

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 Повышение надежности силовых установок транспортных средств

Студент

М.С. Александрин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Д.А. Павлов

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

Тольятти 2022

АННОТАЦИЯ

Устойчивый, интенсивный рост автотранспорта способствует усилению техногенного прессинга на природу и человека. С научно-техническим прогрессом неразрывно связаны как рост сложности и разнообразия технических объектов, так и повышение требований к эффективности их функционирования. Эти требования удовлетворяются в той или иной мере на всех этапах существования объекта диагностирования (ОД) (проектирование, производство, использование по назначению). Одним из определяющих показателей эффективности работы ОД считается его надежность.

Целью бакалаврской работы является оценка возможностей повышения надежности силовых установок транспортных средств.

В бакалаврской работе представлены результаты проектирования двигателя с искровым зажиганием на базе двигателя ВАЗ-11186 с оценкой повышения надежности силовых установок транспортных средств. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка состоит из аннотации, введения, 4 разделов, заключения с основными результатами и выводами, содержит 21 рисунок, 11 таблиц, списка использованных источников (37 источников). Основной текст изложен на 55 страницах.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Основы обеспечения надежности двигателей и силовых установок	6
2 Тепловой расчет проектируемого двигателя	12
3 Кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя	27
3.1 Кинематический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя.....	27
3.2 Динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя	29
4 Анализ повышение надежности модернизированной силовой установки транспортного средства на базе двигателя ВАЗ-11186	36
4.1 Повышение надежности элементов кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы модернизированной силовой установки транспортного средства на базе двигателя ВАЗ-11186.....	37
4.2 Повышение надежности элементов механизма газораспределения и системы питания модернизированной силовой установки транспортного средства на базе двигателя ВАЗ-11186.....	43
Заключение	50
Список используемых источников	52

ВВЕДЕНИЕ

Надежность - это свойство объекта, в том числе автомобиля или его составной части, сохранять во времени в установленных пределах значение всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность как свойство характеризует и позволяет количественно оценивать, во-первых, текущее техническое состояние автомобиля и его составных частей, а во-вторых, насколько быстро происходит изменение их технического состояния при работе в определенных условиях эксплуатации.

Надежность является комплексным свойством автомобиля и его составных частей и включает в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Это свойство обеспечивается на этапах проектирования и производства и поддерживается в период его эксплуатации. Наряду с усовершенствованием структурных схем отдельных устройств и систем в целом, применением высоконадежных элементов и структурного резервирования, снижением нагрузки и стабилизацией условий эксплуатации ОД мощным средством поддержания необходимого уровня надежности является научная организация процесса эксплуатации ОД. В ней особая роль принадлежит диагностированию, по результатам которого определяется действительное техническое состояние ОД и характер его изменения с течением времени.

В процессе эксплуатации автомобиля в результате воздействия на него целого ряда факторов (воздействие нагрузок, вибраций, влаги, воздушных потоков, абразивных частиц при попадании на автомобиль пыли и грязи, температурных воздействий и т. п.) происходит необратимое ухудшение его технического состояния, связанное с изнашиванием и повреждением его

деталей, а также изменением ряда их свойств (упругости, пластичности и др.).

Изменение технического состояния автомобиля обусловлено работой его узлов и механизмов, воздействием внешних условий и хранения автомобиля, а также случайными факторами. К случайным факторам относятся скрытые дефекты деталей автомобиля, перегрузки конструкции и т. п.

Основными постоянно действующими причинами изменения технического состояния автомобиля при его эксплуатации являются изнашивание, пластические деформации, усталостные разрушения, коррозия, а также физико-химические изменения материала деталей (старение).

Предотвращение внезапного отказа устройства (узла, агрегата, автомобиля) является важной задачей служб эксплуатации для сокращения затрат на ремонт и восстановление, а также экономических потерь.

1 Основы обеспечения надежности двигателей и силовых установок

Проблема обеспечения надёжности и ресурса неразрывно связана с конструированием, доводкой, производством и эксплуатацией техники.

Цитирую академика, генерального конструктора Н.Д.Кузнецова [1-3]: "Надёжность и ресурс закладываются на этапе проектирования, обеспечиваются в производстве, достигаются при доводке, совершенствуются и реализуются в эксплуатации".

Неразрывным с проблемой обеспечения надежности является и проблема доказательства, что изделие обладает требуемой надёжностью. Недостаточная надёжность конструкции приводит к огромным затратам на ремонт, перебоям в эксплуатации.

По данным на 1984г, а они, очевидно, не изменились и сейчас на ремонт израсходовано почти 20% всех черных металлов, в ремонтных цехах занято 25% всего станочного парка страны и 6 млн. рабочих. Дополнительно следует учесть, что при недостаточных надёжности и ресурсе машины должны изготавливаться в большем чем нужно количестве. Увеличивается количество и объем регламентных работ, удорожается эксплуатация.

Надёжность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах все параметры, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации.

Теория надёжности является комплексной дисциплиной и состоит из разделов:

- математическая теория надёжности;
- надёжность по отдельным физическим критериям отказов ("физика" отказов);
- расчет и прогнозирование надёжности;
- методы обеспечения и мероприятия по повышению надёжности;

- контроль и доказательство надёжности (методы проведения испытаний, статистический контроль, организация наблюдений);

- техническая диагностика;

- теория восстановления;

- экономика надёжности.

В теории надёжности рассматриваются следующие обобщенные объекты:

- изделие - единица продукции, выпускаемая данным предприятием, цехам и т.д.;

- элемент - составная часть изделия;

- система - совокупность совместно работающих элементов.

Понятия элементов могут меняться в зависимости от поставленной задачи исследования надёжности. Если исследуется надёжность какого-либо агрегата, то элементам будут его отдельные узлы или детали, например, подшипники. При исследовании надёжности двигателя в целом его элементами уже будут отдельные агрегаты, например, система регулирования в целом, компрессор, и т.д.

Изделия делят на восстанавливаемые и не восстанавливаемые.

Примером восстанавливаемого изделия может служить топливный насос высокого давления (ТНВД), который при проявлении дефекта может быть отремонтирован.

Невосстанавливаемое изделие - изделие, которое при проявлении дефекта невозможно, или нецелесообразно восстанавливать, например подшипник или какое другое относительно простое изделие.

Сложные изделия, состоящие из многих элементов, как правило восстанавливаемые, т.к. их отказы обычно связаны с повреждением одного или немногих элементов, в то время как другие остаются работоспособными. Простые элементы, как правило покупные, и изготавливаемые методами массового производства, как правило, не восстанавливаются.

Основные понятия и термины теории надёжности стандартизованы.

Надёжность изделий характеризуется следующими основными состояниями и событиями.

Работоспособность – состояние изделия, при котором оно способно нормально выполнять заданные функции с параметрами, установленными технической документацией. Работоспособность не касается требований, непосредственно не касающихся эксплуатационных характеристик, например повреждение внешнего вида и т.д.

Исправность – состояние изделия, при котором оно удовлетворяет не только основным, но и вспомогательным требованиям. Исправное изделие обязательно работоспособно.

Неисправность – состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технической документации. Различают неисправности, не приводящие к отказам и неисправности и их сочетания, приводящие к отказам.

Отказ – событие, заключающееся в полной или частичной утрате работоспособности.

Отказы делятся на функциональные при которых выполнение изделием своих функций прекращается (например поломка какой либо ответственной детали двигателя, разрушение лопатки компрессора или турбины, зуба шестерни, трубопровода и т.д.) и отказы параметрические, при которых некоторые параметры изделия изменяются в недопустимых пределах (например, увеличение расхода топлива, повышение эмиссии вредных выбросов из камеры сгорания и т. д.) но выполнение основных функций изделием принципиально возможно.

Для оценки качества изделия введен также термин "дефект". Дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям нормативной документации. Термин "дефект" отличен от терминов "неисправность" и "отказ" и больше относится к отдельным элементам изделия, а "неисправность" и "отказ" к изделию в целом. Изделие, находясь в неисправном состоянии может иметь один или несколько дефектов. Отказ

может возникнуть в результате появления в изделии одного или нескольких дефектов, но появление дефектов не всегда означает отказ.

Причины отказов делятся на случайные и систематические.

Случайные отказы – непредусмотренные перегрузки, дефекты материала, погрешности изготовления и т.д. не обнаруженные контролем.

Систематические отказы – закономерные явления, вызывающие постепенное накопление повреждений: коррозия, старение, износ, усталость, истощение длительной прочности и т.д.

В соответствии с этими причинами и характером развития отказы делятся на внезапные (поломки от дефектов в материале, перегрузок и т.д.), постепенные по развитию и внезапные по проявлению (усталостное развитие трещины), постепенные (износ, старение, коррозия и т.д.).

Внезапные отказы в следствии своей неожиданности более опасные, чем постепенные.

По причинам возникновения отказы и дефекты можно разделить на:

- конструкционные (прочностные), в виде поломок отдельных деталей и узлов;
- параметрические, связанные с необеспечением заданных параметров двигателя;
- производственные (технологические), связанные с некачественным изготовлением;
- эксплуатационные, которые связаны с нарушением регламента эксплуатации или нештатными условиями работы двигателя, например, попаданием посторонних предметов во впускную систему двигателя и т.д.

По своим последствиям отказы могут быть легкими - легкоустраняемыми, средними - не вызывающими разрушений других узлов и тяжелыми – вызывающими вторичные разрушения, а иногда и человеческие жертвы.

По сложности устранения различают отказы - устранимые в порядке технического обслуживания изделия, или при ремонте – среднем или капитальном.

Основными показателями надёжности изделия являются показатели безотказности, ремонтпригодности, долговечности, сохраняемости.

Безотказность – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течении заданного времени.

Основным показателем долговечности двигателей, влияющим на экономичность эксплуатации, является их ресурс.

Ресурс определяется как наработка двигателя до достижения им предельного состояния, при котором эксплуатация его невозможна или нежелательна из-за снижения эффективности.

До исчерпания ресурса могут быть дефекты отдельных деталей в некоторых двигателях. Такие дефекты являются не ресурсными и вызываются, как правило, технологическими отклонениями в производстве или нарушениями регламентированных условий эксплуатации. Основным признаком не ресурсного дефекта является проявление его вне зависимости от наработки двигателей, в то время как ресурсные дефекты начинают проявляться в массовом количестве только после определенной и примерно одинаковой наработки.

Нормальная эксплуатация характеризуется постоянством величины "параметра потоков отказов".

В соответствии с положениями регламентируются следующие виды ресурсов и наработок:

- назначенный ресурс,
- эксплуатационный ресурс.

Регламентируются также назначенные ресурсы основных деталей и узлов двигателя.

При эксплуатации двигателей по техническому состоянию (ЭТС) дополнительно вводятся понятия:

- гарантийный ресурс,
- гарантийная наработка,
- разрешенная наработка при ЭТС (для особо ответственных силовых установок).

Все виды ресурсов устанавливаются в часах общей наработки или в других единицах (в том числе условных), отражающих процесс накопления повреждений и истощения ресурса деталей под действием каких-либо факторов, вычисляемых через контролируемые в эксплуатации параметры работы двигателя.

Назначенный ресурс двигателя (НР) – установленная в нормативно-технической документации (НТД) для данного этапа серийного производства и эксплуатации суммарная наработка, при достижении которой применение двигателя прекращается. НР поэтапно увеличивается на основании результатов проведения специальных ресурсных испытаний от своего начального значения, устанавливаемого к моменту начала серийной эксплуатации до величины полного назначенного ресурса, на который спроектирован двигатель. При выработке полного назначенного ресурса двигатель окончательно снимается с эксплуатации.

Выводы по первому разделу

В целом надежность двигателей, как и любой другой конструкции, определяется видом и качеством проявляющихся дефектов.

Ресурс двигателя определяют прочностные и параметрические дефекты, надежность – прочностные и производственные. Безопасность эксплуатации связана с проявлением прочностных, производственных и эксплуатационных дефектов.

Обязательным условием возможности увеличения ресурсов в эксплуатации является наличие высоких показателей надежности.

2 Тепловой расчет проектируемого двигателя

Основные характеристики двигателя на базе серийного двигателя ВАЗ-11186, принятого для расчета приведены в таблице 1, а общий вид его конструкции на рисунке 1.

Таблица 1 – Технические характеристики двигателя

Тип	4-тактный с искровым зажиганием
Число и расположение цилиндров	4 – рядно
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Диаметр цилиндров, мм	82
Ход поршня, мм	75,6
Длина шатуна, мм	132,3
Рабочий объем, л	1,596
Степень сжатия	10,5
Номинальная частота вращения коленчатого вала, об/мин	5400
Максимальный частота вращения коленчатого вала, об/мин	6000
Минимальная частота вращения коленчатого вала при режиме холостого хода, об/мин	840
Номинальная мощность при частоте вращения коленчатого вала 5400 об/мин, кВт	87
Максимальный крутящий момент, Нм при 3800 мин ⁻¹	140

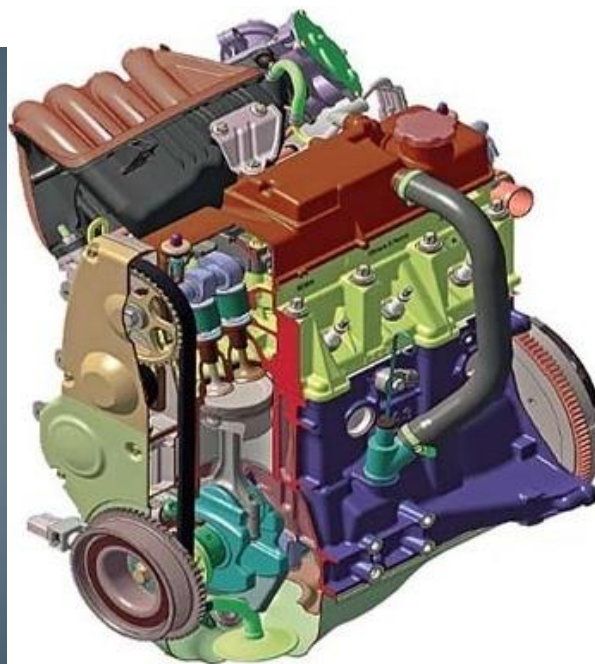


Рисунок 1 – Общий вид двигателя ВАЗ-11186, взятого как базовый для расчета

Тепловой расчет производится по методике И.И. Вибе, для базового и модернизированного двигателя, с учетом рекомендаций по расчету основных параметров, предложенных в учебниках [1,3,4,5]. Результаты расчета представлены в виде таблиц и графиков.

Так как при изменении скоростного режима при работе на внешней скоростной характеристике максимальный коэффициент избытка воздуха ограничен стехиометрическим составом $+0,02$ единицы в связи с требованиями к токсичности отработавших газов, то результаты расчета параметров рабочего тела проводятся (таблица 2) для одного стехиометрического состава смеси, без учета частоты вращения. Анализ результатов расчета процесса впуска приведен в таблице 3.

Таблица 2 – Результаты расчета параметров рабочего тела

L_0 , кмоль возд/кг топл	I_0 , кг возд/кг топл	M_1 , кмоль гор.см./кг топл.	M_{CO_2} , кмоль CO_2 /кг топл.	M_{H_2O} , кмоль H_2O /кг топл.	M_{N_2} , кмоль N_2 /кг топл.	M_2 , кмоль пр.сг./кг топл.	μ_0
0,51683	14,957	0,52552	0,07125	0,0725	0,409327	0,553077	1,052432

Таблица 3 – Результаты расчета процесса впуска

n , мин ⁻¹	Δp_a , Мпа	p_a , Мпа	T_r , К	p_r , Мпа	γ_r	T_a , К	η_v	V_a , м ³ /кг	$\omega_{вп}$, М/с
Базовый двигатель ВА3-11186									
840	0,0001	0,099898	1083	0,103784	0,033487	332,4965	0,84774	0,9126	7,97407
2000	0,0006	0,0994218	1095	0,105111	0,033113	330,6046	0,867697	0,9117	18,9859
3800	0,0021	0,0979127	1122	0,109316	0,032782	328,1042	0,898764	0,9188	36,0732
5400	0,0042	0,095785	1145	0,115245	0,034211	327,1988	0,898791	0,9366	51,2618
6000	0,005204	0,0947963	1158	0,118	0,035026	327,2476	0,897749	0,9465	56,9576
Модернизированный двигатель на базе ВА3-11186									
840	0,533E-01	0,0999547	1115	0,103784	0,026725	322,8492	1,074725	0,8938	7,97407
2000	0,0003	0,099743	1115	0,105111	0,027053	321,8915	1,075297	0,8931	18,9859
3800	0,0009	0,0990723	1125	0,109316	0,028026	321,0388	1,06989	0,8967	36,0732
5400	0,0019	0,0981267	1145	0,115245	0,029341	320,9705	1,058549	0,9052	51,2618
6000	0,002313	0,0976872	1150	0,118	0,030078	321,0823	1,052688	0,9096	56,9576

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

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

n , мин ⁻¹	μ	n_l	Угол опережения зажигания, ° ПКВ	V_y , м ³ /кг	P_y , МПа	T_y , К
Базовый двигатель ВАЗ-11186						
840	1,0507334	1,3756	20	0,118725	1,651834	715,2652
2000	1,0507517	1,3758	24	0,132271	1,415601	682,9113
3800	1,050768	1,376	28	0,149301	1,193211	649,7407
5400	1,0507	1,3761	32	0,170678	0,997136	620,7138
6000	1,050658	1,376098	35	0,187841	0,877556	601,208
Модернизированный двигатель на базе ВАЗ-11186						
840	1,051067	1,37652	20	0,116286	1,655909	695,8305
2000	1,051051	1,3766	24	0,129563	1,422425	665,9665
3800	1,051003	1,3767	28	0,145718	1,208857	636,5468
5400	1,050938	1,3767	32	0,164953	1,022557	609,5207
6000	1,0509	1,37669	34	0,175472	0,941169	596,784

Анализ результатов коэффициентов термодинамического расчета (таблица 5) показал повышение коэффициента использования теплоты в связи со снижением тепловых потерь в стенку цилиндра и систему охлаждения, связанных с повышением надежности цилиндров.

Таблица 5 – Коэффициенты термодинамического расчета

n , мин ⁻¹	ξ	q_z , Дж/кг	E_2 , МПа	φ_z , град, пкв.	m
Базовый двигатель ВАЗ-11186					
840	0,86	2290,9	52,71806	50	3
2000	0,88	2345,1	54,013665	56	3
3800	0,9	2399,1	54,834941	62	3
5400	0,9	2395,8	53,717477	68	3
6000	0,91	2420,518	53,703371	75	3
Модернизированный двигатель на базе ВАЗ-11186					
840	0,93	2493,714	58,588191	47	3
2000	0,93	2492,9	58,619394	53	3
3800	0,93	2490,6	58,324599	59	3
5400	0,93	2487,4	57,706365	65	3
6000	0,93	2485,598	57,386846	71	3

Анализ результатов расчета индикаторных показателей рабочего цикла (таблица 6) показал, улучшение мощностных показателей с роликового толкателя увеличивающего ход клапана. Также следует отметить рост среднего индикаторного давления при улучшении наполнения цилиндров.

Таблица 6 – Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла

n , мин ⁻¹	L_i , кДж	P_i , Мпа	N_i , кВт	η_i	g_i , г/кВт ч
Базовый двигатель ВАЗ-11186					
840	1,2624751	1,529034	17,09286	0,525883	155,8321
2000	1,2827377	1,555017	41,38885	0,522519	156,8354
3800	1,2984767	1,562018	78,99287	0,506729	161,7225
5400	1,2850107	1,516412	108,9755	0,491919	166,5914
6000	1,2742822	1,488008	118,8159	0,483265	169,5746
Модернизированный двигатель на базе ВАЗ-11186					
840	1,3899568	1,718744	19,21359	0,466282	175,7508
2000	1,378081	1,70551	45,39441	0,462446	177,2089
3800	1,3638321	1,680978	85,00879	0,458098	178,8908
5400	1,345313	1,642675	118,0493	0,452455	181,1217
6000	1,3247562	1,60977	128,5385	0,445861	183,8006

Анализ результатов расчета эффективных показателей рабочего цикла (таблица 7) показал, что все эффекты, которые мы наблюдали у индикаторных показателей, также присутствуют и у эффективных показателей работы двигателя.

Таблица 7 – Результаты расчета эффективных показателей рабочего цикла

n , мин ⁻¹	$V_{п.ср.}$, м/с	p_m , Мпа	p_e , Мпа	η_m	η_e	g_e , г/(кВт.ч)	N_e , кВт	M_e , Н.м	G_t , кг/ч
Базовый двигатель ВАЗ-11186									
840	2,1168	0,0579	1,4711	0,96212	0,50596	161,96739	16,4454	186,9545	2,66361
2000	5,04	0,091	1,4641	0,94151	0,49196	166,57849	38,968	186,0587	6,49124
3800	9,576	0,1422	1,4198	0,90896	0,4606	177,92073	71,8012	180,4345	12,7749
5400	13,608	0,1878	1,3286	0,87617	0,43101	190,13495	95,4816	168,8485	18,1544
6000	15,12	0,2049	1,2832	0,86233	0,41673	196,64725	102,458	163,0675	20,1482
Модернизированный двигатель на базе ВАЗ-11186									
840	2,1168	0,0579	1,6608	0,9663	0,45057	181,88	18,5661	211,0635	3,3768
2000	5,04	0,091	1,6146	0,94667	0,43778	187,19152	42,9736	205,1838	8,04429
3800	9,576	0,1422	1,5388	0,9154	0,41934	195,42344	77,8171	195,5524	15,2073
5400	13,608	0,1878	1,4549	0,88569	0,42791	204,49734	104,555	184,8945	21,3813
6000	15,12	0,2049	1,4049	0,87274	0,38912	210,60128	112,181	178,5416	23,6255

Анализ результатов расчета теплового баланса (таблица 8) показал, увеличение тепловых потерь с в систему охлаждения примерно на 1 – 2 % и 1 – 2 % с отработавшими газами вследствие большей энергоемкости заряда, но при этом оптимизация по углу опережения зажигания не проводилась. Это и привело к росту потерь и снижению удельных показателей работы двигателя.

Таблица 8 – Результаты расчета теплового баланса

n , мин ⁻¹	Q_0 , Дж/с	Q_e , Дж/с	q_e , %	Q_B , Дж/с	q_B , %	Q_r , Дж/с	q_r , %	$Q_{ост}$, Дж/с	$q_{ост}$, %
Базовый двигатель ВАЗ-11186									
840	32503	16445	50,596	5477,99	16,8537	10559,03	32,4862	20,7282	0,06377
2000	79210	38968	49,196	13602,5	17,1726	26163,09	33,0299	476,6224	0,60172
3800	155888	71801	46,06	29792,4	19,1115	53405,52	34,2589	888,6375	0,57005
5400	221531	95482	43,101	45505	20,5411	78227,078	35,312	2317,749	1,04624
6000	245861	102458	41,673	49091,3	19,9671	88287,593	35,9096	6023,389	2,44992
Модернизированный двигатель на базе ВАЗ-11186									
840	41206	18566	45,057	7475,83	18,1426	13985,118	33,9396	2,860909	2,86091
2000	98162	42974	43,778	18888,2	19,242	33315,634	33,9396	3,040054	3,04005
3800	185569	77817	41,934	41903,9	22,5813	63828,314	34,396	1,088432	1,08843
5400	260908	104555	40,074	54157,6	20,7573	92131,802	35,312	3,857087	3,85709
6000	288293	112181	38,912	69681,9	24,1705	102463,94	35,5416	1,375704	1,3757

Приведем основные термодинамические параметры работы двигателя по результатам теплового расчета в таблице 9 и 10 для базового и модернизированного двигателя, соответственно.

Таблица 9 – Основные термодинамические параметры работы базового двигателя

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	0,387807	0,119703651	0,119135864	0,117331112	0,114782759	0,113597961
231	0,385619	0,120640925	0,120068816	0,118250085	0,115681831	0,114487752
232	0,38339	0,12160914	0,121032566	0,119199396	0,116610586	0,11540692
233	0,38112	0,122609211	0,122028026	0,120179943	0,1175699	0,116356333
234	0,378808	0,123642092	0,123056146	0,121192662	0,11856069	0,117336896
235	0,376456	0,124708777	0,124117915	0,122238529	0,11958391	0,118349554
236	0,374063	0,125810304	0,125214368	0,12331856	0,120640556	0,119395293
237	0,371629	0,126947755	0,12634658	0,124433817	0,121731666	0,12047514
238	0,369155	0,12812226	0,127515676	0,125585408	0,122858323	0,121590168
239	0,366642	0,129334995	0,128722829	0,126774487	0,124021658	0,122741495
240	0,364089	0,13058719	0,129969261	0,128002259	0,125222849	0,123930287
241	0,361497	0,131880127	0,131256248	0,129269982	0,126463126	0,125157762
242	0,358867	0,133215143	0,132585124	0,130578968	0,127743774	0,126425191
243	0,356198	0,134593636	0,133957278	0,131930587	0,129066133	0,1277339
244	0,353491	0,136017064	0,135374162	0,133326269	0,130431602	0,129085275
245	0,350747	0,137486949	0,136837292	0,134767507	0,131841642	0,13048076
246	0,347965	0,139004881	0,13834825	0,136255861	0,133297779	0,131921866
247	0,345147	0,140572521	0,13990869	0,137792959	0,134801606	0,133410171
248	0,342293	0,142191604	0,141520339	0,139380504	0,136354788	0,134947321
249	0,339404	0,143863943	0,143185003	0,141020273	0,137959066	0,13653504
250	0,336479	0,145591434	0,144904567	0,142714125	0,139616258	0,138175126
251	0,33352	0,147376056	0,146681004	0,144464002	0,141328264	0,13986946

Продолжение таблицы 9

252	0,330528	0,149219882	0,148516375	0,146271937	0,143097072	0,141620011
253	0,327502	0,151125077	0,150412838	0,148140054	0,144924761	0,143428834
254	0,324443	0,153093907	0,152372647	0,150070575	0,146813505	0,145298083
255	0,321352	0,155128743	0,154398164	0,152065825	0,148765581	0,147230008
256	0,31823	0,157232068	0,156491859	0,154128239	0,150783368	0,149226967
257	0,315078	0,159406477	0,158656317	0,156260365	0,152869359	0,151291427
258	0,311895	0,161654692	0,160894246	0,158464869	0,155026166	0,153425971
259	0,308684	0,163979561	0,163208483	0,160744547	0,157256521	0,155633305
260	0,305444	0,166384068	0,165601999	0,163102325	0,15956329	0,157916262
261	0,302177	0,168871341	0,168077907	0,165541271	0,161949472	0,160277814
262	0,298882	0,171444657	0,17063947	0,168064601	0,164418214	0,162721074
263	0,295563	0,174107453	0,173290111	0,170675684	0,166972815	0,165249306
264	0,292218	0,176863335	0,176033417	0,173378057	0,169616733	0,167865933
265	0,288849	0,179716082	0,178873152	0,176175428	0,172353598	0,170574548
266	0,285457	0,182669662	0,181813267	0,179071688	0,175187216	0,173378917
267	0,282042	0,18572824	0,184857907	0,182070923	0,178121584	0,176282996
268	0,278607	0,188896186	0,188011424	0,185177421	0,181160898	0,179290938
269	0,275151	0,192178093	0,19127839	0,188395685	0,184309565	0,182407105
270	0,271677	0,195578784	0,194663607	0,191730446	0,187572214	0,185636076
271	0,268184	0,199103325	0,198172118	0,195186675	0,190953707	0,188982665
272	0,264674	0,202757043	0,201809228	0,198769596	0,194459158	0,192451933
273	0,261148	0,206545538	0,205580512	0,202484704	0,198093941	0,196049197
274	0,257607	0,210474699	0,209491831	0,206337773	0,201863708	0,199780052
275	0,254052	0,214550719	0,213549353	0,210334881	0,205774404	0,203650381
276	0,250485	0,218780117	0,217759567	0,21448242	0,209832285	0,207666376
277	0,246907	0,223169751	0,222129303	0,218787121	0,214043934	0,211834553
278	0,243318	0,227726844	0,226665749	0,223256066	0,218416284	0,21616177
279	0,239721	0,232458998	0,231376477	0,227896714	0,222956632	0,220655252
280	0,236116	0,237374223	0,236269459	0,232716924	0,227672666	0,225322607
281	0,232504	0,242480956	0,241353097	0,23772497	0,232572484	0,230171849
282	0,228888	0,247788088	0,246636243	0,242929577	0,237664622	0,235211426
283	0,225267	0,253304991	0,252128227	0,248339937	0,242958075	0,240450239
284	0,221644	0,259041544	0,257838885	0,253965742	0,248462325	0,245897674
285	0,21802	0,265008165	0,263778591	0,259817213	0,254187374	0,251563628
286	0,214396	0,27121584	0,269958281	0,265905128	0,260143767	0,257458539
287	0,210774	0,277676159	0,276389497	0,272240856	0,26634263	0,263593416
288	0,207154	0,284401348	0,28308441	0,278836394	0,272795699	0,269979876
289	0,203539	0,291404311	0,290055868	0,285704399	0,279515361	0,276630177
290	0,19993	0,298698661	0,297317427	0,292858229	0,286514685	0,283557254
291	0,196327	0,306298769	0,304883393	0,300311982	0,293807466	0,290774758
292	0,192734	0,314219802	0,312768869	0,308080538	0,301408266	0,298297102
293	0,18915	0,322477772	0,320989796	0,316179607	0,309332454	0,306139495
294	0,185578	0,331089578	0,329563003	0,324625771	0,317596256	0,314317997
295	0,182018	0,340073063	0,338506252	0,333436533	0,326216799	0,322849558
296	0,178473	0,349447057	0,347838296	0,34263037	0,335212163	0,331752072
297	0,174944	0,359231438	0,357578924	0,352226786	0,344601432	0,341044423
298	0,171433	0,369447184	0,367749025	0,362246362	0,354404744	0,350746545
299	0,167939	0,380116429	0,378370639	0,372710818	0,364643353	0,36087947
300	0,164467	0,391262525	0,389467017	0,383643065	0,375339678	0,371465387
301	0,161016	0,402910101	0,401062681	0,39506727	0,386517364	0,382527696
302	0,157588	0,415085121	0,413183486	0,407008909	0,398201342	0,394091071
303	0,154185	0,42781495	0,425856678	0,419494833	0,410417885	0,406181513
304	0,150808	0,44112841	0,439110958	0,432553324	0,423194668	0,418826413

Продолжение таблицы 9

305	0,147458	0,455055843	0,452976539	0,446214157	0,436560825	0,432054603
306	0,144138	0,469629171	0,467485204	0,460508653	0,450547005	0,445896417
307	0,140848	0,484881944	0,482670363	0,475469736	0,465185425	0,460383738
308	0,137591	0,500849397	0,498567102	0,491131983	0,48050992	0,475550051
309	0,134367	0,517568494	0,515212225	0,507531664	0,49655598	0,491430483
310	0,131177	0,535077958	0,532644296	0,524706784	0,513360795	0,508061837
311	0,128024	0,553418307	0,550903658	0,542697102	0,53096327	0,525482618
312	0,124909	0,57263186	0,570032453	0,561544148	0,549404045	0,543733045
313	0,121833	0,592762735	0,590074613	0,58129122	0,568725488	0,56285505
314	0,118798	0,613856827	0,611075842	0,601983361	0,588971676	0,582892255
315	0,115805	0,635961763	0,633083566	0,62366731	0,610188345	0,603889924
316	0,112855	0,65912682	0,656146856	0,646391432	0,632422824	0,625894896
317	0,10995	0,683402817	0,680316319	0,670205602	0,655723918	0,648955475
318	0,107091	0,70884196	0,705643943	0,695161061	0,68014177	0,673121283
319	0,104279	0,735497637	0,732182898	0,721310211	0,70572766	0,698443073
320	0,101516	0,763424163	0,75998727	0,748706362	0,732533755	0,724972473
321	0,098803	0,792676444	0,789111742	0,777403411	0,760612797	0,752761681
322	0,096142	0,823309578	0,819611183	0,80745544	0,790017713	0,781863076
323	0,093532	0,855378353	0,85154016	0,838916235	0,820801135	0,812328749
324	0,090977	0,888936657	0,88495234	0,871838695	0,853014833	0,844209934
325	0,088477	0,924036758	0,919899779	0,906274134	0,886709024	0,877556331
326	0,086032	0,960728463	0,956432087	0,942271457	0,921931567	0,912686942
327	0,083646	0,999058135	0,994595439	0,979876184	0,958727012	0,949417124
328	0,081317	1,039067539	1,03443144	1,019129334	0,997135502	0,987859191
329	0,079048	1,080792532	1,075975808	1,060066123	1,037392837	1,028156867
330	0,07684	1,12426155	1,119256875	1,102714494	1,079391469	1,070488387
331	0,074694	1,169493916	1,164293897	1,147093444	1,123267164	1,115069613
332	0,07261	1,216497929	1,211095157	1,193211156	1,169204395	1,162157036
333	0,07059	1,265268765	1,259655868	1,241123975	1,217441334	1,212050505
334	0,068634	1,315786166	1,309955879	1,290858745	1,268274737	1,265095476
335	0,066745	1,368011955	1,36195719	1,342571279	1,322064438	1,321684536
336	0,064922	1,421887383	1,415601323	1,396493687	1,379237095	1,382257933
337	0,063166	1,477330364	1,470674838	1,452942195	1,440288776	1,447302801
338	0,061479	1,53423264	1,52738908	1,512324391	1,505785877	1,517350765
339	0,05986	1,592456959	1,58592516	1,575145264	1,576363853	1,592973605
340	0,058312	1,651834356	1,646587649	1,642011275	1,652723198	1,674776672
341	0,056835	1,711844149	1,70981659	1,713631568	1,735622168	1,763389805
342	0,055428	1,77291602	1,776197604	1,790815367	1,825865755	1,859455537
343	0,054094	1,835308993	1,846468704	1,874464587	1,924290587	1,963614483
344	0,052833	1,89949635	1,9215222	1,965560798	2,031745533	2,07648788
345	0,051644	1,966183067	2,002399952	2,065145854	2,14906799	2,198657401
346	0,05053	2,036317449	2,090280233	2,174295804	2,277056043	2,330642463
347	0,04949	2,111093879	2,186454753	2,294088046	2,41643689	2,472875442
348	0,048526	2,191943335	2,292294821	2,425562152	2,567832152	2,625675335
349	0,047636	2,28050842	2,409206396	2,569675144	2,731720927	2,789220611
350	0,046823	2,378600315	2,538574571	2,727252446	2,908401657	2,963522166
351	0,046085	2,488136287	2,681698948	2,898936056	3,097954144	3,148397451
352	0,045425	2,611058115	2,839722161	3,085131762	3,300203251	3,34344703
353	0,044841	2,749233773	3,013554409	3,285957499	3,514686061	3,548034907
354	0,044335	2,904346574	3,203797249	3,50119515	3,740624414	3,761274016
355	0,043906	3,077777346	3,410670127	3,730248295	3,976904837	3,98201825
356	0,043555	3,270485938	3,633943256	3,97210854	4,222067852	4,208862237
357	0,043281	3,482898407	3,872880489	4,225333111	4,474308447	4,440149865

Продолжение таблицы 9

358	0,043086	3,714805981	4,126195933	4,48803628	4,731489176	4,673992157
359	0,042969	3,965281624	4,392028017	4,757896888	4,991166816	4,908294688
360	0,04293	4,23261985	4,667934557	5,032183685	5,25063284	5,140794189
361	0,042969	4,514305492	4,950911914	5,307799431	5,506967216	5,369103472
362	0,043086	4,807016959	5,237440544	5,581343735	5,757104182	5,59076326
363	0,043281	5,106668967	5,523557997	5,849193445	5,997907865	5,803299077
364	0,043555	5,408498382	5,804958888	6,107598275	6,226254891	6,004280979
365	0,043906	5,707194592	6,077119492	6,352788144	6,439120561	6,191383721
366	0,044335	5,997072722	6,335442669	6,581087793	6,633664851	6,362444885
367	0,044841	6,272284301	6,575416942	6,789033435	6,807314347	6,515518619
368	0,045425	6,527055987	6,792781926	6,973485804	6,957836403	6,648922843
369	0,046085	6,755943214	6,983691149	7,131733918	7,083402155	6,761278207
370	0,046823	6,95408263	7,144862766	7,261584176	7,182635648	6,851537455
371	0,047636	7,117425394	7,273708841	7,361430131	7,254646998	6,919004406
372	0,048526	7,242933291	7,368434833	7,430299276	7,299048431	6,963342227
373	0,04949	7,32872136	7,428102567	7,467874489	7,315952841	6,984571132
374	0,05053	7,374134346	7,452652352	7,47448919	7,305955409	6,983056114
375	0,051644	7,379749624	7,442882661	7,451096803	7,270099627	6,959485618
376	0,052833	7,347305672	7,400388811	7,399216579	7,209829742	6,914842385
377	0,054094	7,279562126	7,327465104	7,320859161	7,126932205	6,850367892
378	0,055428	7,180103931	7,2269775	7,218436378	7,023469104	6,767521927
379	0,056835	7,053107374	7,102215981	7,094660531	6,90170678	6,667938925
380	0,058312	6,903088934	6,956736986	6,952438826	6,764042869	6,553382656
381	0,05986	6,734658605	6,794206579	6,794768627	6,612934881	6,425700821
382	0,061479	6,552297406	6,618254315	6,624638797	6,450833147	6,286780971
383	0,063166	6,360174594	6,432346172	6,444941642	6,280120523	6,138509047
384	0,064922	6,162014345	6,239682656	6,258398965	6,103060736	5,982731603
385	0,066745	5,96101524	6,043125496	6,067504503	5,921756651	5,821222607
386	0,068634	5,759819852	5,845153621	5,874483722	5,738119089	5,655655446
387	0,07059	5,560526928	5,647846581	5,681270756	5,553846287	5,487580526
388	0,07261	5,364735567	5,452891615	5,489501134	5,370413443	5,318408638
389	0,074694	5,173609738	5,261609226	5,300518116	5,189071424	5,149399987
390	0,07684	4,98795209	5,074991564	5,115389904	5,01085328	4,981658618
391	0,079048	4,82146786	4,893748035	4,934934709	4,836587033	4,81613176
392	0,081317	4,66078493	4,718353209	4,759750703	4,666913085	4,653613474
393	0,083646	4,505863756	4,561562158	4,590248144	4,502304639	4,494751898
394	0,086032	4,35663536	4,410531152	4,426681403	4,343089619	4,34005933
395	0,088477	4,213006362	4,2651658	4,28086342	4,189472805	4,189924337
396	0,090977	4,074863479	4,125351562	4,140611232	4,041557146	4,044625172
397	0,093532	3,942077487	3,990957763	4,005793974	3,909849084	3,90434378
398	0,096142	3,814506704	3,861841113	3,87626812	3,783314134	3,769179798
399	0,098803	3,692000019	3,737848775	3,751880556	3,66180239	3,639164055
400	0,101516	3,574399509	3,618821016	3,632471239	3,545157194	3,514271176
401	0,104279	3,461542685	3,504593472	3,517875476	3,433217355	3,403218163
402	0,107091	3,353264402	3,394999087	3,407925858	3,325819051	3,29667346
403	0,10995	3,249398469	3,289869743	3,302453902	3,222797425	3,194473266
404	0,112855	3,149779001	3,189037622	3,201291417	3,123987921	3,096454095
405	0,115805	3,054241531	3,092336342	3,104271639	3,029227395	3,002453872
406	0,118798	2,962623928	2,999601876	3,011230158	2,938355017	2,912312837
407	0,121833	2,874767134	2,910673303	2,92200567	2,851213009	2,82587427
408	0,124909	2,790515749	2,825393399	2,836440571	2,767647219	2,742985061
409	0,128024	2,709718486	2,7436091	2,75438142	2,68750758	2,663496166
410	0,131177	2,632228517	2,665171848	2,675679289	2,610648443	2,587262938

Продолжение таблицы 9

411	0,134367	2,557903716	2,589937844	2,600190016	2,53692883	2,514145373
412	0,137591	2,486606835	2,517768218	2,527774374	2,466212596	2,444008277
413	0,140848	2,418205598	2,448529132	2,458298178	2,398368534	2,37672136
414	0,144138	2,35257275	2,382091823	2,39163233	2,333270414	2,312159283
415	0,147458	2,289586054	2,318332608	2,327652816	2,270796984	2,250201656
416	0,150808	2,229128253	2,257132836	2,266240671	2,210831934	2,190732995
417	0,154185	2,171086997	2,198378825	2,207281904	2,153263821	2,133642658
418	0,157588	2,115354749	2,141961759	2,150667403	2,097985976	2,078824746
419	0,161016	2,061828675	2,087777579	2,096292823	2,044896396	2,026177991
420	0,164467	2,010410509	2,035726848	2,044058451	1,993897608	1,975605631
421	0,167939	1,961006415	1,985714614	1,993869069	1,944896536	1,927015269
422	0,171433	1,913526842	1,937650253	1,9456338	1,897804352	1,880318728
423	0,174944	1,867886366	1,891447324	1,899265954	1,852536322	1,835431902
424	0,178473	1,824003538	1,8470234	1,854682871	1,809011656	1,792274595
425	0,182018	1,781800721	1,804299919	1,811805762	1,767153348	1,750770374
426	0,185578	1,741203941	1,763202017	1,770559545	1,726888017	1,710846407
427	0,18915	1,702142721	1,723658376	1,730872694	1,688145762	1,672433315
428	0,192734	1,664549938	1,685601064	1,692677077	1,650860001	1,635465014
429	0,196327	1,628361664	1,648965386	1,65590781	1,614967323	1,599878576
430	0,19993	1,593517026	1,613689739	1,620503104	1,58040735	1,565614076
431	0,203539	1,559958061	1,579715461	1,586404121	1,547122586	1,532614456
432	0,207154	1,527629579	1,546986698	1,553554841	1,51505829	1,500825393
433	0,210774	1,49647903	1,515450268	1,521901919	1,484162339	1,47019516
434	0,214396	1,466456379	1,485055532	1,491394562	1,454385101	1,440674508
435	0,21802	1,437513979	1,455754269	1,461984401	1,425679317	1,41221654
436	0,221644	1,409606459	1,427500558	1,433625375	1,397999984	1,384776601
437	0,225267	1,382690606	1,400250667	1,406273615	1,371304239	1,358312161
438	0,228888	1,356725263	1,37396294	1,379887336	1,34555126	1,332782713
439	0,232504	1,331671223	1,348597694	1,354426732	1,320702157	1,30814967
440	0,236116	1,307491131	1,324117125	1,329853877	1,296719879	1,284376271
441	0,239721	1,284149395	1,300485208	1,306132634	1,273569121	1,261427488
442	0,243318	1,261612092	1,27766761	1,283228561	1,251216239	1,23926994
443	0,246907	1,239846889	1,255631604	1,261108828	1,22962916	1,217871807
444	0,250485	1,218822959	1,234345991	1,239742133	1,208777308	1,197202755
445	0,254052	1,198510909	1,213781019	1,21909863	1,188631529	1,177233859
446	0,257607	1,178882703	1,193908313	1,199149853	1,169164015	1,157937534
447	0,261148	1,159911598	1,174700804	1,179868643	1,15034824	1,139287464
448	0,264674	1,141572078	1,156132665	1,161229091	1,132158894	1,121258542
449	0,268184	1,12383979	1,138179249	1,143206468	1,114571826	1,103826807
450	0,271677	1,10669149	1,120817027	1,125777167	1,097563977	1,086969389
451	0,275151	1,090104985	1,104023535	1,108918651	1,081113336	1,070664451
452	0,278607	1,07405908	1,087777321	1,092609397	1,065198881	1,054891141
453	0,282042	1,058533531	1,072057893	1,076828844	1,049800532	1,039629541
454	0,285457	1,043508996	1,056845673	1,061557349	1,034899104	1,024860622
455	0,288849	1,028966991	1,042121953	1,046776141	1,020476264	1,0105662
456	0,292218	1,014889849	1,027868848	1,032467275	1,006514489	0,996728892
457	0,295563	1,001260678	1,01406926	1,018613596	0,992997025	0,983332082
458	0,298882	0,988063325	1,000706839	1,005198698	0,979907849	0,970359879
459	0,302177	0,97528234	0,987765946	0,992206888	0,967231638	0,957797084
460	0,305444	0,962902941	0,975231617	0,979623152	0,954953729	0,945629155
461	0,308684	0,950910982	0,963089534	0,967433121	0,943060093	0,933842177
462	0,311895	0,939292924	0,951325991	0,955623045	0,931537301	0,922422832
463	0,315078	0,928035805	0,939927868	0,944179757	0,920372496	0,911358369

Продолжение таблицы 9

464	0,31823	0,917127212	0,928882599	0,933090648	0,909553366	0,900636579
465	0,321352	0,906555259	0,918178152	0,922343643	0,899068122	0,890245768
466	0,324443	0,896308555	0,907802997	0,911927173	0,888905467	0,880174735
467	0,327502	0,886376189	0,897746088	0,901830154	0,879054577	0,870412746
468	0,330528	0,876747703	0,887996839	0,892041961	0,86950508	0,860949514
469	0,33352	0,86741307	0,8785451	0,88255241	0,860247032	0,851775178
470	0,336479	0,858362681	0,869381143	0,873351738	0,8512709	0,842880286
471	0,339404	0,849587317	0,860495637	0,864430581	0,842567543	0,834255773
472	0,342293	0,841078139	0,851879632	0,855779958	0,834128193	0,825892943
473	0,345147	0,832826667	0,843524545	0,847391255	0,825944438	0,817783456
474	0,347965	0,824824764	0,835422139	0,839256204	0,818008208	0,809919311
475	0,350747	0,817064622	0,827564509	0,831366875	0,81031176	0,802292828
476	0,353491	0,809538747	0,819944069	0,823715653	0,80284766	0,794896638
477	0,356198	0,802239947	0,812553537	0,81629523	0,795608774	0,787723665
478	0,358867	0,795161314	0,805385922	0,80909859	0,788588252	0,780767119
479	0,361497	0,788296218	0,798434511	0,802118995	0,781779517	0,774020478
480	0,364089	0,78163829	0,791692856	0,795349974	0,775176253	0,767477479
481	0,366642	0,775181415	0,785154767	0,788785315	0,768772394	0,761132108
482	0,369155	0,768919717	0,778814295	0,782419047	0,762562113	0,754978588
483	0,371629	0,762847553	0,772665728	0,776245437	0,756539811	0,749011369
484	0,374063	0,7569595	0,766703575	0,770258975	0,750700112	0,743225118
485	0,376456	0,751250349	0,760922563	0,764454368	0,745037848	0,737614713
486	0,378808	0,745715095	0,755317624	0,758826529	0,739548055	0,732175233
487	0,38112	0,740348926	0,749883888	0,75337057	0,73422596	0,726901945
488	0,38339	0,735147219	0,744616675	0,748081794	0,72906698	0,721790305
489	0,385619	0,730105533	0,739511488	0,742955688	0,724066708	0,716835945
490	0,387807	0,725219598	0,734564003	0,737987911	0,719220908	0,712034666
500	0,407355	0,684098302	0,692924312	0,696176688	0,678437483	0,67162699
510	0,422596	0,584098302	0,592924312	0,596176688	0,578437483	0,57162699

Таблица 10 – Основные термодинамические параметры работы модернизированного двигателя

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	0,387807	0,119786193	0,11953366	0,118733007	0,117598138	0,117071519
231	0,385619	0,120724751	0,120470287	0,119663495	0,118519665	0,11798892
232	0,38339	0,121694297	0,121437838	0,120624707	0,11947162	0,118936611
233	0,38112	0,122695747	0,122437229	0,121617551	0,120454901	0,11991549
234	0,378808	0,123730058	0,123469414	0,122642975	0,121470448	0,120926489
235	0,376456	0,124798227	0,124535387	0,123701968	0,12251924	0,121970584
236	0,374063	0,125901293	0,125636186	0,124795559	0,123602296	0,12304879
237	0,371629	0,12704034	0,126772892	0,125924825	0,124720683	0,124162169
238	0,369155	0,128216499	0,127946636	0,127090887	0,12587551	0,125311824
239	0,366642	0,129430951	0,129158593	0,128294914	0,127067936	0,126498911
240	0,364089	0,130684926	0,130409994	0,129538128	0,12829917	0,127724631
241	0,361497	0,13197971	0,131702119	0,130821802	0,129570474	0,128990242
242	0,358867	0,133316642	0,133036308	0,132147266	0,130883164	0,130297054
243	0,356198	0,134697123	0,134413956	0,133515908	0,132238615	0,131646434
244	0,353491	0,136122613	0,135836522	0,134929176	0,13363826	0,133039812

Продолжение таблицы 10

245	0,350747	0,137594638	0,137305529	0,136388584	0,1350836	0,134478679
246	0,347965	0,139114792	0,138822566	0,13789571	0,136576196	0,135964592
247	0,345147	0,140684738	0,140389295	0,139452205	0,138117685	0,137499178
248	0,342293	0,142306216	0,14200745	0,141059794	0,139709774	0,139084136
249	0,339404	0,143981041	0,143678844	0,142720278	0,141354245	0,140721244
250	0,336479	0,145711113	0,145405374	0,144435539	0,143052965	0,142412357
251	0,33352	0,147498418	0,147189019	0,146207547	0,144807882	0,144159415
252	0,330528	0,149345029	0,149031851	0,148038359	0,146621035	0,145964449
253	0,327502	0,151253119	0,150936038	0,149930128	0,148494555	0,147829579
254	0,324443	0,153224959	0,152903844	0,151885105	0,150430673	0,149757026
255	0,321352	0,155262923	0,154937642	0,153905648	0,152431721	0,151749113
256	0,31823	0,1573695	0,157039912	0,155994222	0,154500141	0,153808271
257	0,315078	0,159547291	0,159213254	0,158153407	0,15663849	0,155937044
258	0,311895	0,161799024	0,161460388	0,160385909	0,158849445	0,158138098
259	0,308684	0,164127553	0,163784162	0,162694557	0,16113581	0,160414224
260	0,305444	0,166535869	0,166187563	0,165082318	0,163500521	0,162768346
261	0,302177	0,169027107	0,168673717	0,167552299	0,165946656	0,165203527
262	0,298882	0,171604551	0,171245905	0,17010776	0,168477443	0,16772298
263	0,295563	0,174271647	0,173907563	0,172752115	0,171096263	0,170330073
264	0,292218	0,177032007	0,176662297	0,175488947	0,173806664	0,173028337
265	0,288849	0,179889421	0,17951389	0,178322015	0,176612368	0,175821476
266	0,285457	0,182847865	0,182466309	0,181255262	0,179517279	0,178713379
267	0,282042	0,185911513	0,185523721	0,184292826	0,182525498	0,181708126
268	0,278607	0,189084748	0,188690499	0,187439055	0,185641326	0,184810002
269	0,275151	0,192372171	0,191971237	0,190698511	0,188869284	0,188023505
270	0,271677	0,195778617	0,195370758	0,194075989	0,192214119	0,191353361
271	0,268184	0,199309166	0,198894132	0,197576526	0,19568082	0,194804538
272	0,264674	0,202969157	0,202546689	0,201205418	0,19927463	0,198382255
273	0,261148	0,206764203	0,20633403	0,204968231	0,203001062	0,202091999
274	0,257607	0,210700208	0,210262048	0,20887082	0,206865912	0,205939542
275	0,254052	0,214783381	0,214336939	0,212919343	0,21087528	0,209930955
276	0,250485	0,219020256	0,218565224	0,217120279	0,215035581	0,214072626
277	0,246907	0,223417709	0,222953767	0,221480448	0,219353569	0,218371278
278	0,243318	0,22798298	0,227509792	0,226007031	0,223836354	0,222833988
279	0,239721	0,232723693	0,232240908	0,230707587	0,228491422	0,22746821
280	0,236116	0,237647877	0,237155129	0,235590079	0,233326659	0,232281794
281	0,232504	0,24276399	0,242260897	0,240662898	0,238350372	0,23728301
282	0,228888	0,248080949	0,247567109	0,245934883	0,243571316	0,242480574
283	0,225267	0,253608147	0,253083144	0,251415355	0,248998718	0,247883672
284	0,221644	0,259355492	0,258818886	0,257114136	0,254642308	0,253501989
285	0,21802	0,265333429	0,264784761	0,263041587	0,260512343	0,259345737
286	0,214396	0,271552974	0,270991764	0,269208634	0,266619642	0,265425687
287	0,210774	0,278025748	0,277451494	0,275626801	0,272975618	0,271753201
288	0,207154	0,284764012	0,284176186	0,28230825	0,279592313	0,278340265
289	0,203539	0,291780703	0,291178753	0,289265811	0,286482433	0,28519953
290	0,19993	0,299089474	0,298472821	0,296513026	0,293659386	0,292344344
291	0,196327	0,306704735	0,306072773	0,304064187	0,301137324	0,299788795
292	0,192734	0,314641699	0,31399379	0,311934381	0,308931188	0,307547757
293	0,18915	0,322916419	0,322251897	0,320139532	0,317056745	0,315636927
294	0,185578	0,331545847	0,330864011	0,328696452	0,325530643	0,324072877
295	0,182018	0,340547875	0,339847989	0,337622889	0,334370454	0,332873103
296	0,178473	0,349941391	0,349222682	0,346937574	0,343594729	0,34205607
297	0,174944	0,359746329	0,359007987	0,356660282	0,353223047	0,351641272

Продолжение таблицы 10

298	0,171433	0,369983731	0,369224905	0,366811883	0,363276073	0,361649279
299	0,167939	0,380675798	0,379895593	0,377414396	0,373775612	0,3721018
300	0,164467	0,391845953	0,39104343	0,388491056	0,384744669	0,383021736
301	0,161016	0,403518899	0,40269307	0,400066365	0,396207507	0,394433243
302	0,157588	0,415720683	0,414870511	0,412166157	0,408189708	0,406361785
303	0,154185	0,428478753	0,427603147	0,424817661	0,42071823	0,418834203
304	0,150808	0,441822024	0,440919839	0,438049557	0,433821473	0,431878769
305	0,147458	0,455780935	0,454850965	0,451892038	0,447529334	0,445525244
306	0,144138	0,470387509	0,469428489	0,466376868	0,461873265	0,459804941
307	0,140848	0,485675406	0,484686006	0,481537438	0,476886327	0,474750773
308	0,137591	0,501679978	0,500658799	0,497408813	0,492603243	0,490397307
309	0,134367	0,518438309	0,517383883	0,514027781	0,509060437	0,506780803
310	0,131177	0,535989256	0,534900039	0,531432887	0,526296074	0,523939257
311	0,128024	0,554373472	0,553247844	0,549664457	0,544350085	0,54191242
312	0,124909	0,573633421	0,572469681	0,568764617	0,563264179	0,560741815
313	0,121833	0,593813376	0,592609739	0,588777284	0,583081843	0,580470732
314	0,118798	0,614959395	0,613713988	0,60974815	0,603848315	0,60114421
315	0,115805	0,637119272	0,635830132	0,631724628	0,625610543	0,622808984
316	0,112855	0,660342464	0,659007534	0,654755781	0,648417105	0,645513415
317	0,10995	0,684679975	0,683297103	0,67889221	0,672318102	0,669307381
318	0,107091	0,710184207	0,708751141	0,7041859	0,697365005	0,694242121
319	0,104279	0,73690875	0,735423138	0,730690018	0,723610457	0,720370042
320	0,101516	0,764908126	0,763367515	0,758458657	0,751108014	0,747744462
321	0,098803	0,794237459	0,792639292	0,787546506	0,779911825	0,776419286
322	0,096142	0,824952065	0,823293683	0,818008449	0,810076229	0,80644861
323	0,093532	0,857106959	0,8553856	0,84989907	0,841655269	0,837886235
324	0,090977	0,890756254	0,888969056	0,88327206	0,874702103	0,870785082
325	0,088477	0,925952445	0,924096451	0,918179509	0,909268303	0,90519649
326	0,086032	0,962745564	0,960817725	0,954671064	0,945403019	0,941169391
327	0,083646	1,00118219	0,999179373	0,992792947	0,983152015	0,979056413
328	0,081317	1,041304299	1,039223297	1,032586818	1,022556533	1,018655096
329	0,079048	1,083147942	1,080985482	1,074088458	1,063916017	1,060101268
330	0,07684	1,126741731	1,124494495	1,117326275	1,107090911	1,10357435
331	0,074694	1,172105138	1,169769774	1,162319608	1,152253066	1,149301825
332	0,07261	1,219246581	1,216819731	1,209076834	1,199640143	1,197563681
333	0,07059	1,268161315	1,265639634	1,257740513	1,249562496	1,248696634
334	0,068634	1,318829111	1,316209301	1,308302141	1,302409858	1,303097861
335	0,066745	1,371211763	1,368490608	1,3609786	1,358657418	1,361227918
336	0,064922	1,425250426	1,422424827	1,416092652	1,418870762	1,423612451
337	0,063166	1,480862836	1,477906076	1,474083712	1,483709052	1,490842294
338	0,061479	1,537940468	1,535130782	1,535517635	1,553925749	1,563571474
339	0,05986	1,596345698	1,594395197	1,601094556	1,630366129	1,6425127
340	0,058312	1,655909075	1,656174325	1,671653594	1,713960855	1,728429876
341	0,056835	1,716252241	1,721138442	1,748173117	1,805714962	1,822127301
342	0,055428	1,777845152	1,790166249	1,831765175	1,906691699	1,924435243
343	0,054094	1,84117766	1,864352405	1,92366281	2,017990897	2,036191749
344	0,052833	1,907061939	1,945006858	2,025199151	2,140721718	2,15822063
345	0,051644	1,976655532	2,033643317	2,137777619	2,275969901	2,291305773
346	0,05053	2,051473772	2,131954445	2,262833014	2,424759842	2,436162041
347	0,04949	2,133386247	2,241771999	2,401783839	2,588012095	2,593403249
348	0,048526	2,224591808	2,365011138	2,55597674	2,766497119	2,763507874
349	0,047636	2,327567322	2,50359942	2,72662439	2,960786349	2,946783388
350	0,046823	2,444987183	2,659392266	2,914738533	3,171201977	3,143330325

Продолжение таблицы 10

351	0,046085	2,579613405	2,834077786	3,121060223	3,397767167	3,353007449
352	0,045425	2,73415942	3,029074586	3,345989603	3,640158789	3,575399611
353	0,044841	2,911133693	3,24542658	3,589517918	3,897665126	3,809790079
354	0,044335	3,112671275	3,483699016	3,851164896	4,169151311	4,055139258
355	0,043906	3,340361991	3,743880144	4,129925049	4,453035407	4,310071714
356	0,043555	3,595083626	4,025293321	4,424226835	4,747278053	4,572873316
357	0,043281	3,876847883	4,326524939	4,731908801	5,049388292	4,841500009
358	0,043086	4,184666941	4,645374132	5,050216728	5,356447685	5,113599293
359	0,042969	4,516449327	4,97883058	5,375825245	5,665153965	5,386544878
360	0,04293	4,868935206	5,323086524	5,704886454	5,97188442	5,657484283
361	0,042969	5,237682264	5,673588188	6,033106656	6,272777964	5,923398352
362	0,043086	5,617113258	6,025129964	6,355850547	6,563833555	6,181170885
363	0,043281	6,000634259	6,371992068	6,668270227	6,841021315	6,427665887
364	0,043555	6,380828448	6,708119057	6,965454363	7,100401676	6,659809339
365	0,043906	6,749724108	7,027332916	7,242590934	7,338247011	6,874672039
366	0,044335	7,099127817	7,323570747	7,495135495	7,551159787	7,06954988
367	0,044841	7,421005618	7,591133897	7,718975862	7,73618123	7,242038021
368	0,045425	7,70788729	7,824933008	7,910583796	7,890884906	7,390095714
369	0,046085	7,953262997	8,020712367	8,067144661	8,013450385	7,512099047
370	0,046823	8,15193859	8,175237342	8,186657131	8,102713333	7,606879515
371	0,047636	8,300316666	8,286430634	8,267996816	8,1581897	7,673747101
372	0,048526	8,39657545	8,353446602	8,310939982	8,18007322	7,712497295
373	0,04949	8,440726552	8,376677642	8,316146199	8,169206967	7,723402321
374	0,05053	8,434544709	8,357692159	8,285101522	8,127031147	7,707187501
375	0,051644	8,381376389	8,299109452	8,220026466	8,05551056	7,664994338
376	0,052833	8,285847466	8,204422196	8,123755351	7,957046202	7,59833242
377	0,054094	8,153501258	8,077781516	7,999595321	7,83437607	7,509022579
378	0,055428	7,990404959	7,923762381	7,851174414	7,690470625	7,399133991
379	0,056835	7,802763991	7,747127861	7,682288266	7,528428247	7,270917994
380	0,058312	7,596579721	7,552609628	7,496754537	7,351375666	7,126741329
381	0,05986	7,377377245	7,344719093	7,298282821	7,162377662	6,969021358
382	0,061479	7,150018207	7,127599301	7,090366024	6,964359377	6,800165527
383	0,063166	6,918601201	6,904922707	6,876196981	6,760043573	6,622516957
384	0,064922	6,68644127	6,67983493	6,658611788	6,551904003	6,438307659
385	0,066745	6,456112135	6,454940289	6,440059181	6,342135005	6,249620344
386	0,068634	6,229530876	6,232321696	6,222593414	6,132636448	6,058359365
387	0,07059	6,008064715	6,013585702	6,007886791	5,925012362	5,866230824
388	0,07261	5,808690153	5,799923102	5,797257163	5,720581024	5,674731483
389	0,074694	5,615465541	5,592176332	5,59170551	5,520393928	5,485145731
390	0,07684	5,4284839	5,405812759	5,391958986	5,325261003	5,298549579
391	0,079048	5,247786248	5,225717647	5,198515407	5,135779531	5,115820463
392	0,081317	5,073368891	5,051886944	5,025584882	4,95236452	4,937651544
393	0,083646	4,90519011	4,884278699	4,858844747	4,775278685	4,764569143
394	0,086032	4,743176227	4,722819109	4,698221569	4,604660624	4,596952062
395	0,088477	4,587227062	4,567407965	4,543615649	4,440550254	4,435051637
396	0,090977	4,437220794	4,417923501	4,394905837	4,282910976	4,279011566
397	0,093532	4,293018263	4,274226681	4,251953808	4,131648398	4,128886745
398	0,096142	4,154466739	4,136164958	4,114607793	3,986625707	3,995372569
399	0,098803	4,021403206	4,003575552	3,982705846	3,847675985	3,867155161
400	0,101516	3,893657201	3,876288275	3,85607865	3,714611839	3,744069527
401	0,104279	3,771053249	3,754127961	3,734551939	3,587232803	3,62594588
402	0,107091	3,653412933	3,636916532	3,617948547	3,55507766	3,512611637
403	0,10995	3,540556648	3,524474742	3,506090148	3,445096345	3,403893107

Продолжение таблицы 10

404	0,112855	3,432305064	3,416623635	3,398798706	3,339607382	3,299616903
405	0,115805	3,328480336	3,313185754	3,295897678	3,238437003	3,199611107
406	0,118798	3,228907103	3,213986134	3,197212996	3,141413888	3,103706233
407	0,121833	3,133413292	3,118853098	3,102573868	3,048369945	3,011735994
408	0,124909	3,041830748	3,027618894	3,011813405	2,959140935	2,923537921
409	0,128024	2,95399574	2,94012019	2,924769116	2,873566951	2,838953835
410	0,131177	2,869749332	2,856198448	2,841283279	2,791492787	2,75783021
411	0,134367	2,788937656	2,77570019	2,761203208	2,712768198	2,680018435
412	0,137591	2,711412095	2,698477187	2,684381438	2,637248081	2,605374986
413	0,140848	2,6370294	2,624386569	2,610675834	2,564792583	2,533761538
414	0,144138	2,565651738	2,553290873	2,539949642	2,49526715	2,465045009
415	0,147458	2,497146691	2,485058043	2,47207149	2,428542526	2,39909756
416	0,150808	2,431387221	2,419561393	2,406915342	2,364494712	2,335796555
417	0,154185	2,368251589	2,356679528	2,344360431	2,303004893	2,275024486
418	0,157588	2,30762326	2,296296245	2,284291155	2,243959338	2,216668877
419	0,161016	2,249390779	2,23830041	2,226596951	2,187249281	2,160622165
420	0,164467	2,193447631	2,182585819	2,171172167	2,132770785	2,106781563
421	0,167939	2,139692092	2,129051051	2,117915904	2,080424594	2,055048915
422	0,171433	2,08802707	2,077599305	2,06673186	2,030115976	2,005330543
423	0,174944	2,038359941	2,028138235	2,017528169	1,981754564	1,957537085
424	0,178473	1,99060238	1,980579788	1,970217231	1,93525419	1,911583332
425	0,182018	1,944670189	1,934840026	1,924715542	1,890532718	1,867388066
426	0,185578	1,90048313	1,890838961	1,880943529	1,847511878	1,824873892
427	0,18915	1,857964757	1,848500389	1,838825381	1,806117104	1,783967078
428	0,192734	1,81704225	1,80775172	1,798288884	1,766277368	1,744597394
429	0,196327	1,777646252	1,768523822	1,759265263	1,727925028	1,706697955
430	0,19993	1,739710713	1,730750857	1,721689021	1,690995664	1,670205068
431	0,203539	1,703172734	1,694370132	1,68549779	1,655427939	1,635058085
432	0,207154	1,667972422	1,659321952	1,650632182	1,621163445	1,601199256
433	0,210774	1,634052743	1,625549471	1,617035649	1,588146567	1,568573596
434	0,214396	1,601359387	1,592998562	1,584654341	1,556324348	1,537128744
435	0,21802	1,569840634	1,561617679	1,55343698	1,525646359	1,506814844
436	0,221644	1,539447228	1,531357734	1,523334732	1,496064576	1,477584415
437	0,225267	1,510132255	1,502171972	1,494301086	1,467533326	1,449392237
438	0,228888	1,481851025	1,474015859	1,466291737	1,440008844	1,422195237
439	0,232504	1,454560967	1,446846971	1,439264479	1,413449823	1,395952384
440	0,236116	1,428221515	1,420624884	1,413179101	1,387816656	1,370624586
441	0,239721	1,402794015	1,395311079	1,387997283	1,363071661	1,34617459
442	0,243318	1,378241624	1,370868845	1,363682502	1,339178927	1,322566895
443	0,246907	1,354529221	1,347263185	1,340199946	1,316104221	1,29976766
444	0,250485	1,331623321	1,324460736	1,317516421	1,293814905	1,27774462
445	0,254052	1,309491992	1,302429679	1,295600276	1,272279858	1,256467009
446	0,257607	1,288104776	1,281139668	1,274421322	1,251469396	1,235905484
447	0,261148	1,267432617	1,260561752	1,253950758	1,231355202	1,216032054
448	0,264674	1,247447789	1,240668309	1,234161104	1,211910256	1,196820008
449	0,268184	1,22812383	1,221432974	1,215026133	1,193108773	1,178243857
450	0,271677	1,209435481	1,202830581	1,196520809	1,174926136	1,160279269
451	0,275151	1,191358622	1,1848371	1,178621228	1,157338845	1,142903012
452	0,278607	1,173870217	1,167429583	1,161304559	1,140324453	1,1260929
453	0,282042	1,156948263	1,150586108	1,144548997	1,123861522	1,109827742
454	0,285457	1,140571734	1,134285732	1,128333704	1,107929567	1,094087288
455	0,288849	1,124720539	1,118508438	1,112638769	1,092509011	1,07885219
456	0,292218	1,10937547	1,103235092	1,097445158	1,077581142	1,064103952

Продолжение таблицы 10

457	0,295563	1,094518163	1,088447401	1,082734672	1,06312807	1,049824889
458	0,298882	1,080131055	1,074127871	1,068489908	1,049132686	1,035998092
459	0,302177	1,066197346	1,060259767	1,054694217	1,035578624	1,022607385
460	0,305444	1,052700964	1,046827078	1,041331674	1,022450226	1,009637291
461	0,308684	1,039626525	1,033814483	1,028387034	1,009732508	0,997073001
462	0,311895	1,026959305	1,021207315	1,015845709	0,997411129	0,98490034
463	0,315078	1,014685207	1,008991533	1,003693729	0,985472357	0,973105736
464	0,31823	1,002790731	0,99715369	0,991917719	0,973903043	0,961676194
465	0,321352	0,991262946	0,985680908	0,980504867	0,962690593	0,950599266
466	0,324443	0,980089465	0,974560848	0,969442898	0,951822942	0,939863029
467	0,327502	0,969258417	0,963781688	0,958720051	0,941288529	0,929456055
468	0,330528	0,958758424	0,953332097	0,948325054	0,931076273	0,919367395
469	0,33352	0,94857858	0,943201211	0,938247101	0,921175554	0,909586552
470	0,336479	0,938708429	0,933378618	0,928475832	0,911576189	0,90010346
471	0,339404	0,92913794	0,923854328	0,919001311	0,90226841	0,89090847
472	0,342293	0,919857497	0,914618764	0,909814009	0,893242853	0,881992323
473	0,345147	0,91085787	0,905662736	0,900904785	0,88449053	0,873346141
474	0,347965	0,902130207	0,896977425	0,892264866	0,876002822	0,864961402
475	0,350747	0,893666009	0,888554372	0,883885835	0,867771454	0,856829931
476	0,353491	0,885457122	0,880385453	0,875759613	0,859788485	0,84894388
477	0,356198	0,877495716	0,872462872	0,867878445	0,852046293	0,841295716
478	0,358867	0,869774276	0,864779146	0,860234883	0,84453756	0,833878207
479	0,361497	0,862285582	0,857327086	0,852821778	0,837255258	0,826684408
480	0,364089	0,855022704	0,850099789	0,845632264	0,830192639	0,81970765
481	0,366642	0,847978983	0,843090627	0,838659746	0,823343221	0,812941529
482	0,369155	0,841148025	0,836293231	0,831897888	0,816700777	0,806379891
483	0,371629	0,834523684	0,829701484	0,825340605	0,810259328	0,800016826
484	0,374063	0,82810006	0,823309507	0,818982049	0,804013125	0,793846655
485	0,376456	0,821871478	0,817111653	0,812816603	0,797956649	0,787863922
486	0,378808	0,81583249	0,8111102496	0,806838868	0,792084593	0,782063385
487	0,38112	0,809977856	0,80527682	0,801043656	0,786391858	0,776440005
488	0,38339	0,804302545	0,799629613	0,795425981	0,780873546	0,770988941
489	0,385619	0,798801718	0,794156059	0,789981052	0,775524947	0,765705539
490	0,387807	0,793470726	0,78885153	0,784704263	0,770341536	0,760585329
500	0,407355	0,748599734	0,744204504	0,740290772	0,726714845	0,717491232
510	0,422596	0,648599734	0,644204504	0,640290772	0,626714845	0,617491232

Выводы по 2-му разделу бакалаврской работы

Тепловой расчет показал, что некоторые технические решения, повышающие надежность силовой установки транспортного средства, позволяют также и улучшить мощностные и эффективные показатели работы модернизированного двигателя.

3 Кинематический и динамический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя

3.1 Кинематический расчет кривошипно-шатунного механизма двигателя

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

Результаты расчета перемещения, скорости и ускорения поршня приведены на рисунках 2, 3 и 4.

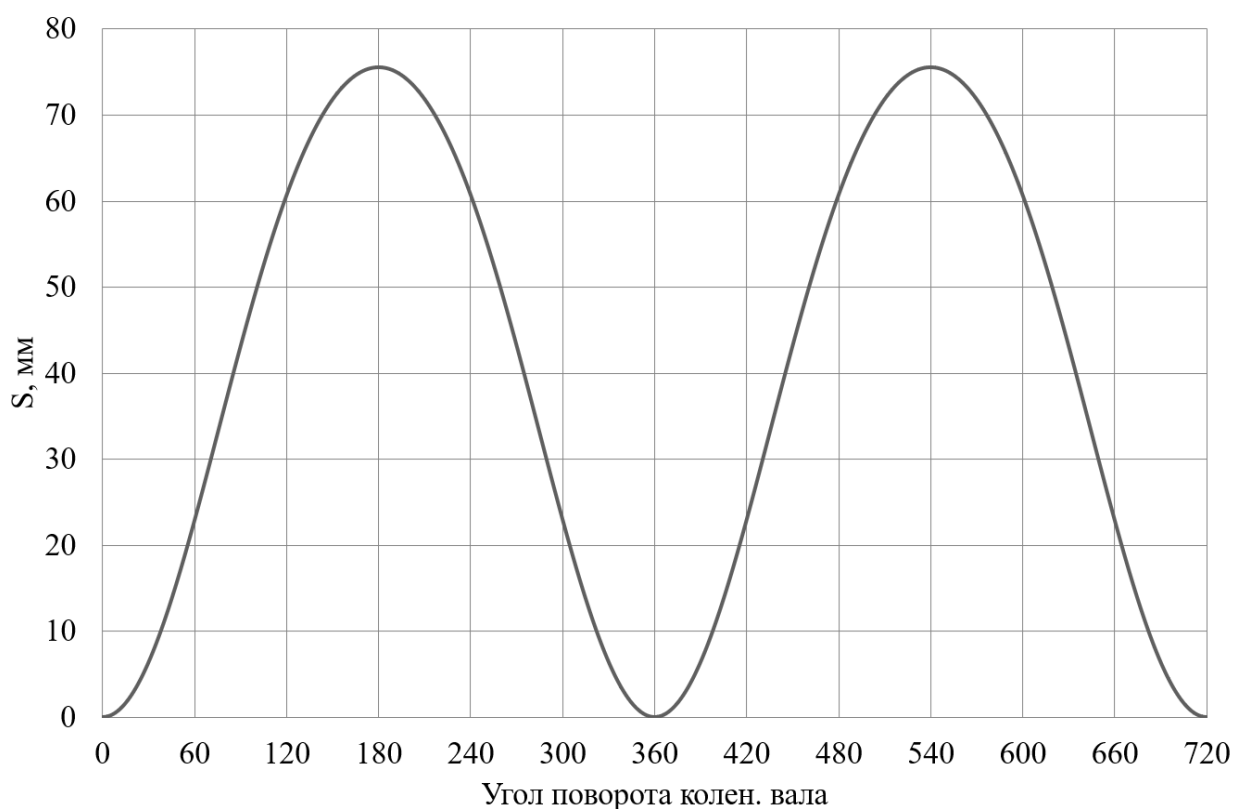


Рисунок 2 – Диаграмма изменения хода поршня

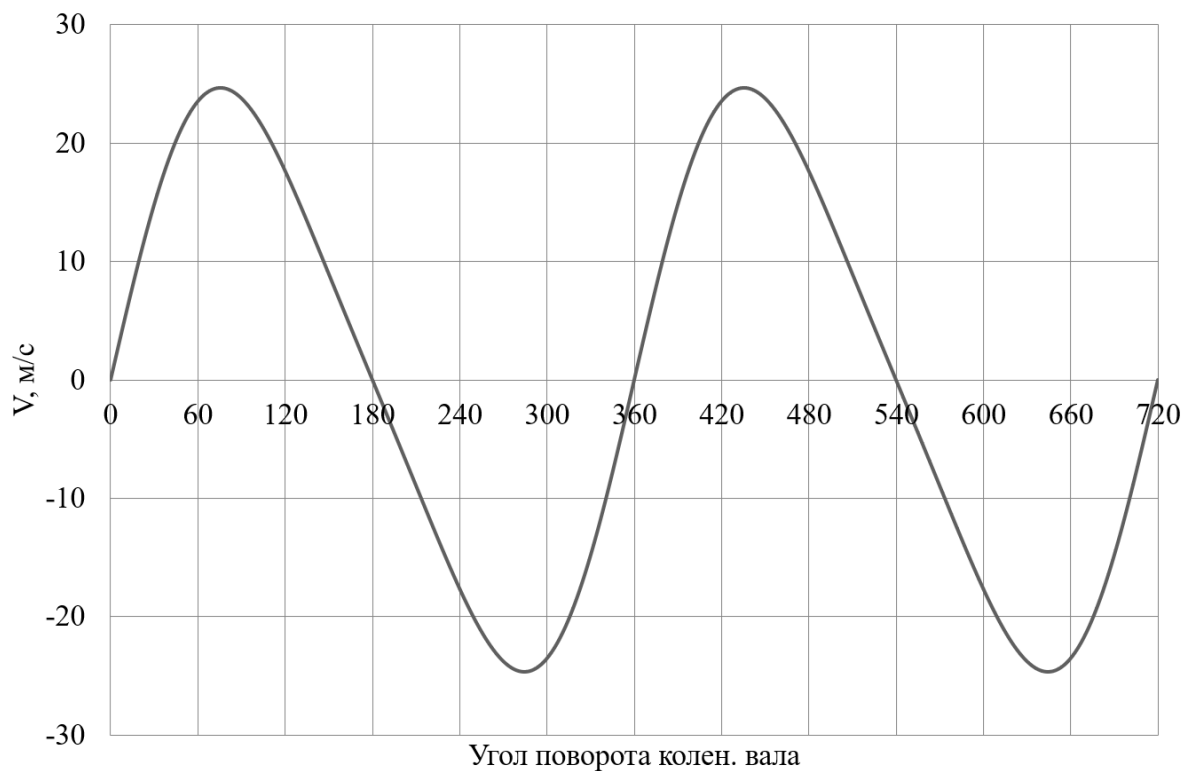


Рисунок 3 – Диаграмма изменения скорости поршня

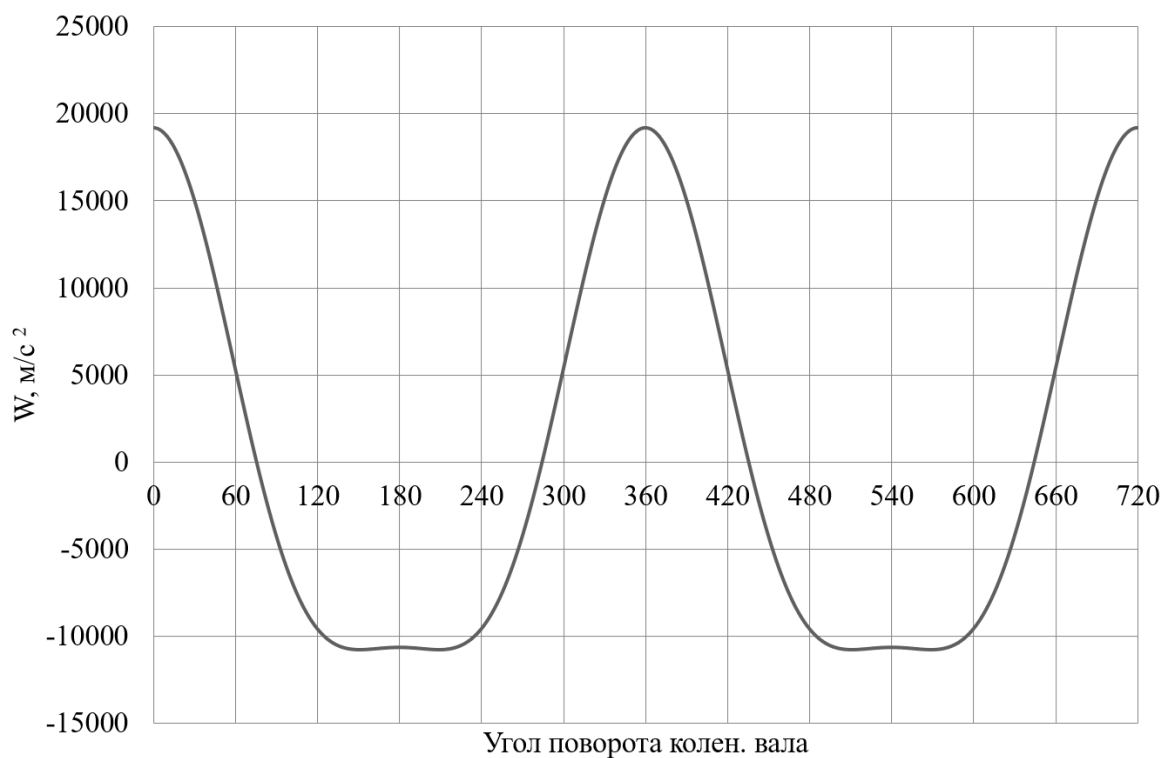


Рисунок 4 – Диаграмма изменения ускорения поршня

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 6000 мин^{-1} , для условий работы в базовом и модернизированном варианте двигателя.

Результаты приведение масс кривошипно-шатунного механизма по двух массовой схеме показаны в таблице 11.

Таблица 11 – Приведение масс кривошипно-шатунного механизма

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

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

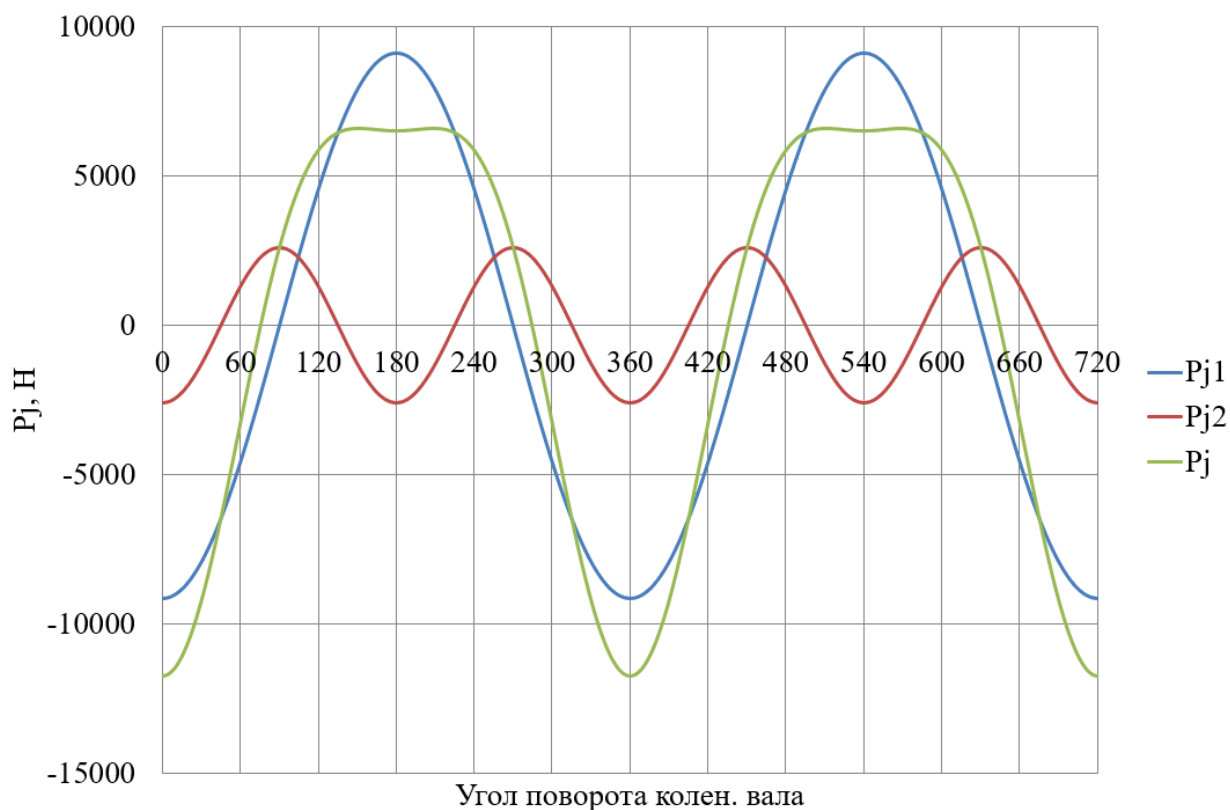


Рисунок 5 – Силы инерции возвратно-поступательного движения поршня и шатуна

На рисунке 6 приведено сравнение суммарных сил, действующих на поршневой палец двигателя при работе в базовом и модернизированном варианте двигателя.

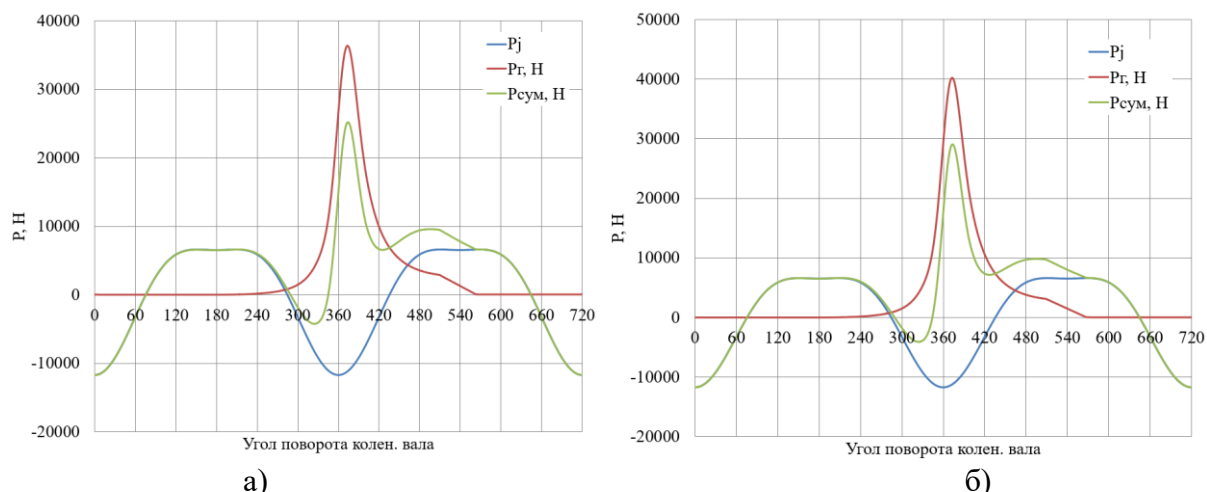


Рисунок 6 – Суммарные силы, действующие на поршневой палец двигателя: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

На рисунке 7 приведено сравнение сил, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки в базовом и модернизированном

варианте двигателя. Видим, увеличение наполнения приводит к увеличению изгибающих коленчатый вал сил на 5000 Н.

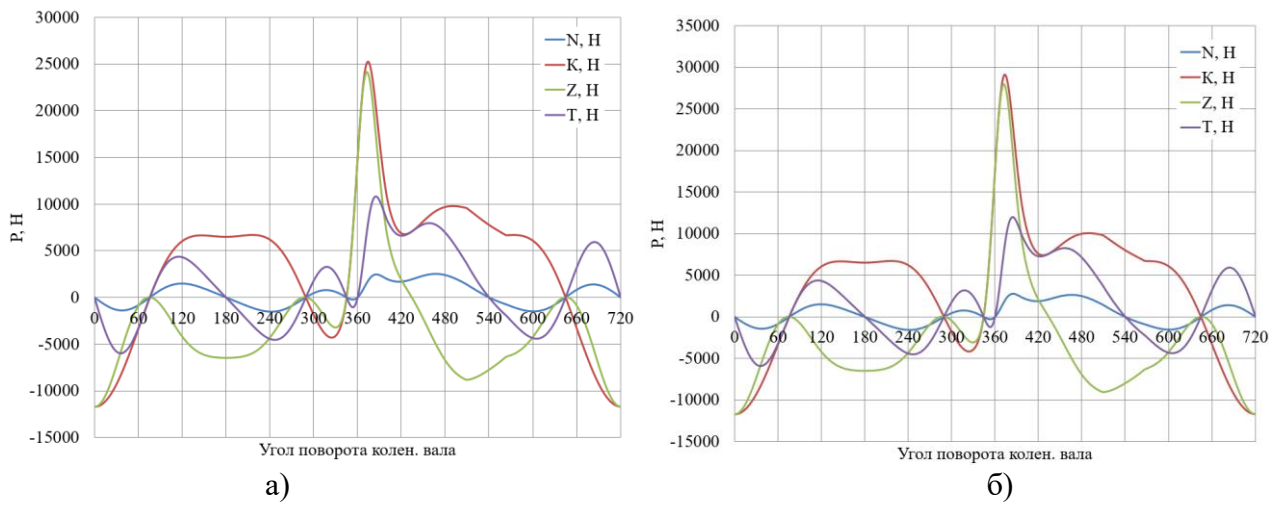


Рисунок 7 – Силы, сосредоточенные на оси поршневого пальца и шатунной шейки двигателя: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

На рисунке 8 приведено сравнение крутящего момента двигателя в базовом и модернизированном варианте двигателя.

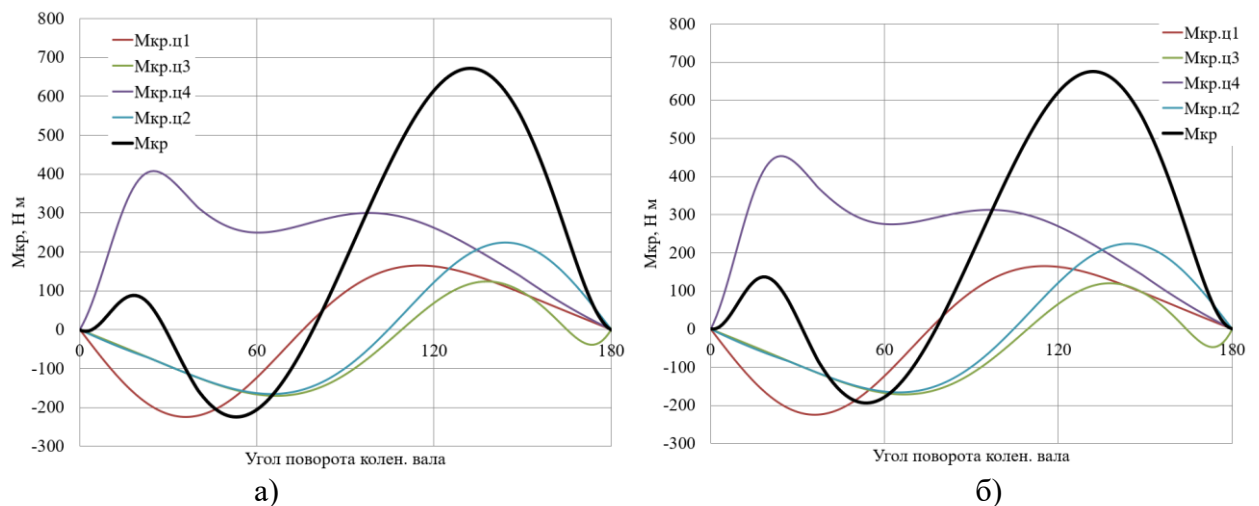


Рисунок 8 – График крутящего момента: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

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

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

На рисунке 9 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в прямоугольных координатах в базовом и модернизированном варианте двигателя. Видим, что с улучшением наполнения вследствие использования роликового толкателя через коромысло резко возрастают нагрузки в зоне пикового давления 350 – 380 градусов ПКВ. Рост нагрузки составляет 5000 Н, что составляет 30% нагрузки при работе базового двигателя.

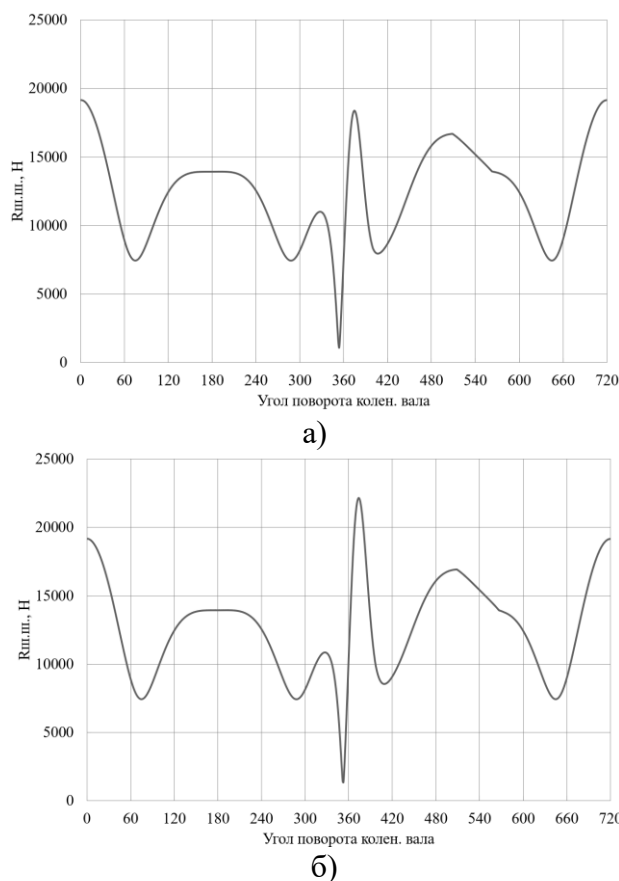
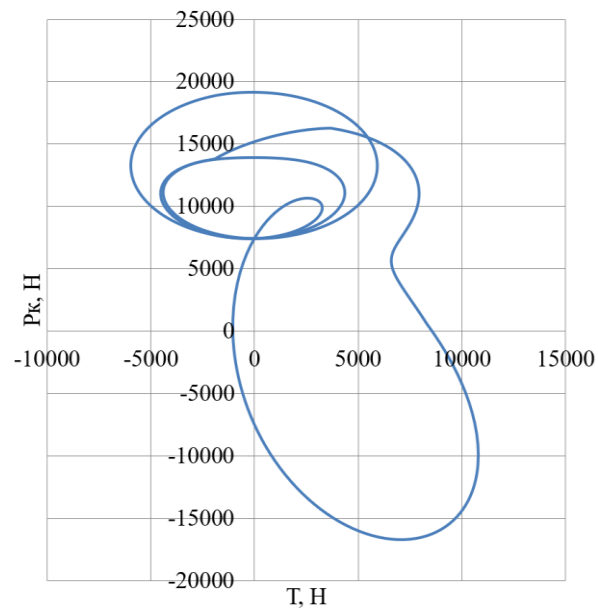
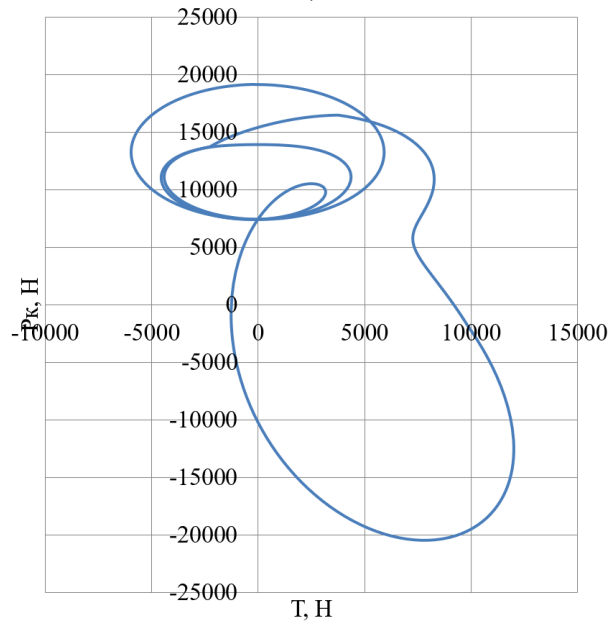


Рисунок 9 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

На рисунке 10 приведено сравнение суммарной силы, действующую на шатунную шейку в полярных координатах в базовом и модернизированном варианте двигателя. Видим, что с улучшением наполнения, происходит рост нагрузки на одном лишь участке шатунной шейки.



а)



б)

Рисунок 10 – Суммарная сила, действующая на шатунную шейку в полярных координатах: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

На рисунке 11 приведено сравнение суммарных сил, действующих на коренные шейки в прямоугольных координатах в базовом и модернизированном варианте двигателя.

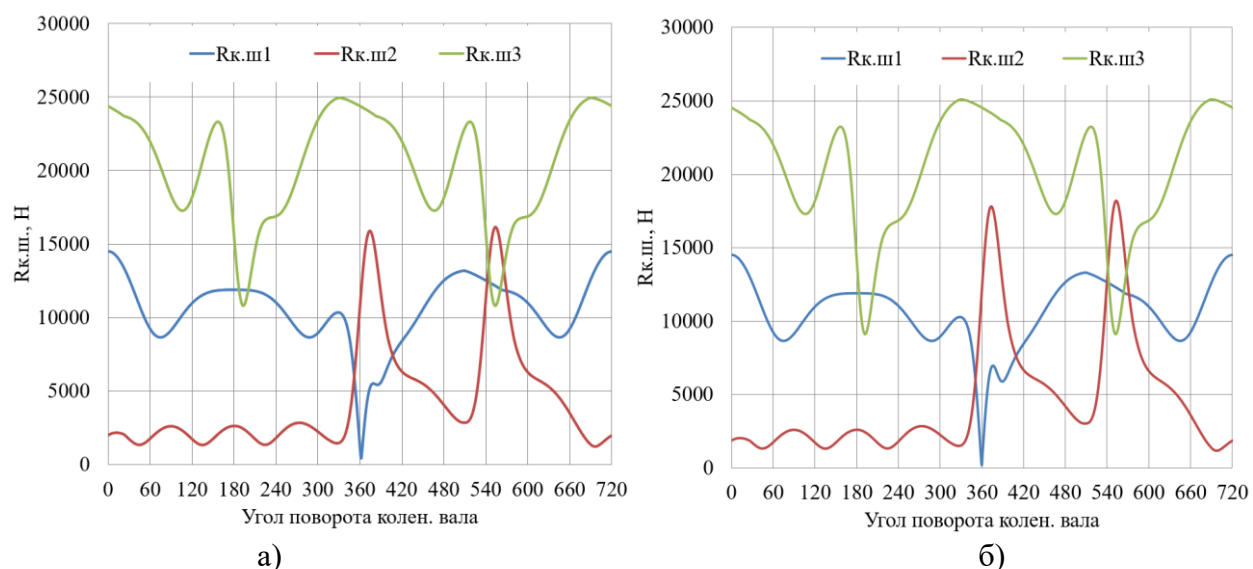


Рисунок 11 – Суммарные силы, действующие на коренные шейки в прямоугольных координатах: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

Видим, что с улучшением наполнения, также растут нагрузки в зонах действия максимального давления. Видно, что имеются зоны низких нагрузок, в этой зоне и рекомендуется расположить ось масляного канала.

На рисунке 12 приведено сравнение суммарных сил, действующих на 1-ю коренную шейку в полярных координатах при работе в базовом и модернизированном варианте двигателя. Видим, что с улучшением наполнения, значительно возрастают нагрузки на одну часть коренной шейки, что позволяет для повышения износостойкости провести целевое упрочнение этой более нагруженной части коренной шейки. Видно, что имеются зоны низких нагрузок на коренную шейку, в этой зоне и рекомендуется расположить ось масляного канала.

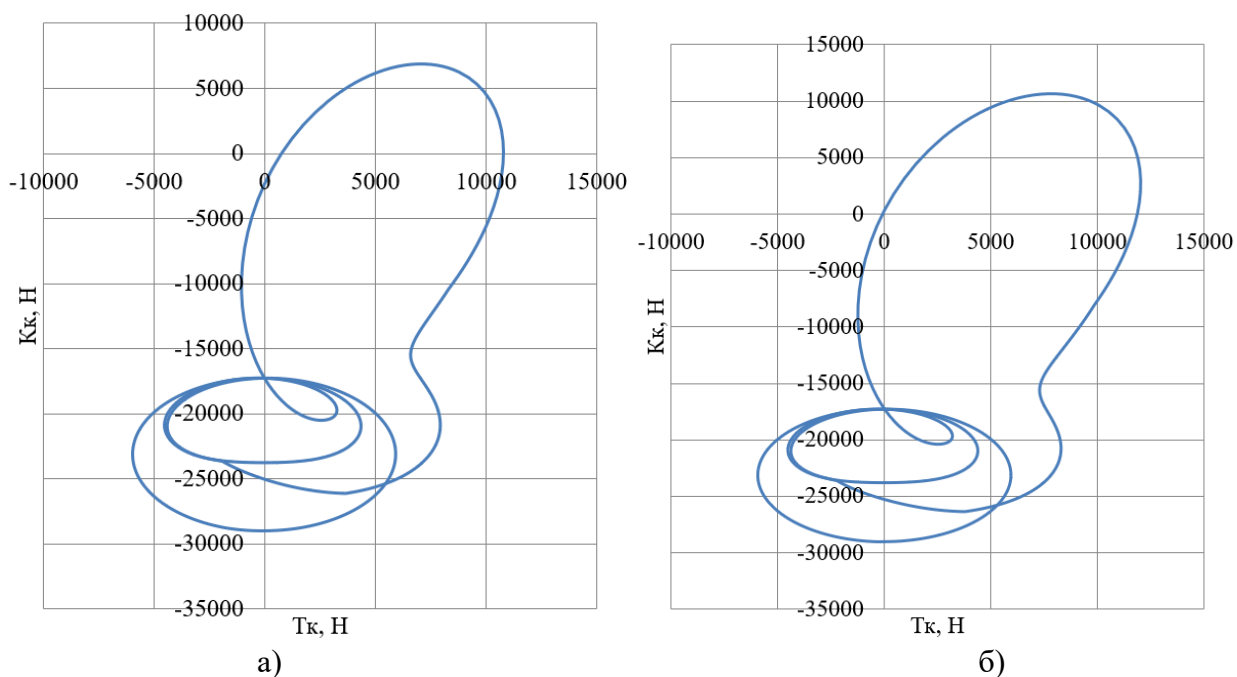


Рисунок 12 – Суммарные силы, действующие на 1-ю коренную шейку в полярных координатах: (а) базовый двигатель и (б) модернизированный двигатель

Выводы по 3-му разделу

Как мы видим повышение наполнения цилиндра вследствие улучшения условий впуска при установке роликового толкателя с увеличенным ходом клапана не приводит к значительному росту нагрузок и принципиальным сложностям, связанным со снижением ресурса элементов кривошипно-шатунного механизма. Имеются локальные постоянные зоны повышенных нагрузок, с углом повышенного нагружения примерно в 40 градусов ПКВ. Узость зоны повышенных нагрузок позволяет, говорить об возможности эффективного локального упрочнения, что позволяет не повышать значительно габариты элементов КШМ.

4 Анализ повышение надежности модернизированной силовой установки транспортного средства на базе двигателя ВАЗ-11186

Для того, чтобы оценить возможности повышения надежности силовой установки транспортного средства, разберем с начала, а в чем проблема надёжности современного двигателя. Первая проблема надежности — это стоимость деталей, и согласно существующей концепции обоснования баланса стоимость надежность, следует, что детали одного механизма должны иметь надежность наименее надежного объекта [5-10]. Это обосновано с точки зрения проведения ремонтных работ. Правильнее при выходе из строя одной детали заменять и соседние износившиеся но еще не выработавшие свой срок, так как грубо говоря если у вас например поршневой палец выйдет из строя через 100 тысяч пробега, кольца через 120 тысяч пробега, а поршень через 140 тысяч, то правильнее при замене поршневого пальца сразу менять и всю поршковую группу по возможности с гильзой цилиндра. Это связано с тем, что стоимость работ по ремонту зачастую может превышать стоимость заменяемых деталей. В связи с таким подходом для повышения надежности нужно повышать ресурс всех элементов двигателя.

Вторая проблема надежности — это эксплуатация за пределами безопасной работы, а именно дефекты сгорания (калильное зажигание, пропуски зажигания и детонация), проблемы охлаждения, проблемы смазывания деталей и т.д. [11-15]

Третья проблема надежности — это стоимость и технологичность принимаемого решения, зачастую существующие технологии повышения надежности деталей сталкиваются с проблемой высокой стоимости и(или) сложностями с получением технологий и оборудования для производства деталей с большими ресурсными характеристиками [16-20].

Попробуем обобщить имеющиеся знания на примере анализа изменения конструкции двигателя ВАЗ-11186, и как это скажется на повышении надежности.

4.1 Повышение надежности элементов кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы модернизированной силовой установки транспортного средства на базе двигателя ВАЗ-11186

4.1.1 Повышение надежности коленчатого вала

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают коленчатые валы: микролегированная сталь, Cr-Mo сталь, углеродистая сталь и чугун с шаровидным графитом [21,22].

Коленчатые валы нуждаются в высокопрочных материалах, но они, как правило, имеют низкую ковкость или обрабатываемость, и, как следствие, являются дорогостоящими в использовании. Хромомолибденовая сталь дает более высокую прочность, но более высокое сопротивление деформации сокращает срок службы штампа.

Для продления срока службы коленчатого вала его шейки необходимо подвергнуть к поверхностному упрочнению (азотирование, науглероживание, нитроцементация и др.). Науглероживание состоит из серии термических обработок; науглероживание, закалка и закалка.

Конструктивно для повышения надежности следует снизить частоту вращения и улучшить тяговые качества при работе на низких оборотах. Двигателя ВАЗ-11186 в большей мере используется при езде по городу, где более целесообразно переместить зону максимального крутящего момента в зону низких частот вращения, до 2000 об/мин.

4.1.2 Повышение надежности шатуна

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают шатуны: чугун с шаровидным графитом, сталь Si-Cr, нержавеющая сталь [23,24].

Шатун должен выдерживать очень большие усилия, когда поршень перемещается внутри отверстие цилиндра. Осевая часть шатуна подвергается изгибу, т.к. а также растяжение и сжатие. Несущие части воспринимают нагрузку от веса поршня и шатуна. Во избежание выхода из строя подшипников шатун должен быть максимально облегчен. Во избежание деформации стержень часть обычно имеет форму двутавровой балки из-за высокой жесткости по отношению к весу соотношение этой формы (рисунок 13).

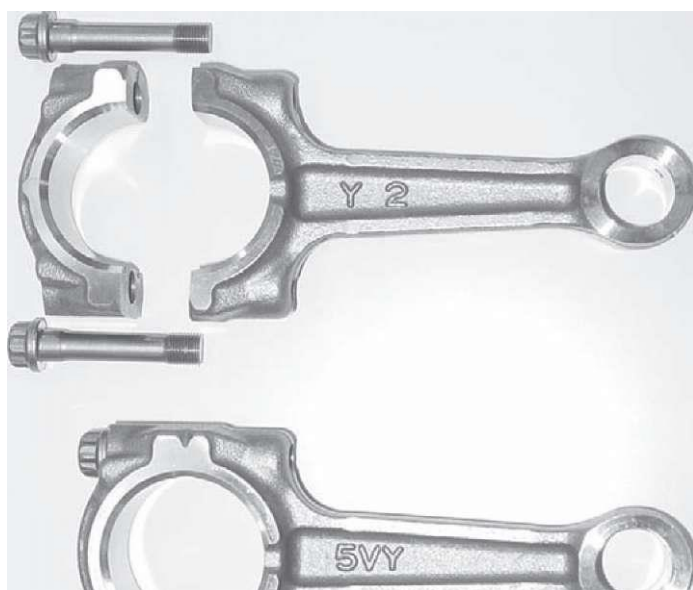


Рисунок 13 – Шатун сборочного типа для четырехтактного двигателя, разъемный шатун из науглероженной хромомолибденовой стали. В разобранном и собранном состоянии.

Подшипник скольжения также должен обладать способностью поглощать грязь, металл или другие твердые частицы, которые иногда попадают в подшипники. Подшипник должны позволить частицам погрузиться под поверхность и в подшипник материал. Это предотвратит их от царапин, износа и повреждения поверхность булавки. Коррозионная стойкость также требуется, поскольку подшипник должен противостоять коррозии от кислоты, воды и других примесей в моторном масле [25,26].

В настоящее время обычно используются два мягких материала; Сплав Al-Sn-Si (рисунок 14) и Cu-Pb сплав. Сплав Cu-Pb используется для тяжелых условий эксплуатации, таких как дизельное топливо. двигателей и мотоциклов и способен выдерживать контактное давление свыше 100 МПа [27,28].

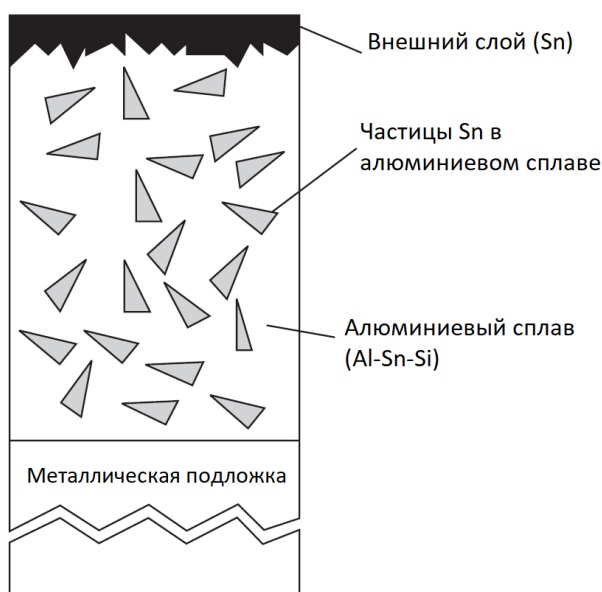


Рисунок 14 – Поперечное сечение подшипника скольжения, состоящего из трех слоев.

Металлы подшипников содержат мягкие металлы, такие как олово или свинец. Эти мягкие металлы может деформироваться по форме соседней детали (в данном случае шатунной шейки) а также создавать мелкие масляные лужи на трущихся поверхностях. Однако, если подшипник состоит только из мягких металлов, быстро изнашивается. Соответствующие свойства износа обеспечиваются мелкими частицами олова, диспергированными в более твердом алюминиевом сплаве. Эту функцию в медно-свинцовом сплаве выполняют частицы свинца. Хотя подшипники, содержащие свинец, имеют превосходные свойства материала, экологические соображения привели к разработке подшипника Cu-Sn-Ag в качестве альтернативы Медно-свинцовый подшипник. Сплав Al-Sn-Si также

используется для замены подшипников Al-Pb. Использование свинца в качестве подшипникового металла сокращается [29,30].

4.1.3 Повышение надежности поршня

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают поршни: сплав Al-Si-Cu-Mg [31,32].

Блок цилиндров, обладает большой теплоемкостью и использует жидкостную систему охлаждения, поэтому греется медленно. Если рабочий зазор между поршень и гильзой цилиндра слишком узкое, то расширенный поршень будет коснуться стенки цилиндра мгновенно. Если зазор слишком велик, это может привести к удару дымовых газов при прогреве блока. Когда двигатель работает не прогревшись, большой рабочий зазор будет вызывать шум, потому что поршень стучит при переключке о стенку гильзы цилиндра. Следовательно, материал поршня должен иметь низкий тепловой коэффициент расширения. Для этих целей подходит сплав алюминия с высоким содержания кремния Si до 12% или 19%. Легированный Si снижает коэффициент теплового расширения из-за того, что у Si составляет всего $9,6 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, в то время как у алюминия коэффициент теплового расширения до $23,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. А низкая плотность кремния (чистый Si $2,33 \text{ г/см}^3$) также повышает его износостойкость. Легированный кремний также очень эффективен в предотвращении заедания поршневого кольца в кольцевую канавку.

Следовательно, для повышения надежности поршня его нужно изготовить из высоколегированного сплава алюминия и кремния с содержанием кремния Si до 16% - 18%. А для усиления канавок под поршневые кольца применим процесс анодирования или местного оксидирования.

4.1.4 Повышение надежности поршневых колец

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают поршневые кольца: серый чугун, чугун с шаровидным графитом, легированный чугун, пружинная сталь и нержавеющей сталь [33,34].

Поршневые кольца должны отвечать двум основным требованиям, это герметизация над поршневого пространства и теплоотвод от головки поршня. По этой причине мы выбираем оба компрессионных кольца прямоугольной формы в рабочем состоянии. Такая форма позволит обеспечить максимальный теплоотвод от поршня, что повысит его ресурс и снизит температуру.

4.1.5 Повышение надежности блока цилиндров и гильз цилиндров

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают блоки цилиндров: серый чугун, чугун с компактным графитом, литой алюминиевый сплав [35,36].

В двигателях, требующих очень длительного срока службы, применяется дополнительная термическая обработка поверхности цилиндров.

Четырехтактные двигатели разбрызгивают масло на стенку цилиндра для смазки и охлаждения.

Для удаления избытка масла устанавливается высокое контактное давление маслосъемного кольца. Это снижает расход масла. Следовательно, стенка отверстия должна иметь более высокую износостойкость. Для повышения долговечности часто используется твердый серый чугун, содержащий фосфор (Р). Повышенное содержание фосфора кристаллизуется из расплава в виде твердого стедита. Он имеет химический состав Fe_3P . Любопытная форма стедита связана с его низкой температурой замерзания. Кристалл железа затвердевает первым. Затем остаточная жидкость затвердевает, образуя стедит в пространстве между кристаллами железа. Этот состав сплава обладает хорошей износостойкостью из-за высокой твердости, но низкой обрабатываемостью.

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают гильзы цилиндров: азотированные гильзы, фосфатное конверсионное покрытие гильзы также предотвращает коррозию. Вместо жесткой футеровки стенку

отверстия монолитного чугунного блока можно также подвергнуть прерывистой закалке лазерным или индукционным нагревом.

Так как ставится вопрос повышение надежности, то литой алюминиевый блок не подходит по причине наличия слабого места, а именно уплотнения гильзы цилиндра. Двигатель ВАЗ-11186 не относится к типу сильно форсированных и поэтому эффективнее будет применить стальные гильзы цилиндров залитые (рисунок 15) в чугунный блок методом литья в песчаные формы. Преимуществом данного решения в направлении повышения надежности будет следующее:

- Залитая в чугун стальная гильза имеет близкий коэффициент линейного расширения, а также имеет хорошую теплопроводность по границе гильза-блок из-за отсутствия любых зазоров между деталями.
- Высоколегированная стальная гильза имеет высокий ресурс по сравнению с гильзой, выполненной в виде упрочнения поверхностного слоя блока цилиндров.
- Имеется возможность применить технологии повышения долговечности зеркала гильзы цилиндра.

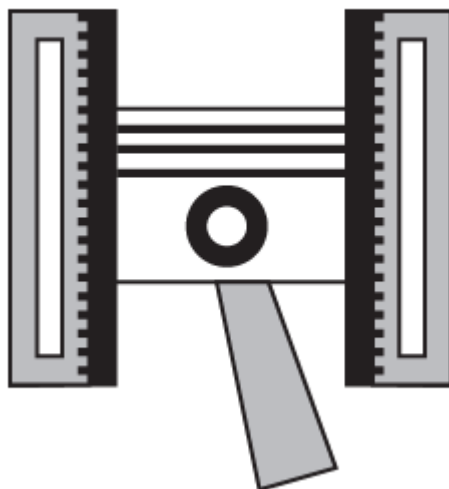


Рисунок 15 – Стальные гильзы цилиндров залитые в чугунный блок

4.2 Повышение надежности элементов механизма газораспределения и системы питания модернизированной силовой установки транспортного средства на базе двигателя ВАЗ-11186

4.2.1 Повышение надежности клапанного механизма

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают распределительный вал [37]:

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают клапан: впускной - ковка из мартенситной жаропрочной стали JIS-SUH3, выпускной – Аустенитная жаропрочная сталь JIS-SUH35 (венец) ковка + JIS-SUH1 или SUH3 (вал), сваренная трением. Наплавка стеллита на поверхность клапана.

Были испытаны новые материалы для изготовления облегченных клапанов. Для двигателей с клапанами большого диаметра легкие материалы являются несомненным преимуществом. Клапаны из нитрида кремния (Si_3N_4), показанные на рисунке 16, были исследованы экстенсивно. Si_3N_4 весит всего $3,2 \text{ г/см}^3$. Он имеет прочность на изгиб 970 МПа при комнатной температуре и 890 МПа даже при $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Напротив, аустенитная сталь SUH35 имеет прочность на изгиб всего 400 МПа при $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Сообщалось, что снижение веса за счет использования Si_3N_4 вместо клапана из жаропрочной стали составляет 40% .



Рисунок 16 – Керамический клапан Si_3N_4

Так как стоимость модернизации не имеет значения, то применим новую технологию по изготовлению керамических клапанов, которые имеют лучшие характеристики по износостойкости и массе.

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают седла клапанов: жаропрочный и износостойкий спеченный материал на основе железа (запрессовка в головку блока цилиндров).

В прошлом седла клапанов изготавливались из чугуна, но сейчас более распространены спеченные материалы. На рисунке 17 показана микроструктура материала седла клапана.

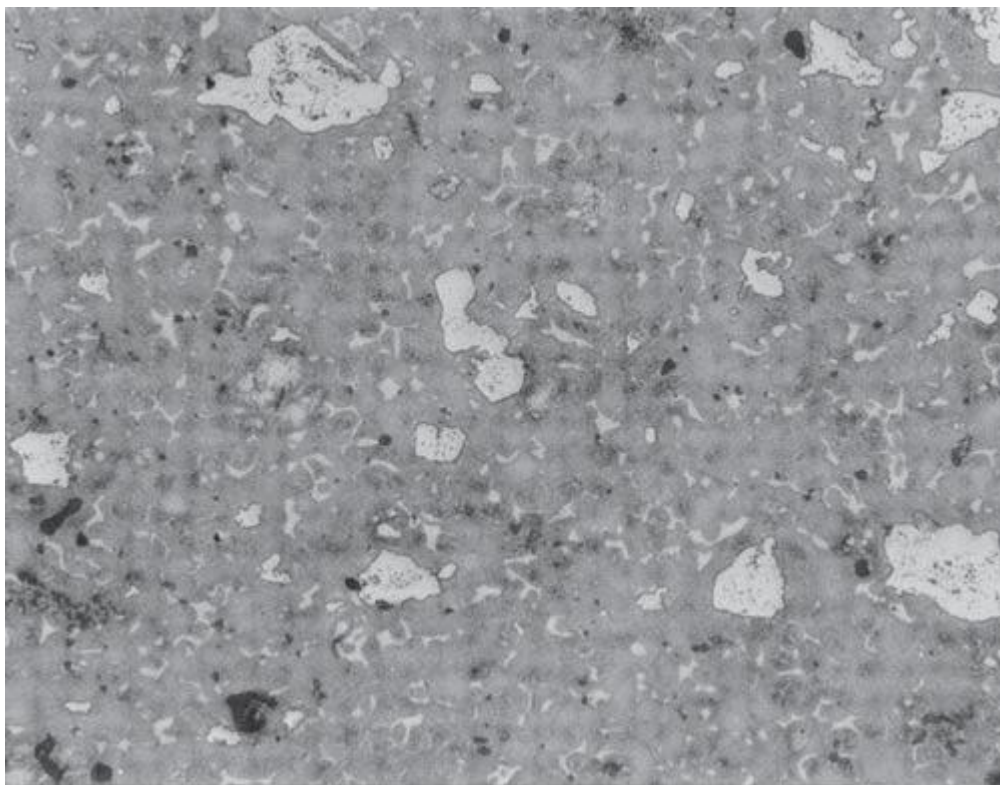


Рисунок 17 – Микроструктура материала седла клапана, содержащего большие шаровидные карбиды W, V и/или Cr размером около 30 мкм (около 1700 HV). Матрица имеет микроструктуру сорбита (около 300 HV). Инфильтрованная медь также наблюдается среди стальных частиц. Частицы стали спекаются в первую очередь. Он содержит поры между частицами. Cu проникает в поры.

Как правило, материалы седла клапана представляют собой спеченные сплавы на основе железа с повышенным содержанием Ni, Co, Cr и W. Композиции с высоким содержанием Cr и W увеличивают дисперсию

карбида. Седло выпускного клапана содержит самые высокие уровни, поскольку оно подвергается более сильному износу при более высоких температурах. Си и/или Pb22 включены в качестве твердых смазочных материалов.

Седло выпускного клапана не получают смазочное масло во время работы, поэтому они работают в области трибологии, где композиционные материалы являются наиболее подходящими.

4.2.2 Повышение надежности распределительного вала

Современные материалы и металлы, из которых изготавливают распределительный вал: отбеленный чугун, закаливаемый чугун или JIS-SCM420 [38]. Для повышения надежности и хода клапана предлагается применить роликовый толкатель (рисунок 18), как толкатель, имеющий наименьшее трение при работе (рисунок 19).

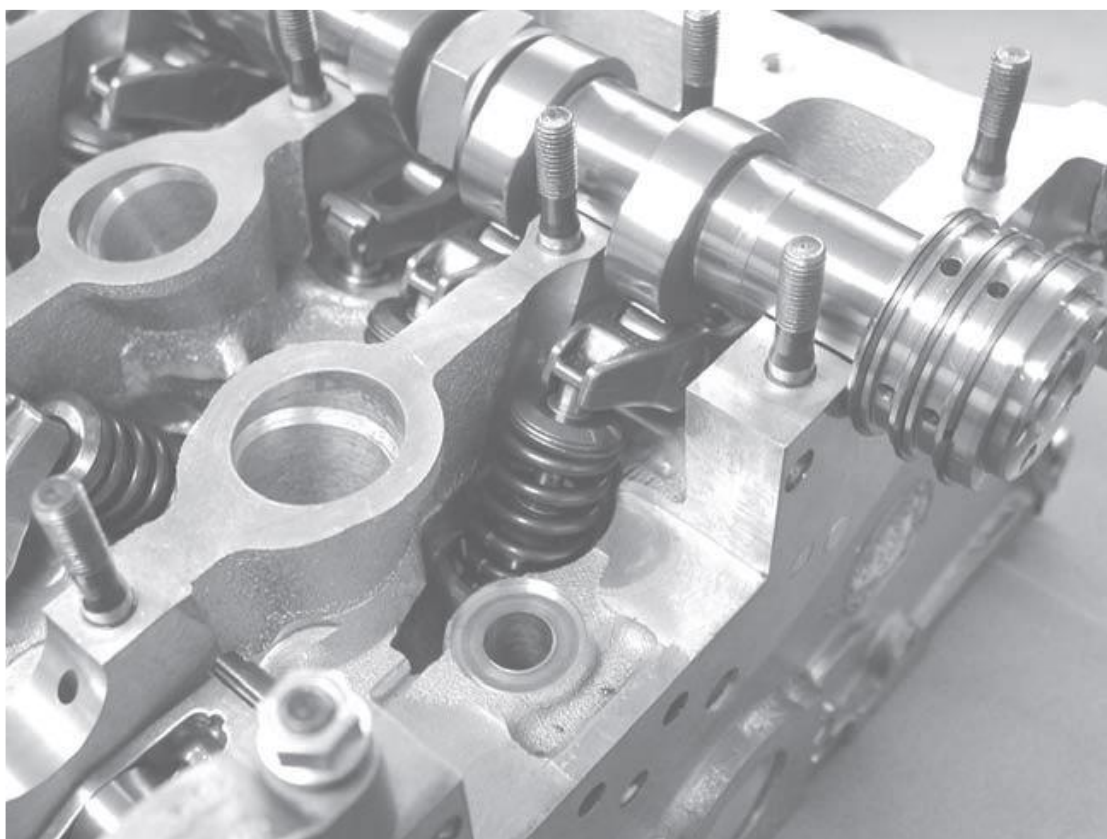


Рисунок 18 – Роликовый толкатель распредвала

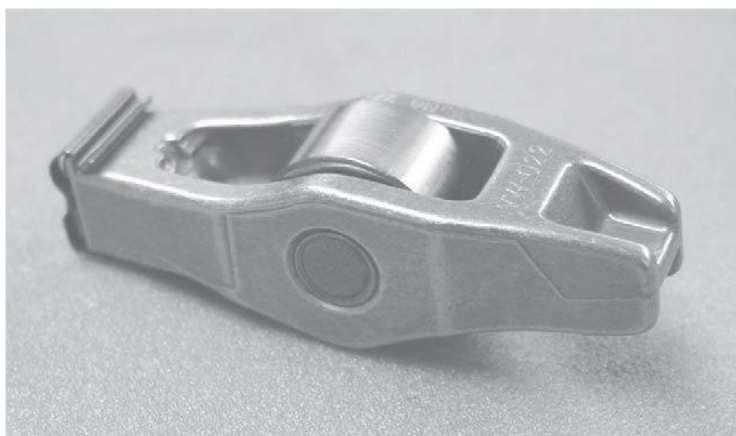


Рисунок 19 – Коромысло с роликом

Для повышения надежности распределительный вал делается в виде полый трубы, на которую запрессовывают кулачки. Крутящий момент привода при работе с роликовыми толкателями настолько низок, как одна треть от обычного коромысла или непосредственного привода клапанов.

4.2.3 Повышение надежности системы охлаждения

Температурный менеджмент – важная тема для производителей. Все тепло, выделяемое в двигателе и его независимых системах, должно отводиться. Управление температурным режимом необходимо сегодня для управления работой и температура окружающей среды (двигатель и салон), потому что рабочая температура двигателя должна оставаться в узких пределах. Повышенная рабочая температура может ухудшить показатели выхлопных газов, которые может привести к неправильному управлению двигателем.

Типичный пример современного охлаждающего модуля (рисунок 16). Модуль состоит из Охладитель охлаждающей жидкости, охладитель моторного масла, конденсатор, охладитель трансмиссионного масла, гидроусилитель руля - охладитель и вентилятор конденсатора.

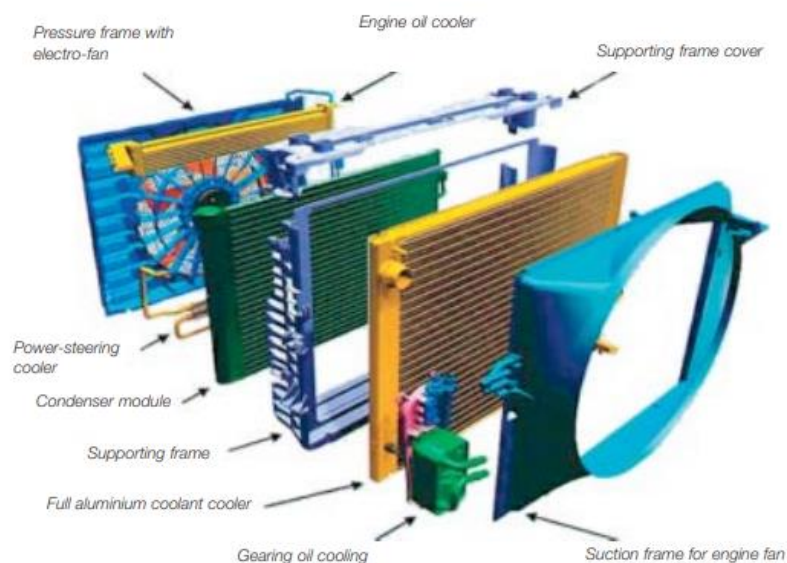


Рисунок 20 – Типичный пример современного охлаждающего модуля

Водяные насосы транспортируют охлаждающую жидкость по контуру и повышают давление. На водяные насосы также повлиял технический прогресс, но многие легковые и грузовые автомобили с водяными насосами с ременным приводом все еще доступны. Однако следующее поколение будет иметь водяные насосы с электронным управлением (рисунок 21). Эти водяные насосы работают по мере необходимости, подобно компрессору в контуре кондиционирования воздуха, который мы все знаем. Это оптимизирует рабочую температуру.



Рисунок 21 – Типичный водяной насос с электрическим приводом и электронный термостат

Для эффективного поддержания рабочей температуры в двигателе требуется установка водяного насоса с электрическим приводом и электронного термостата. Такая система позволит не допускать перегрев и быстрее прогревать холодный двигатель, что благоприятно скажется на условиях работы цилиндропоршневой группы её надежности.

4.2.4 Повышение надежности системы смазки

Основным направлением, повышающим надежность системы смазки, является, направление контролирующее качество смазки, его вязкость и давление в системе, а также направление, связанное с улучшением характеристик смазывания деталей двигателя. Перечислим эти действия для нашего модернизированного двигателя:

- Установка датчиков, контролирующих нагрузку на двигатель при холодном пуске до того момента пока вязкость масла, не выйдет на необходимый диапазон, а также сигнализирует в систему охлаждения о необходимости повысить интенсивность охлаждения если вязкость слишком сильно снизилась вследствие перегрева.

4.2.5 Повышение надежности системы питания и зажигания

Основной проблемой системы питания и зажигания, это стабильная работа на холодном или перегретом двигателе. Соответственно для холодного двигателя необходимо повысить характеристики искрового разряда для большей стабильности воспламенения, а для перегретого двигателя, необходимо в топливной рампе поставить датчик температуры, и в случае повышения температуры в ней больше установленного значения, обеспечить большую интенсивность покачивания холодным топливом из бака.

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, что для эффективной повышения надежности силовых установок на примере двигателя ВАЗ-11186, необходимо провести следующую модернизацию:

- Водяной насос с электрическим приводом и электронный термостат.
- Выполнить гильзы цилиндров из легированной жаропрочной стали и залить их в чугунный блок цилиндров, для сохранения интенсивности теплоотвода от камеры сгорания.
- Выполнить привод клапанов через роликовые толкатели коромысла.
- Снизить частоту вращения и обеспечить высокий крутящий момент на низких оборотах.
- Седла клапана изготовить из спеченного сплава на основе железа с повышенным содержанием Ni, Co, Cr и W.
- Выполнить клапаны из нитрида кремния (Si_3N_4).
- Для повышения надежности поршня его нужно изготовить из высоколегированного сплава алюминия и кремния с содержанием кремния Si до 16% - 18%.
- Для усиления канавок под поршневые кольца применим процесс анодирования или местного оксидирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе проведена модернизация двигателя ВАЗ-11186 с целью повышения надежности наиболее проблемных элементов двигателя, выполнены все необходимые расчеты и проведено конструирование предложенного объекта. Получены основные выводы по работе:

1. Применение привода клапана через ролик коромысла привело к улучшению наполнения почти на 10%, это позволило повысить мощность двигателя на номинальном режиме работы на 10 кВт.
2. Из динамического расчета получено, что с улучшением наполнения резко возрастают нагрузки в зоне пикового давления 350 – 380 градусов ПКВ. Рост нагрузки составляет 5000 Н, что составляет 30% нагрузки при работе базового двигателя.
3. Применяемые технологии и подходы для повышения надежности силовых установок транспортных средств, как правило имеют значительно более высокую стоимость, а также сложности изготовления на современном дорогостоящем оборудовании.

Выводы по 1-му разделу

В целом надежность двигателей, как и любой другой конструкции, определяется видом и качеством проявляющихся дефектов. Ресурс двигателя определяют прочностные и параметрические дефекты, надежность - прочностные и производственные. Безопасность эксплуатации связана с проявлением прочностных, производственных и эксплуатационных дефектов. Обязательным условием возможности увеличения ресурсов в эксплуатации является наличие высоких показателей надежности.

Выводы по 2-му разделу

Тепловой расчет показал, что некоторые технические решения, повышающие надежность силовой установки транспортного средства, позволяют также и улучшить мощностные и эффективные показатели работы модернизированного двигателя.

Выводы по 3-му разделу

Как мы видим повышение наполнения цилиндра вследствие улучшения условий впуска при установке роликового толкателя с увеличенным ходом клапана не приводит к значительному росту нагрузок и принципиальным сложностям, связанным со снижением ресурса элементов кривошипно-шатунного механизма. Имеются локальные постоянные зоны повышенных нагрузок, с углом повышенного нагружения примерно в 40 градусов ПКВ. Узость зоны повышенных нагрузок позволяет, говорить об возможности эффективного локального упрочнения, что позволяет не повышать значительно габариты элементов КШМ.

Выводы по 4-му разделу

Проведенный анализ показал, что для эффективной повышения надежности силовых установок на примере двигателя ВАЗ-11186, необходимо провести следующую модернизацию:

- Водяной насос с электрическим приводом и электронный термостат.
- Выполнить гильзы цилиндров из легированной жаропрочной стали и залить их в чугунный блок цилиндров, для сохранения интенсивности теплоотвода от камеры сгорания.
- Выполнить привод клапанов через роликовые толкатели коромысла.
- Снизить частоту вращения и обеспечить высокий крутящий момент на низких оборотах.
- Седла клапана изготовить из спеченного сплава на основе железа с повышенным содержанием Ni, Co, Cr и W.
- Выполнить клапаны из нитрида кремния (Si_3N_4).
- Для повышения надежности поршня его нужно изготовить из высоколегированного сплава алюминия и кремния с содержанием кремния Si до 16% - 18%.
- Для усиления канавок под поршневые кольца применим процесс анодирования или местного оксидирования.

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 a multi-link mechanism*. 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. Woś P, Balawender K, Jakubowski M, Kuszewski H, Lejda K, Ustrzycki A.
37. 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
38. 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