



## АННОТАЦИЯ

Развитие современной техники в сфере беспилотных летательных аппаратов является востребованной и значимой проблемой для современного общества. В данной бакалаврской работе рассматривается один из способов адаптации поршневого двигателя и его управления для более корректной работы в режиме полета.

В бакалаврской работе произведен расчет двигателя RCGF- 20, а так же был предложен способ капотирования с регулируемыми жалюзи для отвода тепла. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих направлений:

- пример перспективного развития поршневых двс в малой авиации при использовании непилотируемого самолета;
- произведен тепловой расчет силового агрегата, где показаны основные параметры рассматриваемого ДВС. В графической части представлены графики момента и внешней скоростной характеристики двигателя;
- выполнен кинематический расчет поршневой группы ДВС;
- динамический расчет, по результатам которого были построены графики приведенные в графической части;
- расчет на прочность из раздела основных частей двигателя – расчет поршневой группы;
- расчет системы подачи топлива (карбюратора двигателя), системы охлаждения.
- в специальной части показан один из способов капотирования данного силового агрегате с регулируемыми жалюзи

Графическая часть работы содержит 8 листов формата А1, это чертежи рассчитываемого двигателя, улучшенной системы охлаждения и характеристик силовой установки.

## ABSTRACT

The development of modern technology in the field of unmanned aerial vehicles is a popular and an important problem for modern society. In this bachelor's work for more correct operation in flight mode.

In the bachelor's work the calculation of the RCGF-20 engine was made, as well as the method of hood with adjustable blinds for heat removal, was proposed. Bachelor's work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory memorandum consists of the following areas:

- an example of the prospective development of piston-type aircraft in small aircraft using an unmanned aircraft;
- the thermal calculation of the power unit is performed, where the main parameters of the engine are shown. In the graphical part of the presented moment and the external high-speed characteristic of the engine;
- kinematic calculation of the piston engine group;
- dynamic calculation, based on the results of which graphs were plotted in the graphical part;
- calculation of strength from the section of the main engine parts - calculation of the piston group;
- calculation of the fuel supply system (engine carburetor), cooling system;
- in a separate place from the methods of hooding the given power unit with adjustable blinds;

The graphic part of the work contains 8 sheets of A1 format, these are the drawings of the calculated engine, the improved cooling system and the characteristics of the power plant.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 Перспективы использования ДВС в малой авиации .....	11
2 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы .....	13
3 Тепловой расчет двигателя .....	20
3.1 Параметры рабочего тела.....	21
3.3 Атмосферные условия и значения остаточных газов .....	23
3.4 Расчет процесса впуска .....	24
3.5 Параметры процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси.....	26
3.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания .....	27
3.7 Расчет процесса расширения и выпуска .....	29
3.8 Индикаторные показатели рабочего цикла Собаки кушают и только... 31	
3.9 Эффективные показатели и параметры двигателя.....	32
4 Кинематический расчет одноцилиндрового двигателя.....	34
4.1 Перемещение поршня.....	34
4.2 Угловая скорость вращения коленчатого вала.....	34
4.3 Скорость поршня .....	35
4.4 Ускорение поршня.....	35
5 Динамический расчет.....	36
5.1 Приведение массы частей кривошипно-шатунного механизма .....	36
5.2 Удельные и полные силы инерции .....	37
5.3 Удельные суммарные силы .....	37
5.4 Крутящие моменты.....	38
5.5 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала .....	39
6 Расчет системы питания одноцилиндрового двигателя.....	41
6.1 Расчет диффузора .....	41
7 Капотирование поршневого двигателя для адаптации к БПЛА.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	73



## ВВЕДЕНИЕ

На нынешнем этапе развития авиационных предприятий в России стоит вопрос об особенностях введения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в сферу общественности и для специализированных задач.

Актуальность выбранной темы обуславливается за счет значимости уровня поставленных задач перед малой авиацией, затрат на производство авиамоделей, так как это является ключевым фактором для успешного модернизирования и развития техники.

Успешные результаты, которых можно было бы достичь за счет БПЛА показывают на сколько эффективным может оказаться внедрение новой техники. Двигатели внутреннего сгорания всегда составляли основу движения прогресса еще до появления электроники, их эксплуатация была распространена во всех участках коммерческой и производственной деятельности человека. Однако, для разных целей и задач нельзя использовать один и тот же метод, как универсальный ключ ко всему. Так, для продолжения развития техники придумали альтернативные виды топлива, все производители ждут от новых двигателей показатели как у двигателей внутреннего сгорания и даже хотят чтобы они были превышены. Но стоит ли это того в малом авиастроении?

История беспилотников начинается в 1899 году, когда небезызвестный изобретатель Никола Тесла придумал радиоуправляемый корабль и таким образом он продемонстрировал общественности, что техника повинуюсь радиосигналам может управляться человеком. Уже тогда изобретатель знал, что такие технологии найдут себя в будущем. 17 декабря 1903 года состоялся первый пилотируемый полет, это день стал днем рождения авиации. Военный инженер и изобретатель Чарльз Кеттеринг в 1910 году был вдохновлен братьями Райт и предложил создать новый летательный аппарат управляемый не человеком, а часовым механизмом. Ему удалось создать 45 беспилотников. По настоящему прорывным для развития беспилотников стал

1933 год, который официально считается началом всех дальнейших разработок. В этот год инженерами Великобритании был создан первый БПЛА многократного использования. В Советском Союзе в 1933 году велась разработка автопилотируемого, а затем радиоуправляемого самолета ТБ-3, конструкция Рубена Григорьевича Чачикяна. На основе этого проекта планировалось настроить производство телемеханических самолетов-мешений и бомбардировщиков. В 1941 году бомбардировщики уже широко применялись в военной технике. На протяжении второй мировой войны Германия так же вела разработки БПЛА. Немецкие инженеры в 1941 году, Роберт Люссер и Фриц Гослау разработали самолет В1, который стал первым прототипом крылатой ракеты. За время второй мировой войны фирма Radio Plant создала для американских ВВС около 15000 беспилотников для военных действий. С конца 1955 и до 1990х годов, беспилотники использовались в основном для сбора разведанных. С 2000х годов получили дальнейшее развитие беспилотники нового поколения, то есть БПЛА вертолетного типа, а так же беспилотники различного назначения, от малозаметных самолетов-разведчиков до истребителей бомбардировщиков. Широкое изучение беспилотников идей сейчас в России, и так же моделей использующихся в мирных целях.

Большое значение имеет контроль различных параметров системы ДВС для корректировки режимов полета БПЛА. Система контроля параметров двигателя состоящая из волоконно-оптических датчиков позволит отслеживать на блоке управления летательным аппаратом основные физические величины: температура, давление, ускорение и т.д. Данный тип датчиков характеризуется большой надежностью, долговечностью, устойчивостью к ЭМ – помехам. Работа при переменных температурах от -70°C до 150°C, малые габариты и масса, являются основными преимуществами этих датчиков по сравнению с остальными в области авионики и автоэлектроники. Установка датчиков волоконно-оптического типа позволит максимально эффективно контролировать параметры БПЛА в

небе и передавать на пункт управления данные с малой погрешностью, что необходимо для правильного определения характера движения аппарата в воздухе.

Целью выпускной квалификационной работы является установка кожуха для двигателя с регулирующимися жалюзи для поддержания нужной температуры в разных климатических условиях.

В соответствии с целью необходимо вынести и решить следующие задачи:

- изучить основы строительства и перспективы развития БПЛА;
- провести анализ и предложить инновационные методы дальнейшего развития и усовершенствования беспилотников;

Объектом исследования является сам БПЛА, основным видом деятельности которого является многозадачность в различных сферах деятельности человека.

Предметом исследования выступает сам поршневой двигатель, который необходимо адаптировать под работу в различных температурных условиях, для корректной работы БПЛА.

Теоретической основой данного исследования служат труды, направленные на изучение беспилотников, таких как Васин Н. Я.

Практическая значимость работы заключается в использовании принципов капотирования и установки в кожухе жалюзи для регулировки входного потока воздуха, необходимого для охлаждения двигателя или более корректной работы в условиях арктических температур. С помощью новоразработанной технологии и условий эксплуатации буде получено более стабильное управление БПЛА, увеличенный отвод теплоты позволяющий двигателю интенсивнее охлаждаться или наоборот не отдавать тепло входному потоку воздуха и оставаться от него изолированным.



## 1 Перспективы использования ДВС в малой авиации

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) получили широкое распространение во многих сферах деятельности. Многие из моделей имеют большую востребованность, благодаря своим небольшим размерам, малой шумностью, удобством в обращении и малой стоимостью по сравнению с большими и громоздкими самолетами малой авиации.

Благодаря общественности, БПЛА стали востребованы. Основные задачи, которые ставили люди перед ними были просто и с большой легкостью выполнены аппаратами. Малые грузоперевозки, видеосъемка и т.п. сделали беспилотники неотъемлемой частью жизни обычных людей.

Но ресурс данной разработки и перспективы ее развития были еще далеки от своего завершения. Поэтому на это было обращено большое внимание со стороны правительственных организаций. Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет не подвергать человеческую жизнь опасности, например, при разведке горячих точек во время боевых действий или области, которая подверглась возгоранию.

Основная цель, которая преследуется разработчиками данных моделей это повышение удельной эффективной мощности и удельного эффективного расход топлива. Модернизация беспилотников позволяет улучшать эти параметры и делать их более эффективными и более востребованными для большего спектра различных задач, которые ставятся перед ними.

Использование двигателя внутреннего сгорания для БПЛА позволит значительно увеличить грузоподъемность и дальность полета. Технология двигателей внутреннего сгорания наиболее исследована, по сравнению с электродвигателями и позволит наиболее лучшим образом использовать весь ресурс разрабатываемых моделей. В условиях отрицательных температур электрические батареи малоэффективны и проигрывают ДВС, что делает использование БПЛА в арктических условиях невозможным. Но так же есть

и недостатки двигателей внутреннего сгорания по сравнению с электродвигателями. Высокая шумность и менее экологичные режимы работы, большие массогабариты ставят БПЛА с двигателем внутреннего сгорания в условия большой конкуренции с двигателем на аккумуляторах. Отсутствие на борту человека-пилота лишает возможности следить за характеристиками двигателя непосредственным образом.

Изменение материала корпуса двигателя, уменьшение размера шеек и щек коленчатого вала позволит сделать БПЛА более легким и маневренным для дальности полета, не уменьшая его грузоподъемности. Для многих малогабаритных БПЛА характерно маленькое количество моточасов, поэтому нет необходимости в высшем качестве материалов и высокой точности расчета на прочность, что делает его производство более дешевым, но не менее эффективным.

Большое значение имеет контроль различных параметров системы ДВС для корректировки режимов полета БПЛА. Система контроля параметров двигателя состоящая из волоконно-оптических датчиков позволит отслеживать на блоке управления летательным аппаратом основные физические величины: температура, давление, ускорение и т.д. Данный тип датчиков характеризуется большой надежностью, долговечностью, устойчивостью к ЭМ – помехам. Работа при переменных температурах от -70°C до 150°C, малые габариты и масса, являются основными преимуществами этих датчиков по сравнению с остальными в области авионики и автоэлектроники. Установка датчиков волоконно-оптического типа позволит максимально эффективно контролировать параметры БПЛА в небе и передавать на пункт управления данные с малой погрешностью, что необходимо для правильного определения характера движения аппарата в воздухе.

## 2 Обзор иностранных источников по теме бакалаврской работы

Unmanned aerial vehicles	Беспилотные летательные аппараты
<p>Unmanned aerial vehicles (UAVs), controlled from the ground, have the potential to deliver the biggest innovation for civil and military aircraft since jet propulsion. Lambert Dopping-Hepenstal FREng, programme director of the UAV project ASTRAEA, outlines how this far-reaching UK programme is addressing the technical, regulatory and societal challenges to the introduction of unmanned aircraft.</p> <p>WHAT IS IN A NAME?</p> <p>Unmanned aircraft are variously referred to as drones, remotely piloted aircraft systems (RPAS), unmanned aerial vehicles (UAVs) and unmanned aircraft systems (UAS).</p> <p>Whichever name is preferred, the critical elements required are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• an airborne vehicle</li> <li>• a remote pilot station</li> <li>• a communication infrastructure</li> <li>• a launch and recovery system</li> </ul> <p>In Europe, regulators divide unmanned aircraft into three types: small (below 20kg), light (up to 150kg) and large (more than 150kg). Technologies being developed in the ASTRAEA programme will potentially benefit all three types.</p> <p>UAV ORIGINS</p>	<p>Беспилотные летательные аппараты (БЛА), контролируемые с земли, имеют потенциал для предоставления самых больших инноваций для гражданских и военных самолетов с момента создания реактивного двигателя. Lambert Dopping-Hepenstal FREng, программный директор проекта БЛА ASTRAEA, описывает, как эта далеко идущая британская программа решает технические, нормативные и социальные проблемы для внедрения беспилотных летательных аппаратов.</p> <p>ЧТО ЭТО ТАКОЕ?</p> <p>Беспилотные летательные аппараты также называются дронами, дистанционно управляемыми воздушными системами (RPAS), беспилотными летательными аппаратами (БЛА) и беспилотными летательными аппаратами (БАС).</p> <p>Какое бы ни было название, требуются критические элементы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• бортовое транспортное средство</li> <li>• удаленная контрольная станция</li> <li>• коммуникационная инфраструктура</li> <li>• система запуска и восстановления</li> </ul> <p>В Европе регуляторы делят беспилотные летательные аппараты на три типа: небольшие (ниже 20 кг), легкие (до 150 кг) и большие (более 150 кг). Технологии, разрабатываемые в рамках программы ASTRAEA, потенциально будут полезны для</p>

<p>Unmanned aircraft date back to the First World War, when radio-controlled aircraft provided aerial target practice. This continued to be their main use until a decade or so ago, when UAVs entered use for military reconnaissance and operations.</p> <p>These military unmanned aircraft, commonly called drones, were designed for military operations in segregated airspace. They do not, however, have on-board systems that would allow them to fly in general airspace. Before UAVs can be used for non-military applications, technologies and stringent regulations to ensure their safe flight in general airspace have to be developed.</p> <p>In the UK, commercial unmanned operations are currently limited to very small aircraft, generally weighing no more than 5kg, flown within direct line-of-sight of a ground 'pilot'. These UAVs have to operate below 400 feet (120m) altitude and no closer than 50m to people and structures. While these limitations are manageable for small operations in agriculture, surveying, or for inspection of hazardous areas, they are too restrictive for many potential applications.</p> <p>Solving issues of airworthiness, operating procedures, situational awareness and communications infrastructure could pave the way for companies such as Amazon and DHL to realise their ambition to make 'deliveries by drone', and for Google to connect the developing world to the internet using high-altitude solar-powered drones.</p> <p><b>ASTRAEA'S TASKS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ground operations and human systems</li> </ul>	<p>всех трех типов.</p> <p><b>ПРОИСХОЖДЕНИЯ БЛА</b></p> <p>Беспилотные летательные аппараты относятся к Первой мировой войне, когда радиоуправляемые летательные аппараты обеспечивали воздушную целевую практику. Это продолжалось до тех пор, пока десять лет назад, когда БПЛА вступили в военную разведку и операции, их основное использование продолжалось.</p> <p>Эти военные беспилотные летательные аппараты, обычно называемые дронами, были предназначены для военных операций в обособленном воздушном пространстве. Однако у них нет бортовых систем, которые позволяли бы им летать в общем воздушном пространстве. До того, как БПЛА могут быть использованы для невоенных применений, необходимо разработать технологии и строгие правила для обеспечения их безопасного полета в общем воздушном пространстве.</p> <p>В Великобритании коммерческие беспилотные операции в настоящее время ограничены очень маленькими самолетами, обычно весом не более 5 кг, которые летают прямо в прямой видимости наземного «пилота». Эти БПЛА должны работать на высоте ниже 400 футов (120 м) и не ближе 50 м к людям и структурам. Хотя эти ограничения управляемы для небольших операций в сельском хозяйстве, съемки или для осмотра опасных зон, они слишком ограничены для многих потенциальных применений.</p> <p>Решение проблем летной пригодности к полету, эксплуатационных процедур, ситуационной осведомленности и инфраструктуры коммуникаций могло бы открыть путь для таких компаний, как Amazon и DHL, чтобы реализовать свои</p>
--	---

<p>interaction – investigating the technologies and procedures that will be required on the ground</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Communications and air traffic control – examining what data a UAV will need to send and receive and establishing the case for release of radio spectrum</li> <li>• UAV handling – researching the technologies required for autonomous manoeuvring both on the ground and in the air</li> <li>• Adaptive routing – developing the technology to enable the aircraft to modify its own flight path and adapt its route in response to a variety of threatening situations</li> <li>• Collision avoidance systems – comparing the merits of technologies and systems capabilities that could be used by the UAV for collision avoidance</li> <li>• Multiple air vehicle integration – researching technology, procedures and protocols to enable formations of multiple aircraft, both manned and un-manned</li> <li>• Prognosis and health management – providing technology and systems to enable the UAV to monitor its own state and how best to maintain optimal mission performance</li> <li>• Decision modelling – developing a robust and certifiable system that will provide an onboard decision-making capability replicating all the reasoning functions of the pilot</li> <li>• Good airmanship – assessing acceptable levels of UAV ‘good airmanship’ to ensure adequate safety levels</li> </ul>	<p>амбиции сделать «поставки беспилотными летательными аппаратами», а также для того, чтобы Google соединила развивающийся мир с Интернетом.</p> <p><b>ЗАДАЧИ АСТРАЕА</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Наземные операции и взаимодействие с человеческими системами - исследование технологий и процедур, которые потребуются на местах</li> <li>• Коммуникация и управление воздушным движением - изучение данных, которые БПЛА необходимо будет отправлять и получать, и установление случая для выпуска радиочастотного спектра</li> <li>• Обработка БПЛА - исследование технологий, необходимых для автономного маневрирования как на земле, так и в воздухе</li> <li>• Адаптивная маршрутизация - разработка технологии, позволяющей самолету изменять собственный маршрут полета и адаптировать его маршрут в ответ на множество угрожающих ситуаций</li> <li>• Системы предотвращения столкновений - сравнение достоинств технологий и системных возможностей, которые могут использоваться БПЛА для предотвращения столкновений</li> <li>• Интеграция с несколькими воздушными транспортными средствами - исследование технологий, процедур и протоколов, позволяющих создавать несколько самолетов, как пилотируемых, так и беспилотных</li> <li>• Прогноз и управление здоровьем - предоставление технологий и систем, позволяющих БПЛА контролировать свое собственное состояние и как наилучшим</li> </ul>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Route to compliance – investigation of the means of achieving clearance of UAV system designs</li> <li>• UAV operations and procedures – developing a framework for UAV operations with reference to current manned aircraft rules</li> <li>• Integration with the operating environment – analysing the issues of integration of UAVs into the existing and emerging air traffic control infrastructure.</li> </ul>	<p>образом поддерживать оптимальную производительность миссии</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Моделирование принятия решений - разработка надежной и сертифицируемой системы, которая обеспечит возможность принятия решений на борту, реплицируя все логические функции пилота</li> <li>• Хорошее качество воздуха - оценка приемлемого уровня БЛА «хорошего качества воздуха» для обеспечения адекватных уровней безопасности</li> <li>• Маршрут к соблюдению - исследование средств достижения клиринга конструкций БПЛА</li> <li>• Операции и процедуры БПЛА - разработка основы для операций БПЛА с учетом действующих правил пилотируемых воздушных судов</li> <li>• Интеграция с операционной средой - анализ вопросов интеграции БПЛА в существующую и возникающую инфраструктуру управления воздушным движением.</li> </ul>
<p><b>Unmanned aerial vehicle (UAV) uses , advantages and disadvantages</b></p>	<p><b>Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), преимущества и недостатки</b></p>
<p><b>Keywords:</b> unmanned aerial vehicles, UAVs advantages/disadvantages, human operator, unmanned aircraft system.</p> <p>The unmanned aerial vehicle (UAV) is known as the drone, The unmanned aircraft system (UAS) is the aircraft without the human pilot aboard, The flight of UAVs can operate either under the remote control by the human operator or fully or intermittently autonomously onboard computers.</p> <p>The unmanned aerial vehicles are preferred for the missions that are too dangerous or dull for the humans, They provide the</p>	<p><b>Ключевые слова:</b> беспилотные летательные аппарат, преимущества/недостатки БПЛА, пилот-человек, беспилотная авиационная система</p> <p>Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) известен дрон. Беспилотная авиационная система (БАС) является самолетом без пилота-человека на борту. Полет БПЛА может работать либо под пультом дистанционного управления человеком-оператором, либо полностью или периодически автономно с помощью бортовых компьютеров.</p> <p>Беспилотные летательные аппараты</p>

attack capability for high-risk missions and they are originated mostly in the military applications.

The unmanned aerial vehicles can be used in other applications such as policing and the surveillance, the data collection, the aerial photography, the agriculture and the drone, they can be used in the commercial, the scientific and the recreational.

The drones have many different names, They are referred to as the killer drones and the attack drones, They are called the spy drones or the surveillance drones, They can be both remotely controlled by the pilot or controlled by the computer, And they are used to carry out certain actions without direct human piloting.

#### UAVs advantages

UAVs are the Unmanned Aerial Vehicles, They are smaller than jet aircraft, They are less expensive, and they do not put the pilots at risk when they crash.

Unmanned Aerial Vehicle offers less stressful environment, It is used for better decision making, It presents safer environment, They can fly longer hours as long as the vehicle allows for it.

Unmanned Aerial Vehicles can go faster, Even if the plane crashes, The pilot will be safe, They can not be used for border patrol run, They will be cheaper than paying for the personnel to do the task.

Unmanned Aerial Vehicles are able to fly into the zones where it would be dangerous for the pilot, they are capable of flying for a period of time of the time, they are dangerous to the human life and they can reduce the exposure risk of the aircraft operator.

Unmanned Air Vehicle can stay in the air for up to 30 hours, doing the repetitive tasks, performing the exact, repetitive raster scan of the region, day-after-day, night-after-night in the complete darkness or in the fog under computer control.

Unmanned Air Vehicle performs the geological survey, It performs the visual or thermal imaging of the region, It can measure the cell phone, radio or TV coverage over any terrain.

предпочтительнее для миссий, которые являются слишком опасными или скучными для людей. Они обеспечивают возможность нападения для миссий с высоким риском, и возникают в основном для военных целей.

Беспилотные летательные аппараты могут использоваться в других сферах, таких как охрана и наблюдение, сбор данных, аэрофотосъемка, сельское хозяйство и беспилотник, их можно использовать в коммерческих, научных и развлекательных целях.

У беспилотных летательных аппаратов много разных наименований: их называют беспилотными бомбардировщиками и беспилотными летательными аппаратами, их называют беспилотными дронами или беспилотными летательными аппаратами наблюдения. Их можно дистанционно контролировать пилотом или контролировать с помощью компьютера. И они осуществляют определенные действия без прямого пилотирования человека.

#### Преимущества БПЛА

БПЛА - это беспилотные летательные аппараты, они меньше реактивных самолетов, они дешевле, и они не ставят под угрозу пилотов, когда они терпят крушение.

Беспилотный летательный аппарат предлагает менее стрессовую ситуацию. Его используют для лучшего принятия решений. Он обеспечивает более безопасную окружающую среду. Они могут летать дольше, пока двигатель позволяет это.

Беспилотные летательные аппараты могут двигаться быстро, даже если самолет разрушится, пилот будет в безопасности, они не могут использоваться для прохода по пограничному патрулю, они будут дешевле, чем платить за персонал, чтобы выполнить эту задачу.

Беспилотные летательные аппараты могут летать в зонах, где это было бы опасно для пилота, они могут летать в течение определенного времени, где опасно для жизни человека, и они могут снизить риск облучения оператора самолета.

Беспилотный летательный аппарат может находиться в воздухе до 30 часов, выполняя повторяющиеся задачи, выполняя точный

Unmanned Air Vehicles can save lives, They have low cost, they are cheaper to purchase, fuel, and maintain than regular airplanes.

Drones offer low risk, Since the drones are smaller and they can fly lower than the traditional airplanes, there is less risk to the military hardware, without the human pilot and they can stay in operation for more hours.

The drones can have more pinpoint accuracy from greater distances, thus reducing the collateral damage to the civilians and the infrastructure, the drones are as lethal to the enemy combats as regular airplanes.

The drones can be used in spying, The drones are used in combat, The drones have proven to increase the surveillance, reconnaissance, and general military intelligence, The drones are easier and faster to deploy than most alternatives.

#### UAVs disadvantages

Unmanned Aerial Vehicles contain general budget problems, They are very expensive to produce and keep up. (The costs can go down over time though), The human error in the remote controls.

The computer systems or the software could break down resulting in the loss of the plane and / or casualties on the ground, Losing the plane costs, millions, The drones causes civilian losses, The drone warfare causes the collateral damages in the civilian lives and property, as well as the traditional warfare too.

The computer malfunction can take place in the civilian deaths, the result of the loss of control in the aircraft.

The psychological issue has become apparent in the military use of unmanned Air Vehicles, due to being in the normal war situation, The drones or the fleet of drones and controlled by the enemy.

The drones cause the collateral damage such as killing the civilians and damaging the civilian property, some cultures believe that the use of drones is not brave and cold hearted, They are too easy , By making the drone warfare every similar to video games ,

повторный растровое сканирование региона, изо дня в день, и ночью в полной темноте или в тумане под компьютерным управлением.

Беспилотный летательный аппарат выполняет геологическую съемку. Он выполняет визуальную или тепловидную визуализацию региона. Он может определять сотовый телефон, радио или телевидение на любой местности.

Беспилотные летательные аппараты могут спасти жизни, они имеют низкую стоимость, дешевле получать топливо и обслуживать, чем обычные самолеты.

Беспилотные летательные аппараты предлагают низкий риск. Поскольку дроны меньше и они могут летать ниже, чем традиционные самолеты, меньше опасности для военной техники, без пилота-человека, и они могут оставаться в эксплуатации в течение более часа.

Беспилотники могут иметь более высокую точность с больших расстояний, тем самым уменьшая побочный ущерб гражданскому населению и инфраструктуре, дроны столь же смертельны для вражеских битв, как и обычные самолеты.

Беспилотные летательные аппараты могут использоваться в шпионаже, дроны используются в бою, дроны доказали, что увеличивают надзор, разведку и общую военную разведку, дроны легче и быстрее разворачивать, чем большинство альтернатив.

#### Недостатки БПЛА

Беспилотные летательные аппараты содержат общие бюджетные проблемы, они очень дороги для производства и поддержки. (Однако затраты могут снизиться с течением времени). Ошибка человека в пульте дистанционного управления.

Компьютерные системы или программное обеспечение могут сломаться, что приведет к потере самолета и/или несчастным случаям на земле, Потеря стоимости самолета, миллионы, Беспилотники могут вести к гражданским потерям. Война беспилотников вызывает побочный ущерб в жизни и имуществе гражданского населения, а также традиционной войне.

Компьютерная неисправность может иметь



the drone warfare makes combat too easy by diminishing ethical decisions .

место при смерти гражданского населения, что является результатом потери контроля над воздушным судном.

Психологическая проблема стала очевидной при военном использовании беспилотных летательных аппаратов из-за того, что они находились в нормальной военной ситуации, беспилотные летательные авиамодели или флот состоящий из дронов и контролировались врагом.

Дроны вызывают побочный ущерб, такой как убийство гражданских лиц и нанесение ущерба гражданской собственности, некоторые культуры считают, что использование беспилотных летательных аппаратов не является честным. Они слишком легки. Благодаря тому, что беспилотный боевой опыт похож на видеоигры, беспилотная война делает битву слишком легкой, уменьшая этические решения.

### 3 Тепловой расчет двигателя

Тепловой расчет ДВС – это один из начальных этапов проектировки двигателя.

Расчет производится для двухтактного двигателя по методике Вибе. Данный метод, основан на общепринятых понятиях термодинамики и химотологии, в своей последовательности весьма всецело охватывает физическую сущность явлений, происходящих в внутри цилиндра ДВС, и дает достаточно дочное представление о рабочих процессах в силовом агрегате.

Исходные данные для теплового расчета:

- $V_L = 0,02$  л □ объем ДВС;
- $n_N = 7500$  мин<sup>-1</sup> □ номинальная частота вращения;
- $i = 4$  □ число цилиндров;
- $\tau = 2$  □ число тактов;
- $\varepsilon = 7$  □ степень сжатия.

Скоростные режимы работы:

- $n_{\min} = 1750$  мин<sup>-1</sup>;
- $n = 3500$  мин<sup>-1</sup>;
- $n_M = 5500$  мин<sup>-1</sup>;
- $n_N = 7500$  мин<sup>-1</sup>;
- $n_{\max} = 9000$  мин<sup>-1</sup>.

### 3.1 Параметры рабочего тела

Для двигателей с искровым зажиганием назначают бензин, средний элементарный состав в массовых долях и молекулярная масса составляют:

$$C = 0,855;$$

$$H = 0,145$$

$$m_T = 115 \text{ кг/кмоль.}$$

Низшая теплота сгорания ( $H_u$ ) жидкого топлива (в Дж/кг) рассчитывается по формуле Менделеева:

$$H_u = 33,91C + 125,6H - 10,9(O - S) - 2,51 \cdot (9H + W); \text{ кДж/кг,} \quad (3.1)$$

где:  $C$  □ массовое содержание в топливе углерода

$H$  □ массовое содержание в топливе водорода

$O$  □ массовое содержание в топливе кислорода

$S$  □ массовое содержание серы

$W$  □ количество влаги, содержащейся в 1 кг бензина

$$H_u = 34 \cdot 0,86 + 126 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,15 = 43930 \text{ кДж/кг.}$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания топлива:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \frac{\text{кмоль} \cdot \text{воздуха}}{\text{кг} \cdot \text{топлива}}, \quad (3.2)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left( \frac{8}{3} \times 0,855 + 8 \times 0,145 \right) = 14,957 \frac{\text{кг} \cdot \text{воздуха}}{\text{кг} \cdot \text{топлива}}, \quad (3.3)$$

Параметр  $\alpha = 1$  принимается единице для всех режимов работы двигателя.

Расчеты проводятся по предложенным формулам по методике Вибе и результаты сводятся в таблицы.

Рассчитываемый состав горючей смеси:

$$M_1 = \alpha L_0 + l/m_T ; \text{ кмоль гор. см/кг топл.} \quad (3.4)$$

Определение составляющих компонентов продуктов сгорания при  $K = 0,5$ :

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 ; \quad \text{кмоль} \quad CO_2/\text{кг} \quad \text{топл;} \quad (3.5)$$

$$M_{CO} = 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 ; \text{ кмоль} \quad CO/\text{кг} \quad \text{топл} \quad (3.6)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 ; \text{ кмоль} \quad H_2O/\text{кг} \quad \text{топл;} \quad (3.7)$$

$$M_{H_2} = 2K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208 \cdot L_0 ; \quad \text{кмоль} \quad H_2/\text{кг} \quad \text{топл;} \quad (3.8)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_0 ; \text{ кмоль} \quad (3.9)$$

Сумма составляющих компонентов продуктов сгорания:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} ; \text{ кмоль пр.сг/кг топл.} \quad (3.10)$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = M_2 / M_1 \quad (3.11)$$

Расчитанные значения расчета параметров рабочего тела приведены в таблице 3.1.

В следствии того, что состав смеси идентичный, то показатели (параметры) рабочего тела (бензина) на всех режимах равные, поэтому приведены одинаковые параметры.

Таблица 3.1 - Параметры рабочего тела

n, мин <sup>-1</sup>	M <sub>H2O</sub> , кмоль H <sub>2</sub> O/кг топл.	M <sub>CO</sub> , кмоль CO/кг топл.	M <sub>CO2</sub> , кмоль CO <sub>2</sub> /кг топл.	M <sub>H2</sub> , кмоль H <sub>2</sub> /кг топл.	M <sub>1</sub> , кмоль гор.см./кг топл.	M <sub>2</sub> , кмоль пр.сг./кг топл.	μ <sub>0</sub>	M <sub>N2</sub> , кмоль N <sub>2</sub> /кг топл.	α
1750	0,0735	0,0059	0,0661	0,003	0,5235	0,5531	1,0201	0,3923	1
3500	0,0735	0,0059	0,0661	0,003	0,5235	0,5531	1,0201	0,3923	1
5500	0,0735	0,0059	0,0661	0,003	0,5235	0,5531	1,0201	0,3923	1
7500	0,0735	0,0059	0,0661	0,003	0,5235	0,5531	1,0201	0,3923	1
9000	0,0735	0,0059	0,0661	0,003	0,5235	0,5531	1,0201	0,3923	1

### 3.3 Атмосферные условия и значения остаточных газов

Атмосферные условия:

- p<sub>0</sub> = 0,1 МПа

- T<sub>0</sub> = 293 К.

Давление остаточных газов:

$$p_r = p_k(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (3.12)$$

где  $p_{rN} = 1,18 \cdot p_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118$  МПа;  $A_p = (p_{rN} - p_0 \cdot 1,035) 10^8 / (n_N^2 p_0)$ .

Рассчитанные значения параметров атмосферных условий и остаточных газов приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Параметры окружающей среды и остаточных газов

$n, \text{мин}^{-1}$	$\rho_k, \text{кг/м}^3$	$p_k, \text{Мпа}$	$T_k, \text{К}$	$p_r, \text{Мпа}$	$T_r, \text{К}$
1750	1,189	0,1	293	0,1047	644
3500	1,189	0,1	293	0,1082	670
5500	1,189	0,1	293	0,1150	715
7500	1,189	0,1	293	0,1249	750
9000	1,189	0,1	293	0,1343	800

### 3.4 Расчет процесса впуска

Значение  $\Delta T_N$  принимается равным  $10^\circ\text{C}$ , отсюда следует, что  $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$ , таким образом  $\Delta T$ :

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n). \quad (3.13)$$

Плотность заряда на впуске:  $\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_B T_k)$ ;  $\text{кг/м}^3$ .

Излишки расхода давления на впуске при  $A_n = \frac{95}{n}$ ;

$$\Delta p_a = \frac{2,8 \cdot A_n^2 \cdot n^2 \cdot \rho_0 \cdot 10^{-6}}{2}. \quad (3.14)$$

Давление при окончании впуска:

$$p_a = p_k - \Delta p_a; \text{ МПа}. \quad (3.15)$$

Коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} \quad (3.16)$$

Температура в конце впуска:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r} \quad (3.17)$$

Коэффициент наполнения:

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} \cdot (\phi_{\text{доз}} \cdot \varepsilon \cdot p_a - p_r) \quad (3.18)$$

Удельный объем рабочего тела в конце процесса наполнения:

$$V_a = 8,314 \cdot 10^{-3} \frac{T_a}{\mu_B \cdot p_a} \quad (3.19)$$

Результаты расчета процесса впуска приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Расчет процесса впуска

н, мин <sup>-1</sup>	ΔT, °C	Δра, Мпа	ра, Мпа	T <sub>а</sub> , К	γ <sub>г</sub>	V <sub>а</sub> , К	η <sub>v</sub>
1750	21,36	0,0006	0,0994	344	0,0409	1,03014	0,9016
3500	16,06	0,0034	0,0966	339	0,0436	1,04519	0,9022
5500	10,00	0,0107	0,0893	338	0,0443	1,12617	0,8470
7500	3,94	0,0249	0,0751	337	0,0477	1,33335	0,7270
9000	2	0,0437	0,0563	349	0,0356	1,84268	0,5266

### 3.5 Параметры процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (3.20)$$

Значение показателя политропы сжатия находится методом последовательных приближений

$$n_1 = 1 + \frac{8.314}{20.16 + 1.738 \cdot 10^{-3} (\varepsilon^{n_1-1} + 1) \cdot T_a} \quad (3.21)$$

Давление, температура и удельный объём в конце сжатия:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} \quad \text{МПа} \quad (3.22)$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad \text{К} \quad (3.23)$$

Удельный объём, давление и температура рабочего тела в момент воспламенения, при угле опережения зажигания  $\Theta$  и  $\lambda = 0,262$

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

$$p_y = \left( \frac{V_a}{V_y} \right)^{n_1} \cdot p_a; \quad (3.25)$$

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

Результаты расчета процесса сжатия рабочего тела и начала воспламенения смеси приведены в таблице 3.4



Таблица 3.4 - Давление, температура и удельный объём в конце сжатия и воспламенения:

$n, \text{мин}^{-1}$	$n_l$	$\mu$	$T_c, \text{К}$	$P_c, \text{МПа}$	$V_y, \text{м}^3/\text{кг}$	$P_y, \text{МПа}$	$T_y, \text{К}$	$\Theta^\circ$ ПКВ
1750	1,371	1,0476	709,25	1,4318	0,16141	1,2614	685,35	13
3500	1,373	1,0479	702,49	1,3977	0,16851	1,1838	671,50	15
5500	1,374	1,0479	700,88	1,2942	0,18738	1,0496	662,02	17
7500	1,3755	1,0478	700,30	1,0922	0,22956	0,8449	652,90	19
9000	1,3755	1,0466	724,75	0,8179	0,35577	0,5405	647,24	25

### 3.6 Термодинамический расчёт процесса сгорания

Коэффициент эффективности сгорания топлива при  $\alpha = 1$  выбираем из таблицы  $\zeta = 0,9$

Удельная теплота сгорания рабочей смеси

$$q_z = \frac{\xi * H_u}{(1 + \gamma_r)(\alpha * l_0 + 1)} \text{кДж/кг}; \quad (3.26)$$

$$E_2 = \left(0.002 \frac{\varepsilon}{V_a}\right) q_z; \text{МПа}. \quad (3.27)$$

Давление газов в процессе сгорания я сделала

$$p_2 = E_2 \cdot \Delta X_{1-2} + p_1 \cdot (K_{1-2} \cdot \psi(\varphi_1') - \psi(\varphi_2')) / [K_{1-2} \cdot \psi(\varphi_1') - \psi(\varphi_1)], \quad (3.28)$$

Доля топлива, сгоревшего на рассматриваемом участке:

$$X_{1-2} = \exp\left[-6.908 \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_z}\right]^{m+1}\right] - \exp\left[-6.908 \left[\frac{\varphi_2}{\varphi_z}\right]^{m+1}\right], \quad (3.29)$$

где  $\varphi_1'$  и  $\varphi_2'$  – углы поворота коленчатого вала соответственно в начале и в конце рассматриваемого участка;

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

$p_1$  – давление в начальной точке рассматриваемого участка, МПа;

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

Среднее значение доли топлива, сгоревшего на участке 1-2;

$$\Delta\chi_{1-2} = \frac{1}{2} \left[ \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] - \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_2}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right] \quad (3.30)$$

Отношение средних теплоёмкостей рабочего тела на участке 1-2.

$$k_{1-2} = 1.259 + \left[ 76.7 - \left( 13.6 - \frac{14.2}{\alpha} \right) x_{1-2} \right] \frac{1}{T_{1-2}} - \left( 0.0665 - \frac{0.0245}{\alpha} \right) x_{1-2} \quad (3.31)$$

Средняя температура на участке 1-2.

$$T_{1-2} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (3.32)$$

Температура в конце рассматриваемого участка

$$T_2 = \frac{T_y P_2 \psi(\varphi'_2)}{P_y \psi(\varphi'_2) \mu_{1-2}}, \quad (3.33)$$

где

$$\Psi(\varphi') = 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} * \sigma; \quad (3.34)$$

$$\sigma = \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[ \cos(\varphi') + \frac{1}{\lambda} * \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin(\varphi'))^2} \right]; \quad (3.35)$$

Средний коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси на рассматриваемом участке:

$$\mu_{1-2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} - \mu_1 = 1 + \frac{(\mu_{0\max} - 1) \left[ 1 - \exp \left[ -6.908 \left[ \frac{\varphi_1}{\varphi_z} \right]^{m+1} \right] \right]}{1 + \gamma_r} . \quad (3.36)$$

Основные коэффициенты термодинамического расчета приведены в таблице 3.5

Таблица 3.5 - Коэффициенты термодинамического расчета

$n, \text{ мин}^{-1}$	$\xi$	$q_z, \text{ Дж/кг}$	$\varphi_z, \text{ град, п.к.в.}$	$E_2, \text{ МПа}$
1750	0,88	1220	45	29,9091
3500	0,95	1269	50	32,0342
5500	0,98	1371	60	30,6495
7500	0,99	1472	70	26,0718
9000	0,99	1597	70	18,3975

Расчёт параметров процесса сгорания проводится с шагом 1 град.п.к.в. и приведен в графической части

### 3.7 Расчет процесса расширения и выпуска

Степень последующего расширения при  $V_z$

$V_y$  – значение объема рабочего тела, соответствующее конечному значению давления  $p_z$

$$\delta = V_a / V_z \quad (3.37)$$

Средний показатель политропы расширения находится методом последовательных приближений из уравнения:

$$n_2 = 1 + \frac{8.314}{23.7 + 0.0046 \left( \frac{1}{\delta^{n_1-1}} + 1 \right) \cdot T_z} \quad (3.38)$$

Параметры в конце процесса расширения как политропного процесса

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}} = \text{МПа} \quad (3.39)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} \text{ К} \quad (3.40)$$

Текущие значения удельного объёма, давления и температуры в процессе расширения находят по следующим формулам:

$$V_{PT} = \frac{V_a}{\varepsilon} \left[ 1 + \frac{\varepsilon - 1}{1} \cdot \left( \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left[ \cos(\varphi_{PT}) + \frac{1}{\lambda} \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\varphi_{PT})} \right] \right) \right] \quad (3.41)$$

$$P_{PT} = P_b \cdot \left( \frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2} \quad (3.42)$$

$$T_{PT} = T_b \left( \frac{V_a}{V_T} \right)^{n_2-1} \quad (3.43)$$

Расчетная проверка правильности взятых значений температуры о. г.

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} \quad \text{К} \quad (3.44)$$

Результаты расчета процесса расширения и выпуска приведены в таблице 3.6

Таблица 3.6 - Расчет процесса расширения и выпуска

$n, \text{ мин}^{-1}$	$V_z, \text{ м}^3$	$P_z, \text{ МПа}$	$T_z, \text{ К}$	$n_2$	$\delta$	$T_b, \text{ К}$	$P_b, \text{ МПа}$	$T_r, \text{ К}$
1750	0,11	8,490	2673	1,185	5,29	1933	0,604	644

3500	0,13	8,943	2823	1,182	7,37	1956	0,546	670
5500	0,14	9,037	2923	1,180	8,05	2009	0,484	715
7500	0,18	8,901	2973	1,179	9,52	2014	0,341	750
9000	0,20	8,715	3123	1,177	13,02	2100	0,178	800

### 3.8 Индикаторные показатели рабочего цикла

По методу трапеций определяется теоретическая индикаторная работа цикла:

$$L_{iT} = \sum_{i=1}^n \frac{P_{1i} + P_{2i}}{2} |V_{2i} - V_{1i}| ; \quad (3.45)$$

Определение среднего индикаторного давления

$$P_{iT} = \frac{\varepsilon \cdot L_{iT}}{(\varepsilon - 1)V_a}, \quad \text{МПа} \quad (3.46)$$

Определение индикаторного К. П. Д.

$$\eta_i = 8.314 \frac{M_1 \cdot P_{iT} \cdot T_0}{P_0 \cdot \eta_V \cdot H_u} \quad (3.47)$$

Определение удельного индикаторного расхода топлива

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u} \cdot 10^3, \quad \text{г/кВт*ч} \quad (3.48)$$

Результаты расчета индикаторных показателей рабочего цикла приведены в таблице 3.7

Таблица 3.7 - Индикаторные показатели рабочего цикла

$n, \text{мин}^{-1}$	$P_i, \text{Мпа}$	$\eta_i$	$g_i, \text{г/кВт*ч}$	$L_i, \text{кДж}$
1750	1,225	0,401	205,771	0,254

3500	1,161	0,375	220,221	0,241
5500	0,9	0,311	279,949	0,185
7500	0,804	0,194	419,320	0,131
9000	0,703	0,222	371,703	0,141

### 3.9 Эффективные показатели и параметры двигателя

Среднее давление механических потерь:

$$P_M = 0.034 + 0.0113 v \quad , \text{МПа} \quad (3.49)$$

Среднее эффективное давление:

$$P_e = P_{iT} - P_M, \text{МПа} \quad (3.50)$$

Механический КПД:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_{iT}} \quad (3.51)$$

Эффективный КПД:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M \quad (3.52)$$

Удельный эффективный расход топлива:

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M}, \text{кВт} \cdot \text{ч} \quad (3.53)$$

Эффективная мощность:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_L \cdot n}{30\tau}, \text{кВт} \quad (3.54)$$

Часовой расход топлива:

$$G_T = N_e \cdot g_e, \text{кг/ч} \quad (3.55)$$

Крутящий момент:

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.56)$$

Расчитанные значения эффективных показателей двигателя приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Эффективные показатели двигателя

п, мин <sup>-1</sup>	р <sub>м</sub> , Мпа	V <sub>п.ср</sub> , м/с	р <sub>е</sub> , Мпа	η <sub>е</sub>	η <sub>м</sub>	g <sub>е</sub> , г/(кВт.ч)	Ne, кВт	Me, Н.м	Gт, кг/ч
1750	0,05	1,458	1,176	0,379	0,959	215,658	0,689	3,487	0,149
3500	0,067	2,917	1,09	0,352	0,942	232,690	1,278	2,603	0,297
5500	0,086	4,583	0,813	0,263	0,905	311,684	1,399	2,662	0,467
7500	0,086	4,583	0,515	0,166	0,857	492,736	0,948	2,647	0,467
9000	0,119	7,500	0,571	0,184	0,828	444,201	1,571	1,827	0,765

## 4 Кинематический расчет одноцилиндрового двигателя

При проектировании двигателя внутреннего сгорания производится расчет на прочность основных частей ДВС. Но для этого необходимо учитывать силы, приходящие на детали двигателя. Определение, численный расчет сил и правил их изменения является непосредственной задачей динамики двигателя. Помимо этого, в динамику входят:

- изучение условий равномерности вращения коленчатого вала;
- уравновешенность силового агрегата.

Кинематика двигателя включает изучение особенностей движения кривошипно-шатунного механизма (КШМ), вычисление и отображение в виде графиков пути, скорости и ускорения поршня.

### 4.1 Перемещение поршня

Рассчитаем перемещение поршня по формуле:

$$S_x = r \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta) \right] \quad (4.1)$$

Выражение (4.1) – точная формула перемещение поршня.

Определение значений перемещения поршня ( $S_x$ ) производится аналит. методом через каждые  $10^\circ$  угла п.к.в.

### 4.2 Угловая скорость вращения коленчатого вала

Расчет угловой скорости вращения коленчатого вала определяется по формуле:



$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 10000}{30} = 1046 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

### 4.3 Скорость поршня

Рассчитаем скорость поршня по формуле:

$$u_n = r\omega \left[ \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} \right] \quad (4.3)$$

### 4.4 Ускорение поршня

Рассчитаем ускорение поршня по формуле:

$$J_n = r\omega^2 \left[ \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} + \lambda \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right] \quad (2.4)$$

Рассчитанные значения перемещения, скорости и ускорения поршня показаны в Приложении Б.

## 5 Динамический расчет

Динамика двигателей внутреннего сгорания – раздел механики, в котором происходит изучение движение частей и деталей КШМ под воздействием давления газа и силы инерции. Динамика двигателя исследует возможные способы уменьшения нагрузок, возникающих во время работы деталей кривошипно-шатунного механизма, условия работы их движения, уравнивание инерционных сил, характеристику эффективности системы, способы обеспечения равномерной работы основных деталей ДВС.

### 5.1 Приведение массы частей кривошипно-шатунного механизма

- масса поршневой группы ( $m'_n=100 \text{ кг/м}^2$ )

$$m_n = m'_n \cdot F_{nc} = 100 \cdot 0,002463 = 0,246 \text{ кг}; \quad (5.1)$$

- масса шатуна ( $m'_{ш}=90 \text{ кг/м}^2$ )

$$m_{ш} = m'_{ш} \cdot F_{nc} = 90 \cdot 0,002463 = 0,2216 \text{ кг}; \quad (5.2)$$

- масса неуравновешанных частей одного колена коленчатого вала с отсутствием противовесов ( $m'_к=90 \text{ кг/м}^2$ )

$$m_к = m'_к \cdot F_{nc} = 90 \cdot 0,002463 = 0,2216 \text{ кг}; \quad (5.3)$$

- масса шатуна, обращенная к оси поршневого пальца:

$$m_{ш.н} = 0,28 \cdot m_{ш} = 0,222 \cdot 0,624 = 0,061 \text{ кг}; \quad (5.4)$$

- масса шатуна, сконцентрированная на оси кривошипа:

$$m_{ш.к} = 0,73 \cdot m_{ш} = 0,222 \cdot 0,624 = 0,161 \text{ кг}; \quad (5.5)$$

- массы, производящие возвратно-поступательное движение:

$$m_j = m_n + m_{ш.н} = 0,222 + 0,061 = 0,307 \text{ кг}; \quad (5.6)$$

– массы, производящие вращательное движение:

$$m_r = m_k + m_{u.k} = 0,805 + 0,161 = 0,966 \text{ кг}; \quad (5.7)$$

## 5.2 Удельные и полные силы инерции

Сила инерции возвратно-поступательного движения масс:

$$p_j = -j m_j / F_n = -j 0,00012575 / 0,002 \text{ МПа}. \quad (5.8)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс:

$$K_R = -m_R R \omega^2 = -0,38238 \cdot 0,0085 \cdot 785^2 = -28,02 \text{ кН}. \quad (5.9)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс шатуна:

$$K_{Ru} = -m_{u.k} R \omega^2 = -0,16 \cdot 0,0085 \cdot 785^2 = -0,8426 \text{ Н}. \quad (5.10)$$

Центробежная сила инерции вращающихся масс кривошипа:

$$K_{Rk} = -m_{.k} R \omega^2 = -0,222 \cdot 0,0085 \cdot 785^2 = -1,16 \text{ кН}. \quad (5.11)$$

## 5.3 Удельные суммарные силы

Удельная сила, сосредоточенная на оси поршневого пальца:

$$p = \Delta p_z + p_j \text{ (МПа)}. \quad (5.12)$$

Удельная нормальная сила:

$$p_N = p \operatorname{tg} \beta \text{ (МПа)}. \quad (5.13)$$

Удельная сила, действующая вдоль шатуна:

$$p_s = p(1/\cos \beta) \text{ (МПа)}. \quad (5.14)$$

Удельная сила, действующая по радиусу кривошипа:

$$p_k = p \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)}. \quad (5.15)$$

Удельная и полная тангенциальные силы:

$$p_T = p \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta \text{ (МПа)} \quad (5.16)$$

$$T = p_T \cdot 0,002463 \cdot 10^3$$

Среднее значение тангенциальной силы за цикл:

$$T_{cp} = \frac{2 \cdot 10^6}{\pi \tau} p_i F_{II} = \frac{2 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 2} \cdot 1,2475 \cdot 0,002463 = 918 \text{ Н}; \quad (5.17)$$

$$p_{T_{cp}} = \frac{\Sigma F_1 - \Sigma F_2}{OB} \text{ Мр} \quad (5.18)$$

$$T_{cp} = p_{T_{cp}} F_{II} = p_{T_{cp}} \cdot 0,002463 \cdot 10^6 = 878 \text{ Н}; \quad (5.19)$$

по данным расчета по площади, заключенной между кривой  $p_T$  и осью абсцисс ошибка  $\Delta = (918 - 878)100/918 = 4,35 \%$ .

#### 5.4 Крутящие моменты

Крутящий момент одного цилиндра

$$M_{кр.ц} = TR = T \cdot 0,0085 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (5.20)$$

$$\Theta = 720 / i = 720 / 2 = 360^\circ \quad (5.21)$$

Средний крутящий момент двигателя:

по результатам теплового расчета

$$M_{кр.ср} = 11 \text{ Нм} \quad (5.22)$$

по площади, заключенной под кривой  $M_{кр}$

$$M_{кр.ср} = \frac{F_1 - F_2}{OA} M_m = 12 \text{ Нм} \quad (5.23)$$

ошибка  $\Delta = (11 - 12)100/118 = 4,5\%$ .

### 5.5 Силы, действующие на шатунную шейку коленчатого вала

Суммарная сила, действующая на шатунную шейку по радиусу кривошипа:

$$P_k = K + K_{RШ} = K + p_k F_{II} \text{ Н.} \quad (5.24).$$

Силы, действующие на колено вала.

Суммарная сила, действующая на колено вала по радиусу кривошипа:

$$K_{рк} = P_k + K_{RK} = P_k - 8,960 \text{ кН.} \quad (5.25)$$

Результирующая сила, действующая на колено вала,

$$R_k = \sqrt{(PT_k \cdot 10^3 \cdot F_n)^2 + (K_{P_k})^2} \quad (5.26)$$

Сила, действующая на первую коренную шейку:

$$R_{к.ш1} = -0,5R_{к1} \quad (5.27)$$

Сила, действующая на вторую коренную шейку:

$$R_{к.ш2} = \sqrt{T_{к2}^2 + K_{к2}^2}, \quad (5.28)$$

где  $T_{к2} = -0,5(T_1 - T_2)$ ;  $K_{к2} = -0,5(K_{рк1} - K_{рк2})$ .

Сила, действующая на третью коренную шейку:

$$R_{к.ш3} = \sqrt{T_{к3}^2 + K_{к3}^2}, \quad (5.29)$$

где  $T_{к3} = 0,5(T_2 + T_3)$ ;

$$K_{к3} = 0,5(K_{рк2} + K_{рк3}).$$

Результаты расчетов в главе Динамики представлены в графической части.

## 6 Расчет системы питания одноцилиндрового двигателя

### 6.1 Расчет диффузора

Исходные данные:

$$-D = 27 \text{ мм};$$

$$-S = 17 \text{ мм};$$

$$-i = 1;$$

$$-\rho_0 = 1,189 \text{ кг/м}^3;$$

$$-l_0 = 14,957.$$

Теоретическую скорость воздуха, при  $n_N = 7500 \text{ мин}^{-1}$  принимаем равной  $w_B = 150 \text{ м/с}$

Разряжение в диффузоре при теоретической скорости воздуха равной 150 м/с находится по эмпирической зависимости.

$$\Delta p_D = \omega^2 s \rho_0 / 2 = 150^2 \cdot 1,189 / 2 = 13\,376 \text{ Па} \quad (6.1)$$

Действительная скорость воздуха в диффузоре находится по формуле

$$w_D = \varphi_D \alpha_c w_B = \mu_D w_B = 0,8 \cdot 150 = 120 \text{ м/с}, \quad (6.2)$$

где  $\varphi_D$  коэффициент скорости, учитывающий гидравлические сопротивления впускного тракта;  $\alpha_c = 0,97$  коэффициент сужения струи, равный отношению площади минимального сечения потока воздуха к минимальной площади диффузора;  $\mu_D = 0,8$  коэффициент расхода диффузора.

Действительный секундный расход воздуха через диффузор

$$G_B = \eta_V \frac{\pi D^2}{4} S \left( \frac{ni}{120} \right) \rho_0 \quad (6.3)$$

$$G_B = 0,727 \frac{3,14 \cdot 0,032^2}{4} 0,025 \frac{7500}{120} 1,189 = 0,0011 \text{ кг/с} \quad (6.4)$$

Диаметр диффузора  $d_d$  принимается равным 13 мм.

## 6.2 Расчет главного жиклер

Теоретическая скорость топлива при течении из основного жиклера

$$w_{т,р} = \sqrt{2(\Delta\rho_{д/\rho_T} - g\Delta h)} = \sqrt{2 \frac{13376}{740} - 9,81 \cdot 0,003} = 6 \text{ м/с}, \quad (6.5)$$

где  $\rho_T = 740$  плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta h = 0,003$  м

Действительная скорость топлива при течении из основного жиклера

$$w_{ж.г} = \mu_{ж.г} \omega_{т,р}, \quad (6.6)$$

где  $\mu_{ж.г} = 0,8$

$$w_{ж.г} = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ м/с}$$

(6.7)

Действительный расход топлива при номинальной частоте вращения коленчатого вала равной 7500 мин<sup>-1</sup> по представленным выше рассчитанным значения теплового расчета составляет 0,467 кг/ч или 0,0001297 кг/с

ТВС направляется через главный компенсационный и главный жиклеры, их размеры подбираются таким образом, чтобы на режимах работы была обеспечена такая зависимость  $\alpha$  от частоты вращения коленчатого вала, какая была выбрана в тепловом расчете.

Значение  $G_{т.г}$  □ расход топлива проходящего через главный жиклер принимается равным 0,00013, при этом  $G_{т.ж}$  □ расход топлива проходящий через компенсационный жиклер необходимо рассчитать по формуле:



$$G_{\text{т.ж.}} = G_{\text{т.}} - G_{\text{т.г.}} = 0,0001297 - 0,00013 = 0,0000037 \text{ кг/с} \quad (6.8)$$

Диаметр главного жиклера

$$d_{\text{ж.г.}} = \frac{4G_{\text{т.г.}}}{\pi\mu_{\text{ж.г.}}\omega_{\text{т.г.}}\rho_{\text{т.}}} = \frac{4 \cdot 0,00013}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 740} = 2,13 \text{ мм}$$

Теоретическая скорость топлива при выходе из компенсационного жиклера

$$\omega_{\text{т.к.}} = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,032} = 0,7924 \text{ м/с} \quad (6.9)$$

Приблизительное разряжение при скорости истечения топлива

$$\Delta p = \frac{\omega_{\text{т.к.}}^2 \rho_{\text{т.}}}{2} \quad (6.10)$$

$$\Delta p = 0,7924^2 \cdot \frac{740}{2} = 0,2 \text{ кПа}$$

Коэффициент расхода компенсационного жиклера определяется по графику зависимости коэффициента расхода топлива от разряжения при  $\Delta p = 0,2$  кПа по методическому пособию А.И. Колчина. Из рассмотрения условий мы получаем значение  $\mu_{\text{ж.к.}} = 0,7$

Диаметр компенсационного жиклера

$$d_{\text{ж.г.}} = \frac{4G_{\text{т.к.}}}{\pi\mu_{\text{ж.к.}}\omega_{\text{т.к.}}\rho_{\text{т.}}} =$$

$$= \frac{4 \cdot 0,0000037}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,7924 \cdot 740} = 1,07 \text{ мм} \quad (6.11)$$

Характеристика карбюратора строится в пределах от  $\Delta p_d$  при  $n_{\min}=1750$  мин<sup>-1</sup> до  $\Delta p_d$  при  $n_{\max}=9000$  мин<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} \Delta p_d &= \frac{\eta_V}{\mu_d} \frac{D^2}{d_d} S \frac{ni}{120} \frac{\rho_0}{2} = \\ &= \frac{0,65}{0,43} \frac{0,027^2}{0,01} 0,017 \left(\frac{1200}{120}\right)^2 \frac{1,189}{2} = 234 \text{ Па} \end{aligned} \quad (6.12)$$

Для определения  $\Delta p_d$  при полностью открытой дроссельной заслонке и заданным значением  $n$  делается с помощью подбора значения  $\mu_d$ , соответствующего получаемому значению  $\Delta p_d$  по графику зависимости коэффициента расхода от разряжения в диффузоре определяем при  $\Delta p_d =$

Где  $\eta_V$  и  $\eta_V$  принимают из рассчитанных значений теплового расчета, а принятые значения  $\mu_d$  и  $\mu_d$  отвечают полученным значениям  $\Delta p_d$  и  $\Delta p_d$

Расход воздуха через диффузор за секунду прямо относящийся разряжения определяют по формуле

$$G_B = \frac{\pi d_d^2}{4} \mu_d \sqrt{2\rho_0 \Delta p_d} \quad (6.13)$$

Коэффициент расхода главного жиклера находится по графику зависимости коэффициента расхода топлива от разряжения для значений  $\Delta p_d$

Теоретическая скорость топлива из главного жиклера

$$w_{T,\Gamma} = \sqrt{\frac{2}{\rho_T} \Delta p_d - g \Delta h \rho_T} \quad (6.14)$$

### Расход топлива через главный жиклер

$$G_{Т.Г} = \frac{\pi d_{ж.г}^2}{4} \mu_{ж.г} \omega_{Т.Г} \rho_{Т} \quad (6.15)$$

Топливные затраты проходящая через компенсационный жиклер не зависит от разрежения и был принят  $G_{Т.К} = 0,0000037$  кг/с

Общий расход топлива

$$G_{Т} = G_{Т.Г} + G_{Т.К} \quad (6.16)$$

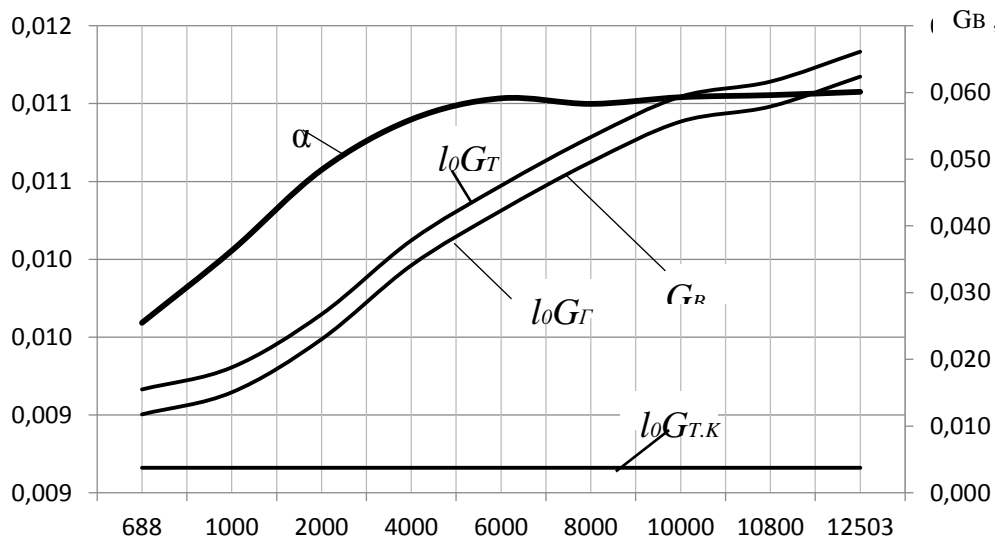


Рисунок 1 – Расчетная характеристика карбюратора

Таблица 4 – Номинальные данные

$\Delta p_d$	$\mu_{жг}$	$\mu_d$	$\alpha$	$G_B$	$\omega_{ТГ}$	$G_{ТГ}$	$G_T$	$G_T l_0$	$G_{ТК} l_0$	$G_{ТГ} l_0$
688	0,640	0,730	0,010	0,000	1,363	0,001	0,001	0,015	0,004	0,012
1000	0,680	0,770	0,010	0,000	1,644	0,001	0,001	0,019	0,004	0,015
2000	0,735	0,815	0,011	0,000	2,325	0,002	0,002	0,027	0,004	0,023
4000	0,770	0,840	0,011	0,000	3,288	0,002	0,003	0,038	0,004	0,034
6000	0,780	0,845	0,011	0,001	4,027	0,003	0,003	0,046	0,004	0,042
8000	0,792	0,845	0,011	0,001	4,650	0,003	0,004	0,053	0,004	0,050
10000	0,795	0,845	0,011	0,001	5,199	0,004	0,004	0,059	0,004	0,056
10800	0,796	0,845	0,011	0,001	5,403	0,004	0,004	0,062	0,004	0,058
12503	0,797	0,844	0,011	0,001	5,813	0,004	0,004	0,066	0,004	0,062

## 7 Капотирование поршневого двигателя для адаптации к

### БПЛА

Капот создает форму наружного строения моторных отделов автомобилей, самолетов и т.д. Капот представляет собой оболочку, которая образует воздушный тракт системы охлаждения. Главное функциональное применение капота - организация условий, необходимых для корректной работы системы охлаждения (непосредственного участия в режимах работы системы охлаждения капот не принимает) [20]. От конструктивных особенностей капота зависит степень эффективности отвода теплоты от устройств подверженных термическим нагрузкам во время работы системы охлаждения. Помимо этого, капот создает барьер для узлов и агрегатов от различных атмосферных осадков, пыли, подавляет некоторое количество внешнего шума от силового агрегата при работе и понижает шум на рабочем месте оператора.

Строение капота - это ограждения двигателя и его маска. Не существует строгих ограничений для формы капота.

Внешнее строение капота — это наружные формы, создающие конструктивные особенности дрона. От производителя техники зависит внешний вид его моделей, которые будут отличать их от дизайна других разработчиков.

В конструировании капота было выделено несколько основных направлений:

- обеспечение повторного использования потока воздуха для охлаждения двигателя;
- продувочные жалюзи должны иметь возможность обеспечения выхода уже нагретого воздуха из-под капота;
- быстрый доступ к двигателю для его снятия или установки в корпусе и ремонта деталей;

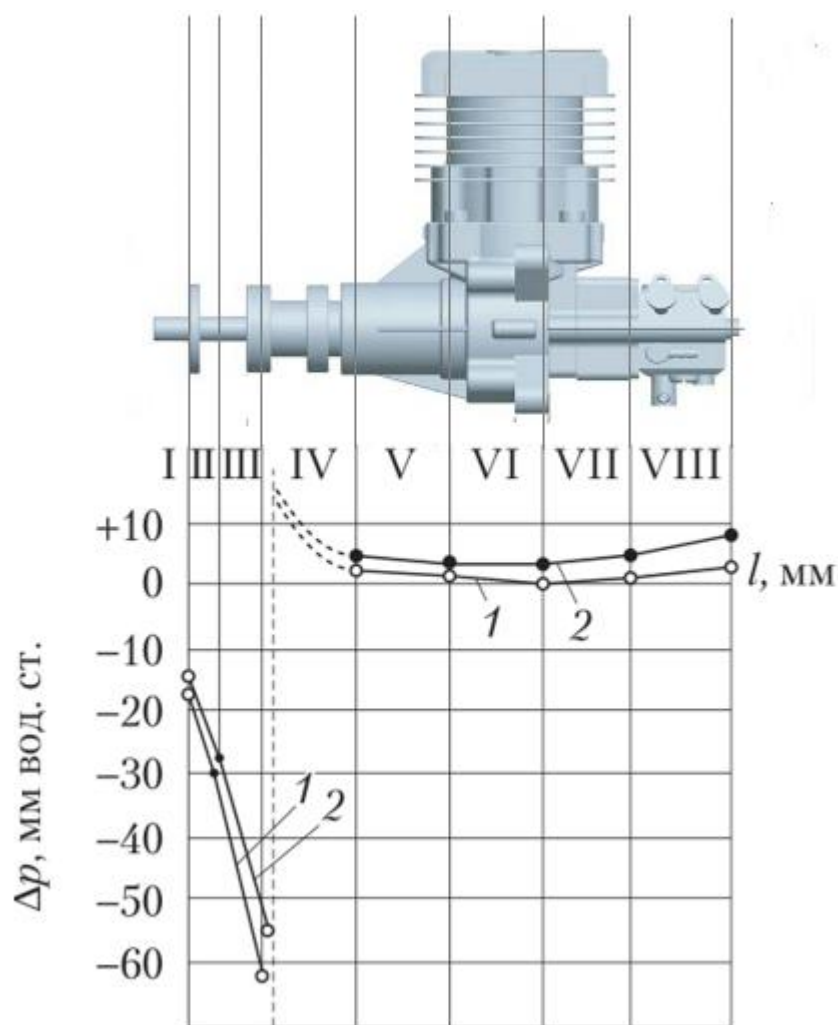
- продувочные жалюзи должны иметь автоматическое или полуавтоматическое регулирование чтобы обеспечить своевременный отвод тепла для корректной работы системы охлаждения;

За рассматриваемый беспилотный летательный аппарат была взята авиамодель «Katana 50 ARF» и в дальнейшем была произведена модернизация ее капота. Данный беспилотник попадает по классификации в мини- БПЛА ближнего радиуса действия (взлетная масса до 5 кг, дальность действия до 25...40 км). Это показывает, что двигатель RCGF – 20 может применяться на данной модели т.к. рассчитанные мощностные показатели данного силового агрегата подходят к данной авиамодели.

Для быстрого доступа к ДВС была установлена на месте сплошного корпуса в верхней части капота снимающаяся крышка из фанеры толщиной 3 мм, для сохранения массовых показателей авиамодели. Установка и снятие крышки капота осуществляется через болты.

Установка регулируемых ставней для выпуска нагретого воздуха из отсека силового агрегата понижают созданное там динамическое давление в подкапотном пространстве около 4...5 раз, выравнивая массовые скорости воздуха [21].

Под вентиляцией подкапотного пространства понимается обеспечение выхода теплого воздуха из отсека двигателя, обеспечение перемещения воздушного потока вокруг поверхностей блока двигателя с небольшим аэродинамическим сопротивлением путем смещения скорости масс воздуха в аналогичных точках подкапотного пространства вокруг ДВС. Продувочные жалюзи на капоте понижают давление в отсеке двигателя до минимального 0...3 мм рт. ст. (рис. 3).



1 - капот без продувочных окон; 2 - капот с жалюзи

Рисунок 2 - Давление в моторном отсеке

Понижение динамического давления в подкапотном пространстве позволяет выровнять массовые скорости воздуха, с обеих боковых сторон двигателя за вентилятором скорость воздуха уменьшается и перед кабиной в конце капота при наличии регулируемой жалюзи увеличивается, что обусловлено активной вентиляцией моторного отделения. При вентиляции отсека двигателя температура охлаждающей жидкости понижается до 5,5 °С, а масла до 4,5 °С. Из этого следует следующее, что отсутствие системы вентиляции в подкапотном пространстве увеличивает тепловое состояние двигателя, из-за этого уменьшается теплоотдача от стенок блок-картера [23].

Воздух, засасываемый через управляемые жалюзи забирает тепло от двигателя и выбрасывает его в атмосферу через расположенные в обеих боковых частях капота дополнительно установленные «жабры». Организация воздушного потока в капоте с совершенными модернизированными частями предусматривает выход нагретого воздуха, таким образом, чтобы выброшенный в атмосферу воздух не попадал под крыло БПЛА и не влиял на условия полета.

Увеличивается количество теплоты, отводимое от двигателя. Вторичное использование потока воздуха дает возможность уменьшить, снизить температуру деталей двигателя. Следовательно, формируется дополнительная линия отвода теплоты. Повторное использование воздушного потока увеличивает эффективность системы охлаждения, что весьма важно для двигателей высокой мощности, для охлаждения которых используются радиаторы с высокой производительностью вентилятора, большой массой. Полное капотирование, одновременно, получает свойство функционального назначения по отводу теплоты от двигателя [24].

Вентиляция подкапотного пространства отсека для ДВС увеличивает свою эффективность системы отвода теплоты и поддерживает заданное тепловое состояние двигателя БПЛА при наличии регулируемых жалюзи для создания направленного движения потока воздуха. Управление сечениями продувочных жалюзи дает возможность управлять тепловым состоянием ДВС в зависимости от режима нагрузки и температуры за бортом беспилотника. Жидкостную систему можно преобразовать в жидкостно-воздушную или вовсе избавиться от охлаждения с помощью жидкости. На БПЛА с воздушным охлаждением на отвод теплоты требуется меньше энергетических затрат, чем для ДВС имеющего отвод теплоты через охлаждающую жидкость, а отсутствие радиатора позволяет экономить средства на покупку дорогостоящих цветных металлов.

Управляемые на пульте пилота-оператора жалюзи на поверхности капота обеспечивают управление теплового режима всего силового агрегата в заданных пределах.

Управление осуществляется с помощью блока регулировки воздушной заслонки с полуавтоматической системой.

Суть системы заключается в следующем:

Установленный внутри капота самолета оптоволоконный датчик, передает данные о температуре двигателя на пульт управления оператора, и сам пилот регулирует угол открытия жалюзи под необходимые условия воздушной работы БПЛА (от антарктических до умеренных).

Выбор датчика данного типа осуществлялся из его ряда преимуществ перед остальными:

- возможность передачи ряда данных по одному каналу связи;
- измерения температуры двигателя на расстоянии, что упрощает его установку и уменьшение риска отпасть при установке непосредственно на ДВС;
- стабильность работы при появлении электромагнитных помех;
- новаторская конструкция обеспечивает долговечность работы датчика данного типа [25].



## 8 Экологичность и безопасность технического проекта

В представленной бакалаврской работе предлагается установка дополнительных регулируемых жалюзи на капот дрона (авиамоделей) для обеспечения улучшенного отвода теплоты или при полном перекрытии створок сохранение теплового режима в подкапотном пространстве.

Влияние новой конструкции на температурное состояние основных деталей ДВС:

Температурное состояние агрегатов и узлов силовой установки – это характеристика, показывающая способность системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания к снижению термонагрузок деталей, агрегатов и узлов и поддержанию уровня тепла необходимого для корректной работы ДВС.

При взлете и наборе высоты существенно повышается количество оборотов двигателя внутреннего сгорания, так же увеличивается сила трения, которая приводит к увеличенному теплообразованию и как следствие повышенному износу деталей.

Чтобы понизить уровень тепла в двигателе с воздушным охлаждением необходимо непрерывно подавать количество нового воздуха для постоянной обдувки ДВС.

При правильно подобранных или рассчитанных параметрах системы охлаждения не должно возникать проблем с исправностью и работоспособностью функционирования всех систем двигателя

**Высокая шумность при достижении двигателя высоких оборотов**

При увеличении оборотов ДВС шум от действия работы КШМ и ГРМ возрастает в несколько раз. Так же, в случае увеличении оборотов обеспечивается высокая скорость воздушного потока на впуске/выпуске, что так же ведет к увеличению шума.

Для достижения определенных параметров по шумоизоляции требуется дополнительно применять новые подходы к системе поглощения шума. Эффективное снижение показателя шумности ДВС возможно при его частичной изоляции в двигательном отделении - капотирования или полной изоляции акустики — капсулирование. Капотирование ДВС дрона снижает уровня шума от 15 до 20 дБ(А) [20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был рассмотрен бензиновый двигатель и мероприятия для его адаптации под стандарты БПЛА. За базовый двигатель была взята модель силовой установки RCGF – 20 рабочим объемом  $iVh=0,2$  л, номинальной частотой вращения  $n = 7500$  об/мин, число тактов  $i = 2$ .

Были произведены расчеты основных параметров двигателя внутреннего сгорания, а именно, динамический, тепловой, кинематический, расчет основных деталей и системы подачи топлива и охлаждения двигателя.

Результаты расчетов показали работоспособность двигателя.

Анализ возможности капотирования двигателя показал, что показатели шума снижаются на 5 дБ. Установка регулируемых жалюзи увеличило отвод тепла, что в свою очередь улучшило работу системы охлаждения двигателя.

В главе «Экологичность и безопасность проекта» показано что, представленный ДВС выполняет нормы по ГОСТ Р 52231-04 «Внешний шум автомобилей в эксплуатации».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вибе, И.И. Методы уточненного теплового расчета двигателя [Текст] / И.И. Вибе// М. Машиностроение, 2015. - с.282.
2. Ховах М.С, Маслов Г.С. Автомобильные двигатели – изд 2-е., перераб. и доп. [Текст] /Под редакцией М.С. Ховаха// М.: Машиностроение, 2015. - с.456.
3. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания», том 1: 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машгиз, 2015. -396 с.
4. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]/ Колчин, А.И. Демидов В.П. // Учебное пособие. — 4-е издание. — М.: Высшая школа, 2008. — 496 с.
5. Орлин, А.С. ДВС: Расчет и конструирование поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] /Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова. —4-е издание, перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 2017. – с.384
6. Hutton, F. R. (1908). The gas-engine. A treatise on the internal-combustion engine using gas, gasoline, kerosene, alcohol, or other hydrocarbon as source of energy. New York: Wiley.
7. Heba Soffar Unmanned Aerial Vehicles. UK journal of Engineering. Article - January 30, 2017
8. Lambert Dopping-Hepenstal Unmanned Aerial Vehicles. UK journal of Engineering. Article - Issue 59, June 2015.
9. Hutton, F. R. The gas-engine. A treatise on the internal-combustion engine using gas, gasoline, kerosene, alcohol, or other hydrocarbon as source of energy. New York: Wiley. — 2015

10. Singer, Charles Joseph; Raper, Richard, A History of Technology: The Internal Combustion Engine, edited by Charles Singer. [et al.], Clarendon Press. — 2016.
11. Кулапин В.И. Автоматическая система управления прецизионной посадкой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на наземную платформу беспроводной зарядки / В.И. Кулапин, А.В. Князьков, А.С. Егорихин, П.В. Шевцов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – №1.
12. Бецков А.В. Анализ живучести беспилотного летательного аппарата / А.В. Бецков, И.В. Прокопьев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – №2.
13. Никифоров Н.А. БПЛА для инвентаризации, картирования и управления объектамисадово-паркового хозяйства // Лесные массивы России в XXI веке. Материалы первой международной научно-практической интернет-конференции. – СПб.: СПбГЛТА, 2017. № 1, с. 248-251.
14. Кадегров С.Е. Авиационные аппараты отечественного производства // лесные массивы в XXI веке. Материалы третьей международной научно-практической интернет-конференции. – СПб.: СПбГЛТА, 2016. № 3, с. 144-149.
15. Ефимов, С.И. Поршневые силовые агрегаты: системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / С. И. Ефимов [и др.]; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 2015.
16. Благовестов, А.И. Авиационные двигатели легкого топлива: конструкции и расчет на прочность [Текст] / А.И. Благовестов. – М.: Оборонгиз, 2017. – Кн. I.
17. Благовестов, А.И. Авиационные двигатели легкого топлива: конструкции и расчет на прочность [Текст] / А.И. Благовестов. – М.: Оборонгиз, 2017. – Кн. I.
18. Архангельский, В.М. Автомобильные двигатели [Текст] / В.М. Архангельский [и др.]; под ред. М. С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 2016.

19. Баханов, Л.Е. Системы управления вооружением истребителей: Основы интеллекта многофункционального самолета [Электронный ресурс] / Л.Е. Баханов, А.Н. Давыдов, В.Н. Корниенко, В.В. Слатин. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2015. — 400 с.
20. Матвеевко, А.М. Самолеты и вертолеты. Том IV-21. Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолетов. Книга 2 [Электронный ресурс] / А.М. Матвеевко, А.И. Акимов, М.Г. Акопов, Н.В. Алексеев. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2015. — 752 с.
21. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В.И. Анурьев// в 3-х т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. - с.296.
22. Кривель, С.М. Динамика полета. Расчет летно-технических и пилотажных характеристик самолета [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.М. Кривель. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 192 с.
23. Zamyatin, S.V. Control theory [Электронный ресурс] / S.V. Zamyatin, M.I. Pushkarev, E.M. Yakovleva. — Электрон. дан. — Томск: ТПУ, 2016. — 100 с.
24. Тимофеев, Н.П. Тактическая авиация ВВС США и НАТО в локальных конфликтах [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.П. Тимофеев, Ю.Ф. Куприянов, Ю.П. Самохвалов, С.Г. Чурбанов. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — 176 с.
25. Илюхин, И.М. Оптические и оптико-электронные приборы навигационных комплексов самолетов и космических кораблей [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.М. Илюхин, Ш.М. Камалов. — Электрон. дан. — Москва МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 48 с.
26. Берлин И.А., Гиммельфарб А.Л., Крейсон П.М. "Конструкция и проектирование самолетов" учебник для авиационных вузов, 2016. — 266 с.
27. Стечкин, Б.С. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя / Б.С. Стечкин, К.И. Генкин, В.С. Золотаревский. – М. : АН СССР, 2016. – 200 с.

28. Машиностроение. Энциклопедия : в 40 т. / гл. ред. К.В. Фролов (пред.) и др.— М.: Машиностроение, 2017.- Т. IV-14: Двигатели внутреннего сгорания.- 784с.
29. Аносов Ю.М. “Основы отраслевых технологий и организации производства”. С-П., Политехника, 2002.
30. Житомирский, Г.И. Конструкция самолетов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.И. Житомирский. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2018. — 416 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Таблица А1 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при  $n = 1750 \text{ мин}^{-1}$

$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi'_1$	$\varphi'_2$	X1-2	$\Delta X_{1-2}$	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	1,000	347,000	348,000	0,000	0,0000006	1,371	1,097	1,083	626,188	629,235	0,988	6,391
1,000	2,000	348,000	349,000	0,000	0,0000083	1,362	1,083	1,069	629,235	632,069	1,006	6,529
2,000	3,000	349,000	350,000	0,000	0,0000359	1,361	1,069	1,057	632,069	634,872	1,023	6,542
3,000	4,000	350,000	351,000	0,000	0,0000967	1,360	1,057	1,047	634,872	637,838	1,039	6,555
4,000	5,000	351,000	352,000	0,000	0,0002038	1,359	1,047	1,037	637,838	641,243	1,055	6,569
5,000	6,000	352,000	353,000	0,001	0,0003704	1,358	1,037	1,028	641,243	645,438	1,070	6,586
6,000	7,000	353,000	354,000	0,001	0,0006094	1,357	1,028	1,021	645,438	650,850	1,086	6,606
7,000	8,000	354,000	355,000	0,002	0,0009334	1,355	1,021	1,014	650,850	657,972	1,103	6,632
8,000	9,000	355,000	356,000	0,003	0,0013543	1,353	1,014	1,009	657,972	667,358	1,122	6,664
9,000	10,000	356,000	357,000	0,004	0,0018832	1,351	1,009	1,005	667,358	679,600	1,144	6,705
10,000	11,000	357,000	358,000	0,005	0,0025301	1,348	1,005	1,002	679,600	695,323	1,170	6,755
11,000	12,000	358,000	359,000	0,007	0,0033031	1,344	1,002	1,001	695,323	715,158	1,201	6,814
12,000	13,000	359,000	360,000	0,008	0,0042082	1,340	1,001	1,000	715,158	739,723	1,238	6,883
13,000	14,000	360,000	361,000	0,010	0,0052484	1,336	1,000	1,001	739,723	769,608	1,282	6,961
14,000	15,000	361,000	362,000	0,013	0,0064233	1,331	1,001	1,002	769,608	805,350	1,333	7,045



15,000	16,000	362,000	363,000	0,015	0,0077281	1,326	1,002	1,005	805,350	847,422	1,394	7,133
16,000	17,000	363,000	364,000	0,018	0,0091535	1,321	1,005	1,009	847,422	896,213	1,463	7,224
17,000	18,000	364,000	365,000	0,021	0,0106842	1,317	1,009	1,014	896,213	952,012	1,543	7,315
18,000	19,000	365,000	366,000	0,025	0,0122992	1,312	1,014	1,021	952,012	1014,990	1,632	7,404
19,000	20,000	366,000	367,000	0,028	0,0139711	1,308	1,021	1,028	1014,990	1085,178	1,731	7,488
20,000	21,000	367,000	368,000	0,031	0,0156664	1,305	1,028	1,037	1085,178	1162,449	1,840	7,566
21,000	22,000	368,000	369,000	0,035	0,0173455	1,301	1,037	1,047	1162,449	1246,500	1,957	7,638
22,000	23,000	369,000	370,000	0,038	0,0189637	1,298	1,047	1,057	1246,500	1336,835	2,083	7,703
23,000	24,000	370,000	371,000	0,041	0,0204724	1,296	1,057	1,069	1336,835	1432,753	2,215	7,761
24,000	25,000	371,000	372,000	0,044	0,0218210	1,294	1,069	1,083	1432,753	1533,350	2,352	7,811
25,000	26,000	372,000	373,000	0,046	0,0229591	1,292	1,083	1,097	1533,350	1637,525	2,492	7,855
26,000	27,000	373,000	374,000	0,048	0,0238390	1,290	1,097	1,112	1637,525	1743,998	2,632	7,891
27,000	28,000	374,000	375,000	0,049	0,0244188	1,289	1,112	1,129	1743,998	1851,343	2,771	7,921
28,000	29,000	375,000	376,000	0,049	0,0246652	1,288	1,129	1,146	1851,343	1958,031	2,906	7,945
29,000	30,000	376,000	377,000	0,049	0,0245565	1,287	1,146	1,165	1958,031	2062,480	3,034	7,963
30,000	31,000	377,000	378,000	0,048	0,0240848	1,287	1,165	1,184	2062,480	2163,117	3,152	7,977
31,000	32,000	378,000	379,000	0,047	0,0232578	1,286	1,184	1,205	2163,117	2258,443	3,259	7,986
32,000	33,000	379,000	380,000	0,044	0,0220991	1,286	1,205	1,227	2258,443	2347,096	3,352	7,991
33,000	34,000	380,000	381,000	0,041	0,0206476	1,286	1,227	1,250	2347,096	2427,913	3,429	7,993
34,000	35,000	381,000	382,000	0,038	0,0189563	1,286	1,250	1,274	2427,913	2499,980	3,490	7,993
35,000	36,000	382,000	383,000	0,034	0,0170882	1,286	1,274	1,299	2499,980	2562,675	3,533	7,990
36,000	37,000	383,000	384,000	0,030	0,0151134	1,286	1,299	1,325	2562,675	2615,681	3,558	7,986

37,000	38,000	384,000	385,000	0,026	0,0131036	1,287	1,325	1,351	2615,681	2658,995	3,566	7,980
38,000	39,000	385,000	386,000	0,022	0,0111279	1,287	1,351	1,379	2658,995	2692,909	3,558	7,974
39,000	40,000	386,000	387,000	0,018	0,0092478	1,287	1,379	1,408	2692,909	2717,974	3,534	7,967
40,000	41,000	387,000	388,000	0,015	0,0075139	1,287	1,408	1,438	2717,974	2734,949	3,498	7,960
41,000	42,000	388,000	389,000	0,012	0,0059631	1,288	1,438	1,469	2734,949	2744,742	3,449	7,953
42,000	43,000	389,000	390,000	0,009	0,0046178	1,288	1,469	1,501	2744,742	2748,347	3,391	7,946
43,000	44,000	390,000	391,000	0,007	0,0034858	1,288	1,501	1,533	2748,347	2746,779	3,326	7,939
44,000	45,000	391,000	392,000	0,005	0,0025622	1,288	1,533	1,567	2746,779	2741,019	3,254	7,933
45,000	46,000	392,000	393,000	0,004	0,0018319	1,289	1,567	1,601	2741,019	2731,973	3,179	7,926

Таблица А2 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при  $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$

$\varphi_1$	$\varphi'_1$	$\varphi_2$	$\varphi'_2$	X1-2	$\Delta X_{1-2}$	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	345,000	1,000	346,000	0,00000	0,00000	1,345	1,38130	1,34277	699,414	703,175	1,519	6,796
1,000	346,000	2,000	347,000	0,00000	0,00000	1,345	1,34277	1,30622	703,175	706,737	1,549	6,804
2,000	347,000	3,000	348,000	0,00001	0,00001	1,344	1,30622	1,27164	706,737	710,168	1,579	6,811
3,000	348,000	4,000	349,000	0,00004	0,00002	1,344	1,27164	1,23907	710,168	713,555	1,608	6,818
4,000	349,000	5,000	350,000	0,00008	0,00004	1,343	1,23907	1,20853	713,555	717,028	1,635	6,825
5,000	350,000	6,000	351,000	0,00015	0,00008	1,343	1,20853	1,18001	717,028	720,771	1,662	6,833
6,000	351,000	7,000	352,000	0,00026	0,00013	1,342	1,18001	1,15355	720,771	725,015	1,688	6,842
7,000	352,000	8,000	353,000	0,00040	0,00020	1,342	1,15355	1,12916	725,015	730,041	1,714	6,854
8,000	353,000	9,000	354,000	0,00059	0,00029	1,341	1,12916	1,10684	730,041	736,176	1,740	6,869

9,000	354,000	10,000	355,000	0,00083	0,00041	1,340	1,10684	1,08661	736,176	743,786	1,768	6,888
10,000	355,000	11,000	356,000	0,00113	0,00056	1,338	1,08661	1,06849	743,786	753,269	1,797	6,911
11,000	356,000	12,000	357,000	0,00149	0,00075	1,337	1,06849	1,05247	753,269	765,045	1,830	6,940
12,000	357,000	13,000	358,000	0,00193	0,00097	1,335	1,05247	1,03857	765,045	779,546	1,866	6,974
13,000	358,000	14,000	359,000	0,00245	0,00122	1,333	1,03857	1,02680	779,546	797,201	1,908	7,014
14,000	359,000	15,000	360,000	0,00304	0,00152	1,330	1,02680	1,01716	797,201	818,429	1,955	7,059
15,000	360,000	16,000	361,000	0,00373	0,00186	1,327	1,01716	1,00965	818,429	843,625	2,009	7,110
16,000	361,000	17,000	362,000	0,00451	0,00225	1,324	1,00965	1,00429	843,625	873,145	2,071	7,164
17,000	362,000	18,000	363,000	0,00538	0,00269	1,321	1,00429	1,00107	873,145	907,301	2,142	7,222
18,000	363,000	19,000	364,000	0,00635	0,00318	1,318	1,00107	1,00000	907,301	946,336	2,221	7,282
19,000	364,000	20,000	365,000	0,00742	0,00371	1,315	1,00000	1,00107	946,336	990,417	2,310	7,343
20,000	365,000	21,000	366,000	0,00860	0,00430	1,312	1,00107	1,00429	990,417	1039,611	2,408	7,403
21,000	366,000	22,000	367,000	0,00987	0,00493	1,310	1,00429	1,00965	1039,611	1093,870	2,515	7,461
22,000	367,000	23,000	368,000	0,01123	0,00562	1,307	1,00965	1,01716	1093,870	1153,011	2,631	7,517
23,000	368,000	24,000	369,000	0,01269	0,00635	1,304	1,01716	1,02680	1153,011	1216,704	2,755	7,570
24,000	369,000	25,000	370,000	0,01423	0,00712	1,302	1,02680	1,03857	1216,704	1284,461	2,885	7,619
25,000	370,000	26,000	371,000	0,01584	0,00792	1,300	1,03857	1,05247	1284,461	1355,630	3,021	7,664
26,000	371,000	27,000	372,000	0,01752	0,00876	1,298	1,05247	1,06849	1355,630	1429,404	3,159	7,704
27,000	372,000	28,000	373,000	0,01924	0,00962	1,297	1,06849	1,08661	1429,404	1504,830	3,298	7,740
28,000	373,000	29,000	374,000	0,02099	0,01049	1,295	1,08661	1,10684	1504,830	1580,835	3,435	7,771
29,000	374,000	30,000	375,000	0,02274	0,01137	1,294	1,10684	1,12916	1580,835	1656,262	3,567	7,798
30,000	375,000	31,000	376,000	0,02449	0,01225	1,293	1,12916	1,15355	1656,262	1729,908	3,692	7,820

31,000	376,000	32,000	377,000	0,02620	0,01310	1,292	1,15355	1,18001	1729,908	1800,576	3,807	7,838
32,000	377,000	33,000	378,000	0,02786	0,01393	1,292	1,18001	1,20853	1800,576	1867,128	3,908	7,853
33,000	378,000	34,000	379,000	0,02942	0,01471	1,291	1,20853	1,23907	1867,128	1928,540	3,995	7,864
34,000	379,000	35,000	380,000	0,03086	0,01543	1,291	1,23907	1,27164	1928,540	1983,948	4,064	7,871
35,000	380,000	36,000	381,000	0,03217	0,01608	1,291	1,27164	1,30622	1983,948	2032,693	4,115	7,876
36,000	381,000	37,000	382,000	0,03330	0,01665	1,291	1,30622	1,34277	2032,693	2074,353	4,147	7,879
37,000	382,000	38,000	383,000	0,03423	0,01712	1,291	1,34277	1,38130	2074,353	2108,753	4,160	7,879
38,000	383,000	39,000	384,000	0,03495	0,01747	1,291	1,38130	1,42176	2108,753	2135,969	4,154	7,877
39,000	384,000	40,000	385,000	0,03542	0,01771	1,291	1,42176	1,46416	2135,969	2156,303	4,131	7,874
40,000	385,000	41,000	386,000	0,03564	0,01782	1,291	1,46416	1,50845	2156,303	2170,254	4,092	7,870
41,000	386,000	42,000	387,000	0,03559	0,01779	1,291	1,50845	1,55463	2170,254	2178,469	4,039	7,865
42,000	387,000	43,000	388,000	0,03526	0,01763	1,292	1,55463	1,60265	2178,469	2181,695	3,974	7,859
43,000	388,000	44,000	389,000	0,03466	0,01733	1,292	1,60265	1,65251	2181,695	2180,717	3,899	7,853
44,000	389,000	45,000	390,000	0,03379	0,01689	1,292	1,65251	1,70417	2180,717	2176,318	3,818	7,846
45,000	390,000	46,000	391,000	0,03266	0,01633	1,292	1,70417	1,75761	2176,318	2169,227	3,731	7,839
46,000	391,000	47,000	392,000	0,03129	0,01565	1,293	1,75761	1,81279	2169,227	2160,098	3,640	7,832
47,000	392,000	48,000	393,000	0,02972	0,01486	1,293	1,81279	1,86970	2160,098	2149,484	3,548	7,825
48,000	393,000	49,000	394,000	0,02796	0,01398	1,290	1,86970	1,92829	2149,484	2137,839	3,455	7,817
49,000	394,000	50,000	395,000	0,02605	0,01302	1,290	1,92829	1,98854	2137,839	2125,514	3,362	7,901
50,000	395,000	51,000	396,000	0,02403	0,01202	1,290	1,98854	2,05041	2125,514	2112,771	3,271	7,894

Таблица А3 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при  $n = 5500 \text{ мин}^{-1}$

$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi'_1$	$\varphi'_2$	X1-2	$\Delta X_{1-2}$	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	1,000	343,000	344,000	0,000	0,0000001	1,367	1,165	1,146	673,447	677,444	1,310	6,446
1,000	2,000	344,000	345,000	0,000	0,0000015	1,362	1,146	1,129	677,444	681,240	1,339	6,529
2,000	3,000	345,000	346,000	0,000	0,0000073	1,361	1,129	1,112	681,240	684,893	1,368	6,542
3,000	4,000	346,000	347,000	0,000	0,0000215	1,360	1,112	1,097	684,893	688,429	1,396	6,555
4,000	5,000	347,000	348,000	0,000	0,0000488	1,359	1,097	1,083	688,429	691,896	1,422	6,569
5,000	6,000	348,000	349,000	0,000	0,0000940	1,358	1,083	1,069	691,896	695,364	1,448	6,585
6,000	7,000	349,000	350,000	0,000	0,0001627	1,357	1,069	1,057	695,364	698,929	1,473	6,606
7,000	8,000	350,000	351,000	0,001	0,0002603	1,355	1,057	1,047	698,929	702,707	1,498	6,631
8,000	9,000	351,000	352,000	0,001	0,0003927	1,353	1,047	1,037	702,707	706,843	1,522	6,664
9,000	10,000	352,000	353,000	0,001	0,0005658	1,351	1,037	1,028	706,843	711,500	1,545	6,704
10,000	11,000	353,000	354,000	0,002	0,0007856	1,348	1,028	1,021	711,500	716,866	1,568	6,753
11,000	12,000	354,000	355,000	0,002	0,0010582	1,344	1,021	1,014	716,866	723,144	1,592	6,813
12,000	13,000	355,000	356,000	0,003	0,0013895	1,340	1,014	1,009	723,144	730,554	1,616	6,881
13,000	14,000	356,000	357,000	0,004	0,0017850	1,336	1,009	1,005	730,554	739,329	1,641	6,958
14,000	15,000	357,000	358,000	0,004	0,0022499	1,331	1,005	1,002	739,329	749,708	1,668	7,042
15,000	16,000	358,000	359,000	0,006	0,0027889	1,326	1,002	1,001	749,708	761,941	1,696	7,130
16,000	17,000	359,000	360,000	0,007	0,0034058	1,322	1,001	1,000	761,941	776,280	1,727	7,220
17,000	18,000	360,000	361,000	0,008	0,0041032	1,317	1,000	1,001	776,280	792,979	1,762	7,310

18,000	19,000	361,000	362,000	0,010	0,0048827	1,313	1,001	1,002	792,979	812,290	1,799	7,397
19,000	20,000	362,000	363,000	0,011	0,0057440	1,309	1,002	1,005	812,290	834,459	1,841	7,481
20,000	21,000	363,000	364,000	0,013	0,0066851	1,305	1,005	1,009	834,459	859,721	1,886	7,558
21,000	22,000	364,000	365,000	0,015	0,0077018	1,302	1,009	1,014	859,721	888,290	1,937	7,630
22,000	23,000	365,000	366,000	0,018	0,0087874	1,299	1,014	1,021	888,290	920,358	1,992	7,694
23,000	24,000	366,000	367,000	0,020	0,0099325	1,296	1,021	1,028	920,358	956,077	2,053	7,751
24,000	25,000	367,000	368,000	0,022	0,0111247	1,294	1,028	1,037	956,077	995,556	2,119	7,801
25,000	26,000	368,000	369,000	0,025	0,0123488	1,292	1,037	1,047	995,556	1038,850	2,191	7,844
26,000	27,000	369,000	370,000	0,027	0,0135863	1,291	1,047	1,057	1038,850	1085,947	2,268	7,881
27,000	28,000	370,000	371,000	0,030	0,0148161	1,289	1,057	1,069	1085,947	1136,760	2,349	7,911
28,000	29,000	371,000	372,000	0,032	0,0160142	1,288	1,069	1,083	1136,760	1191,121	2,435	7,936
29,000	30,000	372,000	373,000	0,034	0,0171545	1,288	1,083	1,097	1191,121	1248,772	2,524	7,956
30,000	31,000	373,000	374,000	0,036	0,0182094	1,287	1,097	1,112	1248,772	1309,362	2,616	7,971
31,000	32,000	374,000	375,000	0,038	0,0191503	1,286	1,112	1,129	1309,362	1372,445	2,710	7,982
32,000	33,000	375,000	376,000	0,040	0,0199493	1,286	1,129	1,146	1372,445	1437,485	2,805	7,989
33,000	34,000	376,000	377,000	0,041	0,0205796	1,286	1,146	1,165	1437,485	1503,862	2,898	7,993
34,000	35,000	377,000	378,000	0,042	0,0210172	1,286	1,165	1,184	1503,862	1570,881	2,990	7,995
35,000	36,000	378,000	379,000	0,042	0,0212422	1,286	1,184	1,205	1570,881	1637,792	3,077	7,994
36,000	37,000	379,000	380,000	0,042	0,0212399	1,286	1,205	1,227	1637,792	1703,805	3,160	7,992
37,000	38,000	380,000	381,000	0,042	0,0210021	1,286	1,227	1,250	1703,805	1768,118	3,235	7,988
38,000	39,000	381,000	382,000	0,041	0,0205279	1,286	1,250	1,274	1768,118	1829,941	3,303	7,983
39,000	40,000	382,000	383,000	0,040	0,0198245	1,287	1,274	1,299	1829,941	1888,524	3,361	7,978

40,000	41,000	383,000	384,000	0,038	0,0189072	1,287	1,299	1,325	1888,524	1943,183	3,409	7,972
41,000	42,000	384,000	385,000	0,036	0,0177989	1,287	1,325	1,351	1943,183	1993,323	3,445	7,965
42,000	43,000	385,000	386,000	0,033	0,0165298	1,287	1,351	1,379	1993,323	2038,466	3,470	7,958
43,000	44,000	386,000	387,000	0,030	0,0151359	1,288	1,379	1,408	2038,466	2078,260	3,483	7,951
44,000	45,000	387,000	388,000	0,027	0,0136570	1,288	1,408	1,438	2078,260	2112,494	3,483	7,944
45,000	46,000	388,000	389,000	0,024	0,0121350	1,288	1,438	1,469	2112,494	2141,101	3,472	7,936
46,000	47,000	389,000	390,000	0,021	0,0106117	1,289	1,469	1,501	2141,101	2164,153	3,450	7,929
47,000	48,000	390,000	391,000	0,018	0,0091264	1,289	1,501	1,533	2164,153	2181,852	3,417	7,921
48,000	49,000	391,000	392,000	0,015	0,0077141	1,289	1,533	1,567	2181,852	2194,514	3,375	7,914
49,000	50,000	392,000	393,000	0,013	0,0064036	1,290	1,567	1,601	2194,514	2202,547	3,324	7,907
50,000	51,000	393,000	394,000	0,010	0,0052168	1,290	1,601	1,636	2202,547	2206,423	3,267	7,899
51,000	52,000	394,000	395,000	0,008	0,0041675	1,290	1,636	1,673	2206,423	2206,659	3,204	7,892
52,000	53,000	395,000	396,000	0,007	0,0032622	1,290	1,673	1,710	2206,659	2203,786	3,137	7,885
53,000	54,000	396,000	397,000	0,005	0,0025001	1,291	1,710	1,747	2203,786	2198,324	3,066	7,878
54,000	55,000	397,000	398,000	0,004	0,0018743	1,291	1,747	1,786	2198,324	2190,767	2,993	7,872
55,000	56,000	398,000	399,000	0,003	0,0013733	1,291	1,786	1,825	2190,767	2181,566	2,919	7,865
56,000	57,000	399,000	400,000	0,002	0,0009827	1,292	1,825	1,865	2181,566	2171,117	2,844	7,859
57,000	58,000	400,000	401,000	0,001	0,0006860	1,292	1,865	1,906	2171,117	2159,757	2,770	7,852
58,000	59,000	401,000	402,000	0,001	0,0004668	1,292	1,906	1,948	2159,757	2147,765	2,697	7,846
59,000	60,000	402,000	403,000	0,001	0,0003093	1,292	1,948	1,990	2147,765	2135,362	2,625	7,840
60,000	61,000	403,000	404,000	0,000	0,0001994	1,293	1,990	2,033	2135,362	2122,721	2,554	7,834

Таблица А4 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при  $n = 7500 \text{ мин}^{-1}$

$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi'_1$	$\varphi'_2$	X1-2	$\Delta X1-2$	k1-2	$\psi(\varphi'_1)$	$\psi(\varphi'_2)$	T1	T2	p1	K1-2
0,000	1,000	343,000	344,000	0,000	0,0000000	1,369	1,165	1,146	652,036	655,924	1,172	6,421
1,000	2,000	344,000	345,000	0,000	0,0000005	1,362	1,146	1,129	743,479	659,595	1,198	6,529
2,000	3,000	345,000	346,000	0,000	0,0000028	1,361	1,129	1,112	749,554	663,113	1,224	6,542
3,000	4,000	346,000	347,000	0,000	0,0000084	1,360	1,112	1,097	755,679	666,481	1,248	6,555
4,000	5,000	347,000	348,000	0,000	0,0000196	1,359	1,097	1,083	762,203	669,715	1,272	6,569
5,000	6,000	348,000	349,000	0,000	0,0000385	1,358	1,083	1,069	769,640	672,842	1,295	6,585
6,000	7,000	349,000	350,000	0,000	0,0000677	1,357	1,069	1,057	778,665	675,899	1,317	6,606
7,000	8,000	350,000	351,000	0,000	0,0001099	1,355	1,057	1,047	790,112	678,938	1,338	6,631
8,000	9,000	351,000	352,000	0,000	0,0001679	1,353	1,047	1,037	804,958	682,024	1,358	6,663
9,000	10,000	352,000	353,000	0,000	0,0002448	1,351	1,037	1,028	824,292	685,235	1,377	6,704
10,000	11,000	353,000	354,000	0,001	0,0003436	1,348	1,028	1,021	849,282	688,661	1,396	6,753
11,000	12,000	354,000	355,000	0,001	0,0004675	1,344	1,021	1,014	881,119	692,408	1,413	6,812
12,000	13,000	355,000	356,000	0,001	0,0006198	1,340	1,014	1,009	920,957	696,590	1,429	6,881
13,000	14,000	356,000	357,000	0,002	0,0008037	1,336	1,009	1,005	969,839	701,332	1,446	6,957
14,000	15,000	357,000	358,000	0,002	0,0010227	1,331	1,005	1,002	1028,627	706,771	1,461	7,041
15,000	16,000	358,000	359,000	0,003	0,0012797	1,326	1,002	1,001	1097,925	713,051	1,477	7,128
16,000	17,000	359,000	360,000	0,003	0,0015780	1,322	1,001	1,000	1178,012	720,326	1,493	7,218



17,000	18,000	360,000	361,000	0,004	0,0019204	1,317	1,000	1,001	1268,780	728,756	1,509	7,308
18,000	19,000	361,000	362,000	0,005	0,0023095	1,313	1,001	1,002	1369,682	738,509	1,526	7,395
19,000	20,000	362,000	363,000	0,005	0,0027476	1,309	1,002	1,005	1479,700	749,762	1,544	7,478
20,000	21,000	363,000	364,000	0,006	0,0032367	1,305	1,005	1,009	1597,330	762,695	1,564	7,555
21,000	22,000	364,000	365,000	0,008	0,0037778	1,302	1,009	1,014	1720,599	777,490	1,585	7,626
22,000	23,000	365,000	366,000	0,009	0,0043716	1,299	1,014	1,021	1847,116	794,333	1,608	7,690
23,000	24,000	366,000	367,000	0,010	0,0050180	1,296	1,021	1,028	1974,166	813,407	1,633	7,746
24,000	25,000	367,000	368,000	0,011	0,0057159	1,294	1,028	1,037	2098,836	834,891	1,661	7,796
25,000	26,000	368,000	369,000	0,013	0,0064630	1,292	1,037	1,047	2218,182	858,952	1,692	7,838
26,000	27,000	369,000	370,000	0,015	0,0072561	1,291	1,047	1,057	2329,407	885,746	1,725	7,875
27,000	28,000	370,000	371,000	0,016	0,0080905	1,290	1,057	1,069	2430,053	915,410	1,762	7,905
28,000	29,000	371,000	372,000	0,018	0,0089604	1,289	1,069	1,083	2518,163	948,055	1,802	7,929
29,000	30,000	372,000	373,000	0,020	0,0098582	1,288	1,083	1,097	2592,417	983,764	1,845	7,948
30,000	31,000	373,000	374,000	0,022	0,0107751	1,287	1,097	1,112	2652,205	1022,584	1,892	7,963
31,000	32,000	374,000	375,000	0,023	0,0117006	1,287	1,112	1,129	2697,638	1064,518	1,941	7,974
32,000	33,000	375,000	376,000	0,025	0,0126229	1,286	1,129	1,146	2729,485	1109,525	1,994	7,981
33,000	34,000	376,000	377,000	0,027	0,0135289	1,286	1,146	1,165	2749,047	1157,511	2,049	7,986
34,000	35,000	377,000	378,000	0,029	0,0144041	1,286	1,165	1,184	2758,000	1208,325	2,106	7,988
35,000	36,000	378,000	379,000	0,030	0,0152332	1,286	1,184	1,205	2758,197	1261,755	2,165	7,988
36,000	37,000	379,000	380,000	0,032	0,0160004	1,286	1,205	1,227	2751,503	1317,532	2,225	7,986
37,000	38,000	380,000	381,000	0,033	0,0166895	1,286	1,227	1,250	2739,639	1375,324	2,286	7,984
38,000	39,000	381,000	382,000	0,035	0,0172845	1,287	1,250	1,274	2724,087	1434,742	2,346	7,980

39,000	40,000	382,000	383,000	0,036	0,0177703	1,287	1,274	1,299	2706,040	1495,342	2,406	7,976
40,000	41,000	383,000	384,000	0,036	0,0181329	1,287	1,299	1,325	2686,402	1556,636	2,463	7,971
41,000	42,000	384,000	385,000	0,037	0,0183601	1,287	1,325	1,351	2665,815	1618,097	2,519	7,966
42,000	43,000	385,000	386,000	0,037	0,0184424	1,287	1,351	1,379	2644,715	1679,168	2,571	7,960
43,000	44,000	386,000	387,000	0,037	0,0183728	1,288	1,379	1,408	2623,379	1739,281	2,618	7,954
44,000	45,000	387,000	388,000	0,036	0,0181482	1,288	1,408	1,438	2601,982	1797,864	2,661	7,948
45,000	46,000	388,000	389,000	0,036	0,0177688	1,288	1,438	1,469	2580,629	1854,358	2,699	7,942
46,000	47,000	389,000	390,000	0,034	0,0172391	1,288	1,469	1,501	2559,387	1908,230	2,730	7,935
47,000	48,000	390,000	391,000	0,033	0,0165676	1,289	1,501	1,533	2538,300	1958,991	2,755	7,929
48,000	49,000	391,000	392,000	0,032	0,0157668	1,289	1,533	1,567	2517,397	2006,204	2,772	7,922
49,000	50,000	392,000	393,000	0,030	0,0148526	1,289	1,567	1,601	2496,705	2049,499	2,783	7,915
50,000	51,000	393,000	394,000	0,028	0,0138446	1,290	1,601	1,636	2476,241	2088,586	2,786	7,908
51,000	52,000	394,000	395,000	0,026	0,0127643	1,290	1,636	1,673	2456,022	2123,254	2,782	7,901
52,000	53,000	395,000	396,000	0,023	0,0116353	1,290	1,673	1,710	2436,063	2153,385	2,771	7,894
53,000	54,000	396,000	397,000	0,021	0,0104818	1,290	1,710	1,747	2416,374	2178,948	2,752	7,886
54,000	55,000	397,000	398,000	0,019	0,0093278	1,291	1,747	1,786	2396,966	2200,000	2,728	7,879
55,000	56,000	398,000	399,000	0,016	0,0081962	1,291	1,786	1,825	2377,846	2216,678	2,697	7,872
56,000	57,000	399,000	400,000	0,014	0,0071076	1,291	1,825	1,865	2359,022	2229,193	2,661	7,865
57,000	58,000	400,000	401,000	0,012	0,0060800	1,292	1,865	1,906	2340,498	2237,820	2,621	7,858
58,000	59,000	401,000	402,000	0,010	0,0051278	1,292	1,906	1,948	2322,278	2242,879	2,576	7,851
59,000	60,000	402,000	403,000	0,009	0,0042618	1,292	1,948	1,990	2304,366	2244,727	2,528	7,844
60,000	61,000	403,000	404,000	0,007	0,0034885	1,293	1,990	2,033	2286,762	2243,742	2,478	7,837

61,000	62,000	404,000	405,000	0,006	0,0028109	1,293	2,033	2,077	2269,467	2240,306	2,425	7,830
62,000	63,000	405,000	406,000	0,004	0,0022282	1,293	2,077	2,121	2252,483	2234,795	2,371	7,824
63,000	64,000	406,000	407,000	0,003	0,0017367	1,293	2,121	2,166	2235,807	2227,569	2,316	7,818
64,000	65,000	407,000	408,000	0,003	0,0013302	1,294	2,166	2,212	2219,440	2218,960	2,261	7,811
65,000	66,000	408,000	409,000	0,002	0,0010005	1,294	2,212	2,258	2203,378	2209,267	2,207	7,805
66,000	67,000	409,000	410,000	0,001	0,0007386	1,294	2,258	2,305	2187,621	2198,754	2,152	7,799
67,000	68,000	410,000	411,000	0,001	0,0005347	1,294	2,305	2,352	2172,165	2187,647	2,099	7,793
68,000	69,000	411,000	412,000	0,001	0,0003795	1,295	2,352	2,400	2157,007	2176,132	2,046	7,787
69,000	70,000	412,000	413,000	0,001	0,0002638	1,295	2,400	2,448	2142,144	2156,100	1,995	7,550
70,000	71,000	413,000	414,000	0,000359013	0,000179507	1,296	2,448023	2,450	2112,866	1992,496	1,500	7,468

Таблица А5 - Результаты теплового расчета проектируемого двигателя при  $n = 9000 \text{ мин}^{-1}$

$\varphi'1$	$\varphi'2$	$\varphi1$	$\varphi2$	$k1-2$	$X1-2$	$\Delta X1-2$	$\psi(\varphi'1)$	$\psi(\varphi'2)$	T1	T2	P	K1-2
335,000	336,000	0,000	1,000	1,345	0,00000	0,00000	1,351	1,325	626,188	630,881	0,988	6,391
336,000	337,000	1,000	2,000	1,345	0,00000	0,00000	1,325	1,299	630,881	635,410	1,015	6,529
337,000	338,000	2,000	3,000	1,344	0,00001	0,00001	1,299	1,274	635,410	639,878	1,043	6,542
338,000	339,000	3,000	4,000	1,344	0,00004	0,00002	1,274	1,250	639,878	644,287	1,071	6,555
339,000	340,000	4,000	5,000	1,343	0,00008	0,00004	1,250	1,227	644,287	648,649	1,099	6,569
340,000	341,000	5,000	6,000	1,343	0,00015	0,00008	1,227	1,205	648,649	652,981	1,127	6,585

341,000	342,000	6,000	7,000	1,342	0,00026	0,00013	1,205	1,184	652,981	657,312	1,155	6,606
342,000	343,000	7,000	8,000	1,342	0,00040	0,00020	1,184	1,165	657,312	661,683	1,183	6,631
343,000	344,000	8,000	9,000	1,341	0,00059	0,00029	1,165	1,146	661,683	666,143	1,211	6,663
344,000	345,000	9,000	10,000	1,340	0,00083	0,00041	1,146	1,129	666,143	670,754	1,239	6,704
345,000	346,000	10,000	11,000	1,338	0,00113	0,00056	1,129	1,112	670,754	675,589	1,267	6,753
346,000	347,000	11,000	12,000	1,337	0,00149	0,00075	1,112	1,097	675,589	680,735	1,295	6,812
347,000	348,000	12,000	13,000	1,335	0,00193	0,00097	1,097	1,083	680,735	686,287	1,323	6,880
348,000	349,000	13,000	14,000	1,333	0,00245	0,00122	1,083	1,069	686,287	692,353	1,352	6,957
349,000	350,000	14,000	15,000	1,330	0,00304	0,00152	1,069	1,057	692,353	699,050	1,381	7,040
350,000	351,000	15,000	16,000	1,327	0,00373	0,00186	1,057	1,047	699,050	706,508	1,410	7,128
351,000	352,000	16,000	17,000	1,324	0,00451	0,00225	1,047	1,037	706,508	714,865	1,440	7,218
352,000	353,000	17,000	18,000	1,321	0,00538	0,00269	1,037	1,028	714,865	724,271	1,471	7,308
353,000	354,000	18,000	19,000	1,318	0,00635	0,00318	1,028	1,021	724,271	734,882	1,503	7,395
354,000	355,000	19,000	20,000	1,315	0,00742	0,00371	1,021	1,014	734,882	746,866	1,536	7,478
355,000	356,000	20,000	21,000	1,312	0,00860	0,00430	1,014	1,009	746,866	760,398	1,571	7,555
356,000	357,000	21,000	22,000	1,310	0,00987	0,00493	1,009	1,005	760,398	775,656	1,609	7,626
357,000	358,000	22,000	23,000	1,307	0,01123	0,00562	1,005	1,002	775,656	792,826	1,648	7,689
358,000	359,000	23,000	24,000	1,304	0,01269	0,00635	1,002	1,001	792,826	812,091	1,690	7,746
359,000	360,000	24,000	25,000	1,302	0,01423	0,00712	1,001	1,000	812,091	833,635	1,735	7,795
360,000	361,000	25,000	26,000	1,300	0,01584	0,00792	1,000	1,001	833,635	857,635	1,783	7,838
361,000	362,000	26,000	27,000	1,298	0,01752	0,00876	1,001	1,002	857,635	884,255	1,834	7,874
362,000	363,000	27,000	28,000	1,297	0,01924	0,00962	1,002	1,005	884,255	913,647	1,889	7,904

363,000	364,000	28,000	29,000	1,295	0,02099	0,01049	1,005	1,009	913,647	945,942	1,948	7,929
364,000	365,000	29,000	30,000	1,294	0,02274	0,01137	1,009	1,014	945,942	981,242	2,010	7,948
365,000	366,000	30,000	31,000	1,293	0,02449	0,01225	1,014	1,021	981,242	1019,618	2,076	7,963
366,000	367,000	31,000	32,000	1,292	0,02620	0,01310	1,021	1,028	1019,618	1061,102	2,146	7,974
367,000	368,000	32,000	33,000	1,292	0,02786	0,01393	1,028	1,037	1061,102	1105,681	2,220	7,981
368,000	369,000	33,000	34,000	1,291	0,02942	0,01471	1,037	1,047	1105,681	1153,291	2,296	7,985
369,000	370,000	34,000	35,000	1,291	0,03086	0,01543	1,047	1,057	1153,291	1203,810	2,376	7,988
370,000	371,000	35,000	36,000	1,291	0,03217	0,01608	1,057	1,069	1203,810	1257,061	2,458	7,988
371,000	372,000	36,000	37,000	1,291	0,03330	0,01665	1,069	1,083	1257,061	1312,800	2,542	7,986
372,000	373,000	37,000	38,000	1,291	0,03423	0,01712	1,083	1,097	1312,800	1370,722	2,626	7,984
373,000	374,000	38,000	39,000	1,291	0,03495	0,01747	1,097	1,112	1370,722	1430,460	2,711	7,980
374,000	375,000	39,000	40,000	1,291	0,03542	0,01771	1,112	1,129	1430,460	1491,588	2,795	7,976
375,000	376,000	40,000	41,000	1,291	0,03564	0,01782	1,129	1,146	1491,588	1553,628	2,876	7,971
376,000	377,000	41,000	42,000	1,291	0,03559	0,01779	1,146	1,165	1553,628	1616,057	2,956	7,966
377,000	378,000	42,000	43,000	1,292	0,03526	0,01763	1,165	1,184	1616,057	1678,317	3,031	7,960
378,000	379,000	43,000	44,000	1,292	0,03466	0,01733	1,184	1,205	1678,317	1739,826	3,101	7,955
379,000	380,000	44,000	45,000	1,292	0,03379	0,01689	1,205	1,227	1739,826	1799,993	3,165	7,949
380,000	381,000	45,000	46,000	1,292	0,03266	0,01633	1,227	1,250	1799,993	1858,235	3,222	7,942
381,000	382,000	46,000	47,000	1,293	0,03129	0,01565	1,250	1,274	1858,235	1913,984	3,271	7,936
382,000	383,000	47,000	48,000	1,293	0,02972	0,01486	1,274	1,299	1913,984	1966,714	3,312	7,929
383,000	384,000	48,000	49,000	1,293	0,02796	0,01398	1,299	1,325	1966,714	2015,944	3,344	7,923
384,000	385,000	49,000	50,000	1,294	0,02605	0,01302	1,325	1,351	2015,944	2061,262	3,366	7,916

385,000	386,000	50,000	51,000	1,294	0,02403	0,01202	1,351	1,379	2061,262	2102,329	3,378	7,909
386,000	387,000	51,000	52,000	1,294	0,02195	0,01097	1,379	1,408	2102,329	2138,894	3,381	7,901
387,000	388,000	52,000	53,000	1,295	0,01983	0,00992	1,408	1,438	2138,894	2170,796	3,374	7,894
388,000	389,000	53,000	54,000	1,295	0,01773	0,00886	1,438	1,469	2170,796	2197,968	3,357	7,887
389,000	390,000	54,000	55,000	1,295	0,01567	0,00783	1,469	1,501	2197,968	2220,437	3,332	7,880
390,000	391,000	55,000	56,000	1,296	0,01369	0,00684	1,501	1,533	2220,437	2238,320	3,298	7,872
391,000	392,000	56,000	57,000	1,296	0,01182	0,00591	1,533	1,567	2238,320	2251,812	3,257	7,865
392,000	393,000	57,000	58,000	1,296	0,01007	0,00504	1,567	1,601	2251,812	2261,180	3,209	7,858
393,000	394,000	58,000	59,000	1,297	0,00848	0,00424	1,601	1,636	2261,180	2266,747	3,155	7,851
394,000	395,000	59,000	60,000	1,297	0,00704	0,00352	1,636	1,673	2266,747	2268,876	3,096	7,844
395,000	396,000	60,000	61,000	1,297	0,00577	0,00289	1,673	1,710	2268,876	2267,959	3,034	7,837
396,000	397,000	61,000	62,000	1,298	0,00467	0,00233	1,710	1,747	2267,959	2264,394	2,968	7,831
397,000	398,000	62,000	63,000	1,298	0,00372	0,00186	1,747	1,786	2264,394	2258,581	2,900	7,824
398,000	399,000	63,000	64,000	1,298	0,00292	0,00146	1,786	1,825	2258,581	2250,900	2,831	7,818
399,000	400,000	64,000	65,000	1,298	0,00225	0,00113	1,825	1,865	2250,900	2241,704	2,761	7,811
400,000	401,000	65,000	66,000	1,299	0,00171	0,00086	1,865	1,906	2241,704	2231,316	2,691	7,805
401,000	402,000	66,000	67,000	1,299	0,00128	0,00064	1,906	1,948	2231,316	2220,019	2,622	7,799
402,000	403,000	67,000	68,000	1,297	0,00094	0,00047	1,948	1,990	2220,019	2208,055	2,553	7,793
403,000	404,000	68,000	69,000	1,295	0,00068	0,00034	1,990	2,033	2208,055	2195,627	2,485	7,787
404,000	405,000	69,000	70,000	1,295	0,00049	0,00024	2,033	2,077	2195,627	2074,548	2,419	7,772
405,000	406,000	70,000	71,000	1,295	0,00034	0,00017	2,076895	3,010	2074,548	1985,593	2,369	7,694

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Таблица Б - Значения перемещения, скорости и ускорения поршня

$\varphi^\circ$	$S_x$ , мм	$V_p$ , м/с	$J$ , м/с <sup>2</sup>
0	0,0000	0,00	11759,17
10	0,1627	1,94	11470,54
20	0,6426	3,79	10626,67
30	1,4167	5,46	9291,415
40	2,4479	6,87	7563,858
50	3,6886	7,97	5568,279
60	5,0837	8,72	3441,708
70	6,5743	9,11	1320,548
80	8,1020	9,16	-672,229
90	9,6115	8,90	-2437,88
100	11,0540	8,37	-3909,48
110	12,3887	7,62	-5055,59
120	13,5837	6,70	-5879,58
130	14,6160	5,67	-6414,94
140	15,4706	4,58	-6717,19

150	16,1391	3,44	-6853,54
160	16,6174	2,30	-6891,63
170	16,9044	1,15	-6888,83
180	17,0000	0,00	-6883,42
190	16,9044	-1,15	-6888,83
200	16,6174	-2,30	-6891,63
210	16,1391	-3,44	-6853,54
220	15,4706	-4,58	-6717,19
230	14,6160	-5,67	-6414,94
240	13,5837	-6,70	-5879,58
250	12,3887	-7,62	-5055,59
260	11,0540	-8,37	-3909,48
270	9,6115	-8,90	-2437,88
280	8,1020	-9,16	-672,229
290	6,5743	-9,11	1320,548
300	5,0837	-8,72	3441,708
310	3,6886	-7,97	5568,279
320	2,4479	-6,87	7563,858
330	1,4167	-5,46	9291,415
340	0,6426	-3,79	10626,67
350	0,1627	-1,94	11470,54
360	0,0000	0,00	11759,17



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Таблица В – Результаты динамического расчета

$\varphi^\circ$	$P_r$	$\Delta P_r$	$\beta$	$j$	$p_j$	$p$	$p_N$	$p_s$	$p_k$	$p_T$	$T$	Med
0	0,1000	0,0000	0	5578,320815	-0,6959	-0,6959	0	-0,6959	-0,6959	0	0	
10	0,0882	-0,0118	0,044742	5478,4558	-0,68344	-0,6952	-0,03113	-0,69591	-0,67924	-0,15137	-0,372837918	-0,075687497
20	0,0882	-0,0118	0,08821	5183,718534	-0,64667	-0,6584	-0,05823	-0,66101	-0,59881	-0,27992	-0,689446391	-0,215647702
30	0,0882	-0,0118	0,129147	4708,314811	-0,58736	-0,5991	-0,07781	-0,60417	-0,47996	-0,36695	-0,903804728	-0,323435958
40	0,0882	-0,0118	0,166332	4074,733538	-0,50832	-0,5201	-0,08732	-0,52737	-0,34229	-0,4012	-0,988153168	-0,384074555
50	0,0882	-0,0118	0,198618	3312,093196	-0,41318	-0,4250	-0,08553	-0,43348	-0,20764	-0,38051	-0,937206485	-0,390855237
60	0,0882	-0,0118	0,22496	2454,066931	-0,30614	-0,3179	-0,07275	-0,32613	-0,09595	-0,3117	-0,76771582	-0,346105628
70	0,0882	-0,0118	0,24447	1536,59287	-0,19169	-0,2035	-0,05076	-0,2097	-0,02189	-0,20855	-0,5136616	-0,260124427
80	0,0882	-0,0118	0,256465	595,5920052	-0,0743	-0,0861	-0,02257	-0,08898	0,007282	-0,08868	-0,2184278	-0,148616896
90	0,0882	-0,0118	0,260512	-335,0934765	0,041803	0,0300	0,008006	0,03108	-0,00801	0,030032	0,073967952	-0,029325891
100	0,0882	-0,0118	0,256465	-1225,361739	0,152864	0,1411	0,037	0,145863	-0,06094	0,132524	0,326407766	0,081277774
110	0,0882	-0,0118	0,24447	-2049,985861	0,255736	0,2440	0,060859	0,251441	-0,14063	0,208436	0,513380734	0,170480218
120	0,0882	-0,0118	0,22496	-2789,160407	0,347948	0,3362	0,076928	0,344866	-0,23471	0,252673	0,622336187	0,230554798
130	0,0882	-0,0118	0,198618	-3428,469939	0,427702	0,4159	0,083715	0,424271	-0,33148	0,26481	0,652229756	0,258741671

140	0,0882	-0,0118	0,166332	-3958,356795	0,493805	0,4820	0,080926	0,488779	-0,42128	0,247853	0,610463383	0,256331447
150	0,0882	-0,0118	0,129147	-4373,221334	0,545559	0,5338	0,069323	0,538271	-0,49694	0,206859	0,509494889	0,227355733
160	0,0882	-0,0118	0,08821	-4670,325543	0,582623	0,5709	0,050486	0,57308	-0,55369	0,147801	0,364036071	0,177330064
170	0,0882	-0,0118	0,044742	-4848,686066	0,604874	0,5931	0,026555	0,593696	-0,5887	0,07684	0,189257467	0,112320665
180	0,0882	-0,0118	3,16E-17	-4908,133862	0,61229	0,6005	1,9E-17	0,600518	-0,60052	7,36E-17	1,81209E-16	0,038419976
190	0,0888	-0,0112	-0,04474	-4848,686066	0,604874	0,5937	-0,02658	0,594302	-0,5893	-0,07692	-0,189450464	-0,038459155
200	0,0907	-0,0093	-0,08821	-4670,325543	0,582623	0,5733	-0,0507	0,575556	-0,55608	-0,14844	-0,365608759	-0,112679106
210	0,0940	-0,0060	-0,12915	-4373,221334	0,545559	0,5395	-0,07007	0,544049	-0,50227	-0,20908	-0,514964646	-0,178759707
220	0,0989	-0,0011	-0,16633	-3958,356795	0,493805	0,4927	-0,08272	0,499592	-0,4306	-0,25334	-0,623967886	-0,231207579
230	0,1059	0,0059	-0,19862	-3428,469939	0,427702	0,4336	-0,08727	0,442312	-0,34558	-0,27607	-0,679964103	-0,264703089
240	0,1157	0,0157	-0,22496	-2789,160407	0,347948	0,3636	-0,08321	0,373018	-0,25387	-0,2733	-0,673137952	-0,274684797
250	0,1291	0,0291	-0,24447	-2049,985861	0,255736	0,2849	-0,07106	0,293601	-0,16421	-0,24339	-0,599462254	-0,258342619
260	0,1478	0,0478	-0,25646	-1225,361739	0,152864	0,2007	-0,05262	0,207456	-0,08667	-0,18848	-0,464237744	-0,215935093
270	0,1740	0,0740	-0,26051	-335,0934765	0,041803	0,1158	-0,03088	0,119884	-0,03088	-0,11584	-0,285311793	-0,15216137
280	0,2116	0,1116	-0,25646	595,5920052	-0,0743	0,0373	-0,00979	0,038575	-0,00316	-0,03845	-0,094692902	-0,07714238
290	0,2668	0,1668	-0,24447	1536,59287	-0,19169	-0,0249	0,0062	-0,02562	-0,00267	0,025476	0,062748238	-0,006484887
300	0,3504	0,2504	-0,22496	2454,066931	-0,30614	-0,0557	0,012748	-0,05715	-0,01681	0,05462	0,134530576	0,04004834
310	0,4810	0,3810	-0,19862	3312,093196	-0,41318	-0,0322	0,006478	-0,03283	-0,01573	0,028821	0,070985598	0,041720555
320	0,6901	0,5901	-0,16633	4074,733538	-0,50832	0,0817	-0,01372	0,082881	0,053794	-0,06305	-0,15529585	-0,017115298
330	1,0664	0,9664	-0,12915	4708,314811	-0,58736	0,3791	-0,04923	0,382252	0,303669	-0,23217	-0,571833014	-0,147609889
340	1,6009	1,5009	-0,08821	5183,718534	-0,64667	0,8543	-0,07555	0,857593	0,776901	-0,36317	-0,894486101	-0,297668285
350	2,0002	1,9002	-0,04474	5478,4558	-0,68344	1,2167	-0,05448	1,21794	1,188777	-0,26493	-0,652522964	-0,314048648

360	2,2696	2,1696	-6,3E-17	5578,320815	-0,6959	1,4737	-9,3E-17	1,473739	1,473739	-3,6E-16	-8,89416E-16	-0,132464611
370	2,6636	2,5636	0,044742	5498,46028	-0,68593	1,8777	0,084068	1,879553	1,834548	0,408845	1,006988791	0,204422505
380	3,7098	3,6098	0,08821	5261,299244	-0,65635	2,9535	0,261204	2,964985	2,686005	1,255593	3,092536338	0,832218991
390	2,5705	2,4705	0,129147	4874,025872	-0,60803	1,8625	0,241878	1,878109	1,492006	1,140706	2,809569798	1,198149702
400	2,0757	1,9757	0,166332	4348,377536	-0,54246	1,4333	0,240623	1,453329	0,94328	1,105617	2,723143773	1,123161624
410	2,0226	1,9226	0,198618	3700,284221	-0,46161	1,4610	0,294058	1,490302	0,713853	1,30821	3,22213278	1,206913459
420	1,7140	1,6140	0,22496	2949,384549	-0,36794	1,2460	0,285132	1,278236	0,376082	1,221658	3,008955278	1,264934267
430	1,3548	1,2548	0,24447	2118,429134	-0,26427	0,9905	0,247085	1,020833	0,10658	1,015254	2,500580045	1,118456353
440	1,1091	1,0091	0,256465	1232,589396	-0,15377	0,8553	0,224297	0,884234	-0,07237	0,881268	2,170570567	0,948261109
450	0,9369	0,8369	0,260512	318,6928344	-0,03976	0,7971	0,212495	0,824981	-0,2125	0,797144	1,963373129	0,839206089
460	0,8137	0,7137	0,256465	-595,5920052	0,0743	0,7880	0,206649	0,814661	-0,34035	0,74016	1,823020901	0,768652202
470	0,7265	0,6265	0,24447	-1482,596104	0,184954	0,8114	0,202416	0,836284	-0,46773	0,693253	1,707487559	0,716706471
480	0,6485	0,5485	0,22496	-2315,490546	0,288857	0,8373	0,191607	0,858964	-0,5846	0,629338	1,550064891	0,661295376
490	0,5705	0,4705	0,198618	-3069,101546	0,38287	0,8533	0,171752	0,870447	-0,68008	0,543292	1,338132698	0,586314953
500	0,4925	0,3925	0,166332	-3720,675188	0,464154	0,8566	0,143812	0,868606	-0,74865	0,440457	1,08484929	0,491874439
510	0,4145	0,3145	0,129147	-4250,568609	0,530258	0,8447	0,109704	0,851816	-0,7864	0,327355	0,806278138	0,383905967
520	0,3365	0,2365	0,08821	-4642,846654	0,579195	0,8157	0,072137	0,818842	-0,79114	0,211185	0,520151197	0,269270134
530	0,2585	0,1585	0,044742	-4885,765851	0,609499	0,7680	0,034384	0,768732	-0,76227	0,099494	0,245055099	0,15533975
540	0,1805	0,0805	9,47E-17	-4972,131021	0,620273	0,7007	6,63E-17	0,700737	-0,70074	2,58E-16	6,34353E-16	0,049747105
550	0,1773	0,0773	-0,04474	-4899,51367	0,611214	0,6885	-0,03083	0,689227	-0,68343	-0,0892	-0,21971049	-0,044602054
560	0,1200	0,0200	-0,08821	-4670,325543	0,582623	0,6026	-0,0533	0,604975	-0,58451	-0,15603	-0,38429689	-0,122615765
570	0,1200	0,0200	-0,12915	-4291,745089	0,535395	0,5554	-0,07213	0,560059	-0,51705	-0,21523	-0,530118734	-0,185629804

Продолжение таблицы В

580	0,1200	0,0200	-0,16633	-3775,499092	0,470994	0,4910	-0,08243	0,497865	-0,42911	-0,25246	-0,621810458	-0,23384595
590	0,1200	0,0200	-0,19862	-3137,506079	0,391404	0,4114	-0,0828	0,419654	-0,32788	-0,26193	-0,645131845	-0,257194043
600	0,1200	0,0200	-0,22496	-2397,392368	0,299075	0,3191	-0,07301	0,327322	-0,22277	-0,23982	-0,5906772	-0,250873875
610	0,1200	0,0200	-0,24447	-1577,895431	0,196842	0,2168	-0,05409	0,223488	-0,125	-0,18526	-0,456307367	-0,212541797
620	0,1200	0,0200	-0,25646	-704,1727282	0,087846	0,1078	-0,02828	0,111492	-0,04658	-0,1013	-0,249493219	-0,143280168
630	0,1200	0,0200	-0,26051	196,9630036	-0,02457	-0,0046	0,001219	-0,00473	0,001219	0,004571	0,011258744	-0,048362493
640	0,1200	0,0200	-0,25646	1097,858766	-0,13696	-0,1170	0,030671	-0,12091	0,009896	0,120507	0,296809763	0,062539063
650	0,1200	0,0200	-0,24447	1970,861854	-0,24587	-0,2259	0,056344	-0,23279	-0,0243	0,231515	0,570222297	0,176010763
660	0,1200	0,0200	-0,22496	2789,160407	-0,34795	-0,3279	0,075045	-0,33642	-0,09898	0,321534	0,791940363	0,276524133
670	0,1200	0,0200	-0,19862	3527,598426	-0,44007	-0,4201	0,084548	-0,42849	-0,20525	0,376137	0,926428373	0,348835304
680	0,1200	0,0200	-0,16633	4163,440478	-0,51939	-0,4994	0,083839	-0,50638	-0,32866	0,385226	0,948814374	0,380681317
690	0,1200	0,0200	-0,12915	4677,062868	-0,58346	-0,5635	0,073177	-0,5682	-0,45139	0,345105	0,849995769	0,365165212
700	0,1200	0,0200	-0,08821	5052,550264	-0,63031	-0,6103	0,053975	-0,61269	-0,55504	0,259457	0,639045109	0,302280888
710	0,1100	0,0100	-0,04474	5278,179652	-0,65845	-0,6485	0,029033	-0,6491	-0,63356	0,141194	0,347762943	0,200325739
720	0,1000	0,0000	-1,3E-16	5346,776917	-0,66701	-0,6670	8,42E-17	-0,66701	-0,66701	3,27E-16	8,05095E-16	0,070597183

