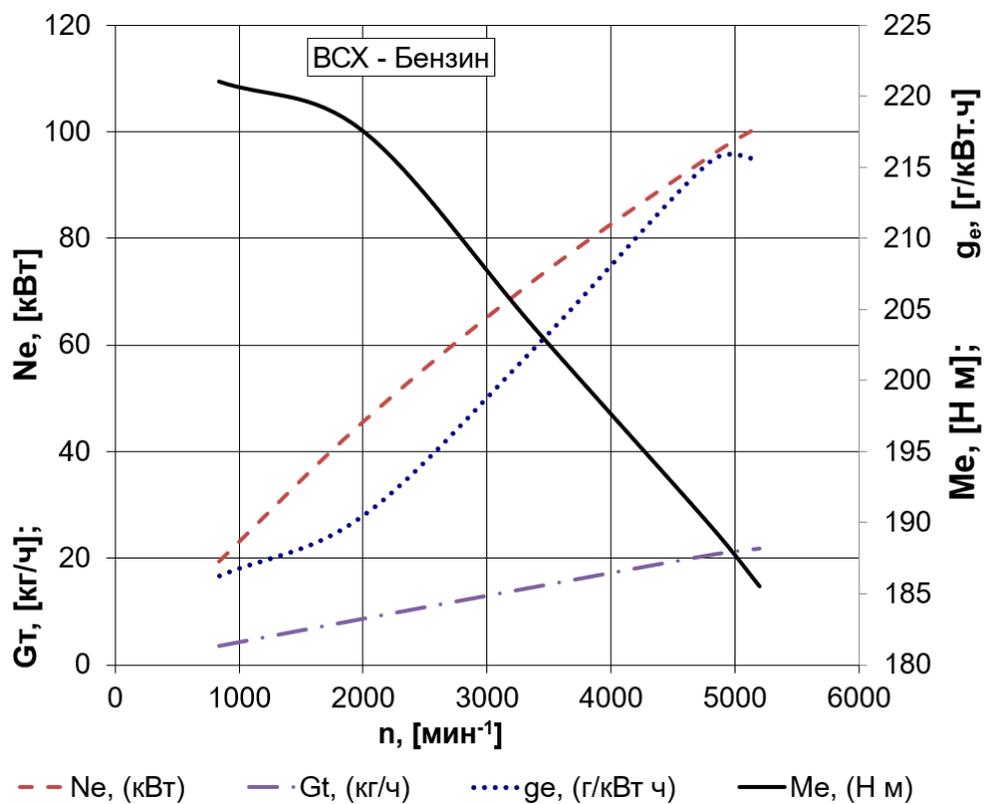


Рисунок 40 – Внешняя скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием при работе на бензине

Из графиков внешней скоростной характеристики видно наличие высоких крутящих моментов на низких частотах вращения. Особенно это заметно для условий работы на бензине (рисунок 40), где видно, что крутящий момент с ростом оборотов падает на 20%.

Наглядно распределение тепловых потерь хорошо иллюстрируют графики внешнего теплового баланса (рисунки 41 и 42). На графиках отчетливо видно увеличении доли тепла отданного в систему охлаждения при работе на газовом топливе. Также видно наличие высоких потерь с отработавшими газами, что говорит о более высоких температурах отработавших газов и лучших условиях прогрева каталитического нейтрализатора при работе на бензине.

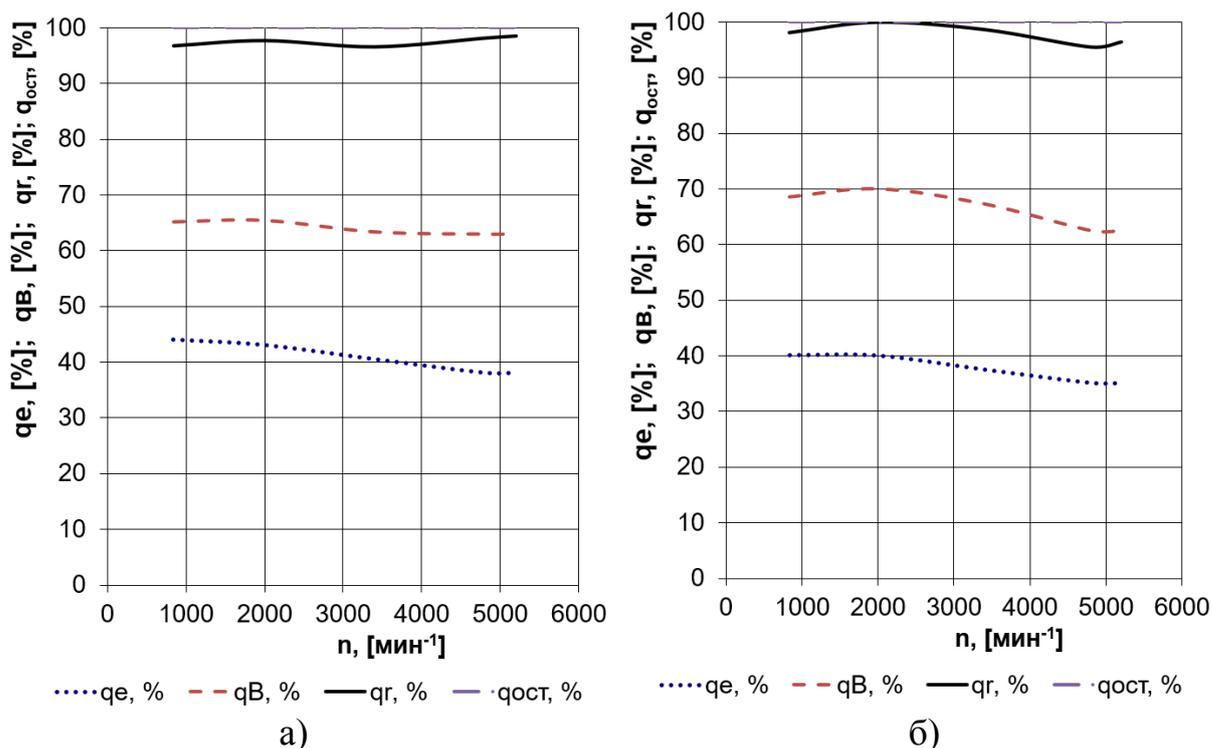


Рисунок 41 – Внешний тепловой баланс при работе на: (а) бензине; (б) компримированный природный газ

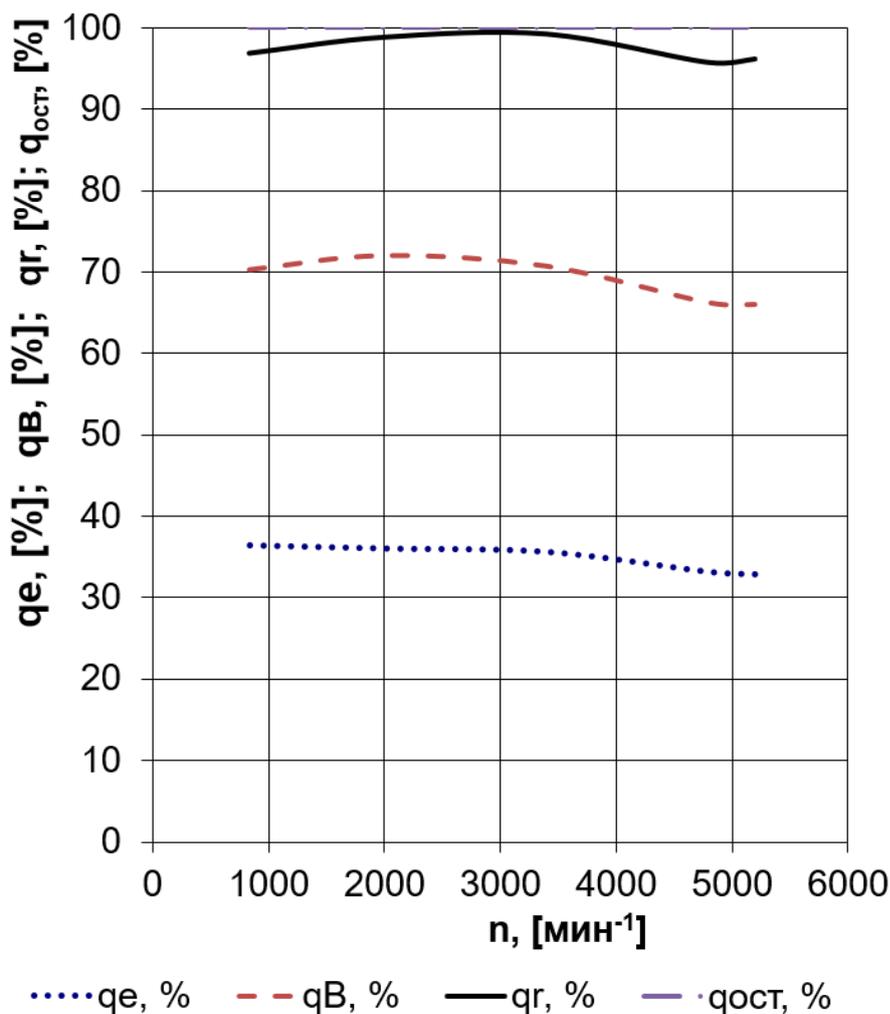


Рисунок 42 – Внешний тепловой баланс при работе на сжатом биогазе

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, что для эффективной работы двигателя на биогазе и природном газе необходимо более точно подбирать углы опережения зажигания и по возможности повысить температуру охлаждающей жидкости, что снизит тепловые потери. Также возможен вариант впрыска газа в начале такта сжатия непосредственно в цилиндр двигателя, это позволит снизить потери при наполнении и лучше реализовать заложенный в газовое топливо потенциал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведен анализ влияния биотоплива в виде биометана на рабочий процесс двухтопливного ДВС, работающего на КППГ и бензине. Получены основные выводы по работе:

1. Использование биометана связано с очень низкими выбросами парниковых газов, если они производятся посредством газификации биомассы, или даже с отрицательными выбросами парниковых газов при производстве из субстратов, таких как органические бытовые отходы или навоз (в противном случае выделяется метан в процессе его разложения).
2. Для биометан при его цене на заправочных станциях порядка 12 руб за 1 м³ или 15 руб за 1 кг. Эти расчеты показывают экономическую эффективность применения биометана в качестве хотя бы второго топлива в двухтопливных двигателях для начала развития этого направления.
3. При переходе двигателя с жидкого топлива (бензина) на газовое привел к снижению нагрузок в среднем на 8-10%, что показывает возросший ресурс и возможности форсирования двигателя при работе на газовом топливе. Для полноценного использования газового топлива эффективно было-бы применять агрегатный наддув со степенью повышения давления 1,6-1,8 с охладителем надувочного воздуха. Это бы позволило повысить эффективность работы на низких нагрузках и при переходе на газовое топливо с октановым числом около 120.
4. Проведенный анализ показал, что для эффективной работы двигателя на биогазе и природном газе необходимо более точно подбирать углы опережения зажигания и по возможности повысить температуру охлаждающей жидкости, что снизит тепловые потери. Также возможен вариант впрыска газа в начале такта сжатия непосредственно в цилиндр двигателя, это позволит снизить потери при наполнении и лучше реализовать заложенный в газовое топливо потенциал.

Выводы по 1-му разделу

Для того чтобы использовать биогаз в автомобилях его необходимо очистить, так как сжигание не очищенного биогаза приводит к поломке двигателя автомобиля. Очистка биогаза – это процесс удаления диоксида углерода (CO_2) из исходной смеси, который увеличивает содержание метана (CH_4) в полученном газе, и его очистку от сероводорода, воды и других микропримесей. Обработка позволяет адаптировать параметры качества биогаза к параметрам природного газа.

Биометан – привлекательное топливо, доступное сейчас для поддержки перехода от обычных видов топлива к перспективным альтернативным топливам (новое биотопливо, водород и т. д.).

Использование биометана связано с очень низкими выбросами парниковых газов, если они производятся посредством газификации биомассы, или даже с отрицательными выбросами парниковых газов при производстве из субстратов, таких как органические бытовые отходы или навоз (в противном случае выделяется метан в процессе его разложения).

Выводы по 2-му разделу

Тепловой расчет показал значительное влияние вида топлива на мощностные и экономические характеристики работы. Получено, что для эффективного использования природного газа требуется повысить степень сжатия, что приводит к необходимости организовывать дросселирование при работе на бензине при низких частотах вращения. А без повышения степени сжатия перевод двигателя на газовое топливо, причем не принципиально природный газ или биометан, мощностные характеристики работы двигателя снижаются на 17%, а удельный эффективный расход топлива возрастает на 7 и 15 процентов при работе на сжатом природном газе и биометане соответственно.

С учетом меньшей стоимости газового топлива 1 м^3 – 16 руб, по сравнению с бензином 1 л – 43 руб, при пересчёте на 1 кг получаем 19,3 руб за сжатый природный газ и 56,6 руб за 1 кг бензина Аи-92.

Таким образом получаем двухкратное снижение стоимости расхода горючего при переходе на газовое топливо. А для биометан при его себестоимости 4 руб за 1 м³, и цене на заправочных станциях порядка 12 руб за 1 м³ или 15 руб за 1 кг. Эти расчеты показывают экономическую эффективность применения биометана в качестве хотя бы второго топлива в двухтопливных двигателях для начала развития этого направления.

Выводы по 3-му разделу

Как мы видим переход двигателя с жидкого топлива (бензина) на газовое привел к снижению нагрузок в среднем на 8-10%, что показывает возросший ресурс и возможности форсирования двигателя при работе на газовом топливе. Для полноценного использования газового топлива эффективно было-бы применять агрегатный наддув со степенью повышения давления 1,6-1,8 с охладителем надувочного воздуха. Это бы позволило повысить эффективность работы на низких нагрузках и при переходе на газовое топливо с октановым числом около 120.

Помимо снижения нагрузки на элементы кривошипно-шатунного механизма, переход на газовое топливо улучшает условия смазывания поршневой группы за счет того, что газ не смывает микрослой смазки с зеркала цилиндра, который позволяет двигаться поршню с меньшими потерями на износ и трение, при лучшем теплоотводе.

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, что для эффективной работы двигателя на биогазе и природном газе необходимо более точно подбирать углы опережения зажигания и по возможности повысить температуру охлаждающей жидкости, что снизит тепловые потери. Также возможен вариант впрыска газа в начале такта сжатия непосредственно в цилиндр двигателя, это позволит снизить потери при наполнении и лучше реализовать заложенный в газовое топливо потенциал.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. 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.
3. Au, M. Hydrogen storage properties of magnesium based nanostructured composite materials / M. Au // *Materials Science and Engineering*. - 2005. - Т. 117. - №1. - С. 37-44.
4. 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
5. 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
6. Chmela, F., Dimitrov, D. Simulation der Verbrennung bei Vorkammer-Großgasmotoren. in: 11. Tagung Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors. Graz. 2007.
7. Chmela, F., Dimitrov, D., Pirker, G., Wimmer, A.: Konsistente Methodik zur Vorausrechnung der Verbrennung in Kolbenkraftmaschinen. *MTZ Motortechnische Zeitschrift* 67 (2006) 6.
8. 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.
9. Dobski, T., Wawrzyniak, J., Jancy, B.: Combustion of Low Calorific Natural gases in Gas Engines in Pipeline Gas Transportation Systems. in: 5. Dessauer Gasmotoren-Konferenz. Dessau. 2007.

10. Duranti, A. *Ethnography of Speaking: Toward a Linguistics of praxis* / A. Duranti // *Linguistics: The Cambridge Survey*. – Cambridge, 1988. – PP. 210-228.
11. Haslacher, R., Skalla, Ch., Jauk, Th., Eichlseder, H.: *Einsatz optischer Messmethoden bei der Entwicklung von Brennverfahren für Wasserstoff-Erdgas-Gemische*. in: 6. Dessauer Gasmotorenkonferenz. Dessau-Roßlau. 2009.
12. 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
13. 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
14. 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.
15. K.C. Taylor, “Automotive Catalytic Converters” (PCP-192, GMR-4190), GM Research Laboratories, October 8, 1982.
16. L.L. Hegedus and J.J. Gumbleton, “Computer-Controlled Catalytic Converters” (PC-126), GM Research Laboratories, July 18, 1979.
17. Lönnqvist, T.; Sanches-Pereira, A.; Sandberg, T. *Biogas potential for sustainable transport—a Swedish regional case*. *J. Clean. Prod.* 2015, 108, 1105–1114.
18. Lyng, K.A.; Brekke, A. *Environmental Life Cycle Assessment of Biogas as a Fuel for Transport Compared with Alternative Fuels*. *Energies* 2019, 12, 532.
19. Вибе, И.И. *Уточненный тепловой расчет двигателя* / И.И. Вибе // *М. Машиностроение*, 1971. - с.282
20. Долин П.А. *«Справочник по технике безопасности»*. М.: Энергоатомиздат, 1985.

- 21.Каталитический нейтрализатор. Описание и применение. Информационный материал, подготовленный Exhaust Systems Engineering AC Spark Plug Division General Motors Corporation.
- 22.Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа 1980. - с.496.
- 23.Кузнецов Ю.М. «Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта». М.: Транспорт, 1986.
- 24.Луканин В.Н. «Промышленная транспортная экология». М.: Высшая школа, 2001.
- 25.Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями. Т.У. Асмус, К. Боргнакке, и др.; под ред. Д. Хиллиарда, Дж.С. Спрингера; Пер с англ. А.М. Васильева; под ред. А.В. Кострова. – М.: Машиностроение, 1988.