СОДЕРЖАНИЕ

[СОДЕРЖАНИЕ 2](#_Toc198761369)

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc198761370)

[1 Расчётно-конструкторская часть 8](#_Toc198761371)

[1.4 Расчёт и конструкция КВД 8](#_Toc198761372)

[1.5 Расчёт КС 12](#_Toc198761373)

[2 Научно-исследовательская часть 14](#_Toc198761374)

[2.6 Профилирование ступени вентилятора 14](#_Toc198761375)

[2.7 Расчет лопатки вентилятора на прочность 15](#_Toc198761376)

[3. Технологическая часть 17](#_Toc198761377)

[3.1 Проектирование технологического процесса изготовления детали 17](#_Toc198761378)

[3.1.1 Назначение и описание детали, выбор материала 17](#_Toc198761379)

[3.1.2 Назначение и анализ технических требований к детали 20](#_Toc198761380)

[3.1.4 Анализ технологичности конструкции детали 24](#_Toc198761381)

[3.1.4.1 Качественная оценка технологичности 24](#_Toc198761382)

[3.1.4.2 Количественная оценка технологичности 25](#_Toc198761383)

[3.1.5 Выбор метода изготовления заготовки 27](#_Toc198761384)

[3.1.6 Разработка маршрутов обработки всех основных поверхностей детали 30](#_Toc198761385)

[3.1.7 Маршрутный технологический процесс изготовления детали 31](#_Toc198761386)

[3.1.8 Разработка операционной технологии обработки. Оформление операционных эскизов механической обработки 45](#_Toc198761387)

[3.2 Заключение 49](#_Toc198761388)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 50](#_Toc198761389)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 52](#_Toc198761390)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 56](#_Toc198761391)

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня происходит ужесточение экологических норм, в том числе норм по уровню шума, предъявляемых к ЛА, в роли которых выступают как боевые воздушные суда, так и гражданские. Существующие АД на текущем этапе развития технологий не могут обеспечить требуемые показатели по выбросам CO2, NOx и т. д. Более того, АД эксплуатирующихся ЛА не соответствуют ужесточающимся требованиям топливной эффективности. Совершенствование силовой установки ЛА приводит к повышению эффективности ЛА в целом, а также к снижению затрат на его обслуживание и эксплуатацию. В перспективе это позволит, например, снизить стоимость гражданских авиаперевозок. В рамках концепций БЭС и ПЭС проектируются как полностью электрические АД (ПЭАД), так и ЭАД.

Самолеты гражданского назначения являются основной составляющей мирового рынка авиационной техники, выручка от реализации которых в несколько раз превышает аналогичный показатель для авиационной техники военного назначения. Основным видом двигателей для самолетов гражданского назначения являются турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД) с высокой степенью двухконтурности. За более чем 70-летний период развития пассажирских самолетов с реактивными двигателями достигнуто уменьшение затрат топлива на пассажиро-километр более чем на 80%, и почти 50% снижения этого показателя достигнуто за счет авиационного двигателя [3].

Полностью электрический самолет может быть реализован как электрический самолет, работающий от аккумуляторов, или как гибридно-электрический. Во втором варианте на борту самолета находится установка, вырабатывающая электроэнергию, далее эта энергия передается на электродвигатели, которые обеспечивают работу движителя, например винтов. Полностью электрический самолет может иметь более высокий КПД за счет работы генератора на оптимальном режиме, меньший уровень шума за счет увеличения числа движителей с уменьшением их мощности, а также меньший вес за счет использования электрических систем управления.

Однако, сейчас создание полностью электрического самолета с аккумулятором сталкивается с отсутствием аккумуляторов с низкой удельной массы при приемлемом уровне ресурса и надёжности. Из-за этого масса летательного аппарата может не только не снизиться, но и наоборот вырасти. Этой проблемы нет в полностью электрическом самолет с гибридной установкой, однако генераторы и электродвигатели тоже не обладают достаточно низкой удельной массой, что сводит на нет преимущества использования данной схемы.

Более электрический самолет отказывается от традиционных методов лишь частично, в них двигатель делается более электрическим, а не заменяется на генератор и движитель. В ГТД вместо механических отборов через коробку передач применяется генератор, который отбирает мощность от вала и передает выработанную электроэнергию на агрегаты, за счет этого меняется система регулирования и управления двигателем, масленая и топливная система.

В современных ГТД помимо отборов мощности присутствуют отборы рабочего тела, воздуха: для самолетных нужд, на кондиционирование салона; для функционирования противообледенительных систем двигателя и самолета. Эти отборы снижают эффективность двигателя.

Отборы мощности идут на привод масленых и топливных насосов, а также работу генератора для обеспечения самолета электроэнергий. Насосы в ГТД переразмерены, так как их обороты жестко связаны коробкой передач с оборотами вала двигателя, обычно высокого давления, что не позволяет работать корректно, обеспечивая необходимый расход, непереразмеренному насосу при запуске двигателя, на малых оборотах. Использование электропривода у насосов позволяет уменьшить их размеры, так как электропривод способен обеспечить их работу на номинальном режиме, что значительно уменьшает массу гидравлических систем.

На данный момент наиболее распространенными являются воздушно-тепловые ПОС, когда для борьбы с обледенением используется отобранный из-за компрессора воздух. Такой тип противообледенительной системы можно рассмотреть на примере ПС-90, где отбор горячего воздуха происходит из-за 6 ступени КВД на режимах близких к номинальному и из-за 13 ступени на запуске. Основными недостатками такой схемы являются сложность подвода горячего воздуха к лопаткам вентилятора, низкая эффективность использования горячего воздуха при обогреве, а также снижение эффективности всего двигателя.

Применение электрической ПОС позволяет обогревать более эффективно, так как бросовая энергия почти отсутствует, потребная мощность уменьшается до пяти раз. Однако для обычной компоновки двигателя эта система не может использоваться из-за нехватки электроэнергии для ее функционирования, но для более электрического самолета, где уже есть генератор данная система позволяет увеличить КПД двигателя.

Таким образом, «электрический» ГТД имеет ряд преимуществ по сравнению с двигателями традиционных схем: на 10…20% уменьшаются масса и мидель двигателя, на 2…3% повышается топливная экономичность, уменьшаются вредные выбросы в атмосферу, повышается надежность вследствие более качественного контроля и диагностики двигателя, на 10…15% снижается трудоемкость изготовления, уменьшаются затраты на эксплуатацию двигателя.

В настоящее время существует множество созданных демонстраторов, вот два из них.

Авиационный двигатель DGEN380 – двигатель с высокой степенью двухконтурности и тягой в диапазоне от 2,5 до 4 кН. Этот двигатель выполнен в редукторной компоновке и “полностью электрической” конструкции всего оборудования вокруг двигателя, все насосы DGEN380 имеют не механический, а электрический привод.

Авиационный двигатель-демонстратор Trent 500 – двигатель с высокой степенью двухконтурности с тягой от 236 до 249 кН, выполненный в “полностью электрической” конструкции: со стартером-генератором на валу высокого давления и генератором на валу низкого давления, электрическими насосами масляной и топливной систем, а также активным магнитным подшипником.

Целью данного проекта является создание конкурентоспособного двигателя большой степени двухконтурности пятого поколения для «более электрического» современного гражданского пассажирского дальнемагистрального двухмоторного самолета.

Основными техническими особенностями проектируемого двигателя являются: применение двухвальной безредукторной схемы и максимальной степени двухконтурности для данной схемы (10), широкохордных полых титановых лопаток вентилятора, высоконапорного девятиступенчатого компрессора высокого давления, рассчитанного на степень повышения давления 24, применение отбора воздуха из второго контура для охлаждения отбираемого из первого контура воздуха для охлаждения турбины высокого давления (ТВД) в теплообменном аппарате (ТОА), расположенном в промежуточном контуре.

1 Расчётно-конструкторская часть

1.4 Расчёт и конструкция КВД

Параметры берущиеся как входные данные для сечения перед КВД взяты из расчёта последней ступени подпорных ступеней, с учётом коэффициента потерь полного давления в переходном канале.

Прототипом для создания конструкции данного компрессора послужил КВД ПД-14 [12].

КВД предназначен для сжатия воздуха и подачи его в камеру сгорания; осевой, девятиступенчатый.

В ПД-14 сжатый в КВД воздух частично используется на самолётные нужды (противообледенительная система (ПОС) и система вентиляции самолета), для охлаждения деталей горячей части двигателя, наддува лабиринтных уплотнений подшипниковых узлов, управления радиальными зазорами.

КВД осевой выполнен в барабанно-дисковой, комбинированной конструкции.

Для обеспечения газодинамической устойчивости работы двигателя, а также для снижения вибронапряжений на рабочих лопатках компрессора ВНА, НА 1-й и НА-2й ступеней КВД имеет поворотные лопатки, за 3 и 9 ступенями КВД имеется перепуск воздуха в наружный контур.

Рабочие колёса третий, четвертой, пятой, шестой и седьмой, а также восьмой и девятой ступеней выполнены сборными и состоят из дисков с кольцевыми пазами и рабочих лопаток с аналогичными 3-й и 4-й ступеням по форме пазов замками. Рабочие лопатки с первой по четвёртую ступени выполнены из титанового сплава, а с пятой по восьмую ступени из легированной стали из-за повышения температуры.

С целью предотвращения титанового пожара на промежуточные диски, рабочих колес с первой по девятую ступени со стороны проточной части нанесено прирабатываемое плазменное покрытие типа АНБ.

Более подробные данные по покрытию АНБ были взяты из [13].

Материалы для покрытий подбираются в порядке повышения температурной стойкости. Порошок АНБ применяется в качестве покрытий, работающих до температур до 550ºC, исходные гранулы которого содержат 18-23% BN, 4-8% SiO2, остальное алюминий.

Результатом работы уплотнительного покрытия является отношение линейного износа уплотнительного материала к износу лопатки. В идеальном видении такой износ выглядит как 10:1, но в имеющихся реалиях соотношение 5:1 является удовлетворительным.

Решение вопроса уплотнений является весьма сложным, так как к таким материалам предъявляется ряд противоречивых требований, таких как жаростойкость и эрозионная стойкость, стойкость к коррозионному разрушению и в агрессивных средах (в воде, маслах или смазках, разрушающей атмосфере) и удовлетворительная истираемость.

Коррозионное разрушение – коварная проблема, которой подвержены детали горячего тракта авиационных двигателей (детали камеры сгорания, лопатки компрессора и газовой турбины, сопла и др). Металлы и сплавы этих деталей разрушаются в газовых потоках при высокой температуре. Основные компоненты газового потока – это сами продукты сгорания горючего, которые окисляются вследствие избыточной подачи воздуха. Также в потоке газа присутствуют другие продукты окисления топливных примесей, это соединения серы, соли калия, натрия, кальция и др., концентрация которых зависит от условий работы и температуры в камере сгорания.

Именно окисление, происходящее на высоких температурах, является основной причиной разрушения деталей горячего тракта двигателя. Воздействие чрезвычайно высокой температуры на рабочие детали приводит к образованию и отслаиванию окисных пленок, внутреннему окислению, образованию твердых растворов и образования соединений кислорода с компонентами сплава. Окисление, вкупе с рабочими нагрузками приводит к образованию на поверхностном слое микротрещин, напряжений, пор и зон с различной твердостью и прочностью.

Для того, чтобы предотвратить разрушающее воздействие вследствие высокотемпературного окисления, на рабочие детали и элементы наносят материалы, обладающие жаростойкими и защитными свойствами.  
Один из таких материалов, зарекомендовавший себя в течение нескольких десятков лет – это порошок АНБ. Его наносят в качестве уплотнительного покрытия методом плазменного порошкового напыления. При необходимости, для увеличения прочности сцепления покрытия с основой создают подобную рваной резьбе нарезку и газоплазменным способом наносится тонкий подслой (до 0,2 мм) порошка ВКНА (ПН75Ю23В).

Порошок АНБ используется в случае необходимости использовать истираемое покрытие, которое имеет малое сопротивление изнашиванию, но, при этом, должно иметь высокую жаростойкость и прочность. Смысл в том, что величина зазора должна сохраняться в течении всего ресурса работы взаимодействующих элементов и деталей и быть эффективной. Это сочетание свойств обеспечивается особенным строением многокомпонентных материалов, пористостью и свойствами добавленных связок в материал, а также технологией нанесения.

Порошок для напыления АНБ прошел многократные исследования и испытания на жаростойкость и термоциклирование при рабочей температуре компрессора (450°С), эрозионную стойкость, коррозионную стойкость и испытания на истираемость (так называемое «врезание») в паре с контртелом из титанового сплава типа ВТ8.

Сварной титановый барабан первой - четвертой ступеней КВД соединен с титановым диском пятой ступени и никелевыми дисками последних ступеней с помощью болтовых соединений, составляя единый, жёсткий узел. Колесо рабочее восьмой ступени КВД с помощью болтового соединения соединено с лабиринтом 8 ступени и валом КВД. Лабиринт служит для уплотнения воздушной полости на выходе из КВД. Через вал КВД идёт передача крутящего момента с ротора ТВД на ротор КВД. Вал КВД выполнен из легированного сплава.

Основным отличием данного компрессора от тех, что рассчитываются в кафедральных методиках, является высоконапорные первые две ступени, а основным отличием от прототипа – отсутствие блисковой конструкции. Эти степени сверхзвуковые и выполнены с постоянной средней линией для уменьшения роста диаметра втулки, чтобы была возможность уйти от блисковой конструкции и использовать более удобный классический вариант, где лопатки компрессора вставляются в диски, а не делаются с ними заодно. Такая конструкция повышает жизнеспособность конструкции и увеличивает ресурс, облегчая ремонт изделия, однако усложняет сборку и разборку.

Следующие ступени скрепляются между собой сваркой, что ухудшает балансировку ротора и требует последующей обработки. Одонка значительно упрощает изготовление и ступеней и их сборку.

1.5 Расчёт КС

Камера сгорания (КС) двигателя ПД-14 кольцевого типа и предназначена для подвода энергии к рабочему телу при работе двигателя [12].

КС состоит из следующих основных элементов: корпуса наружного (сварной); корпуса внутреннего (с диффузором и СА КВД); перегородки перфорированной; трубы жаровой; комплекта форсунок (24 сдвоенных форсунки); топливных коллекторов (3 контура); соплового аппарата 1-й ступени ТВД; свечей зажигания поверхностного разряда СП-14МС (2 шт.); штуцера дренажной системы; лючков осмотра.

Корпус наружный камеры сгорания предназначен для соединения в единый узел деталей КС и удержания избыточного давления рабочего тела в полости КС.

Корпус наружный представляет собой кольцевую профилированную оболочку с передним и задним кольцевыми фланцами, и рядами бобышек и фланцев на боковой поверхности. Бобышки и фланцы на боковой поверхности корпуса наружного предназначены для выполнения осмотров газовоздушного тракта, установки дренажного штуцера, крепления форсунок, свечей зажигания и трубопроводных коммуникаций.

Корпус внутренний представляет собой кольцевую профилированную оболочку с передним и задним кольцевыми фланцами и кольцевым диффузором в средней его части.

Корпуса внутренний и наружный изготавливаются из никелевых сплавов. Лопатки спрямляющего аппарата КВД соединены со стенками диффузора пайкой высокотемпературным припоем. Корпус внутренний совместно с корпусом наружным образуют кольцевую полость, в которой располагается труба жаровая.

Расчёт размеров и параметров камеры сгорания выполнен по методике, описанной в [14], которая представлена в приложении Г. Параметры, заданные для его расчета, приведены ниже.

Параметры, принятые в качестве входных для расчёта КС:

2 Научно-исследовательская часть

2.6 Профилирование ступени вентилятора

Назначение профилирования состоит в обеспечении потребных газодинамических параметров ступени за счет правильного выбора типа профиля и его основных геометрических характеристик, а также расчетного угла атаки и соответствующего ему угла отставания потока [8].

При действительном течении потока в ступени линии тока на различных радиусах могут не совпадать с цилиндрическими поверхностями. Как правило, поверхности, образованные линиями тока, являются криволинейными. Их криволинейность может быть охарактеризована углами наклона линий тока и относительно оси рабочего колеса, соответственно на входе и выходе. В первом приближении указанную криволинейную поверхность можно заменить конической расчетной поверхностью.

Пересечение конической расчетной поверхности с рабочим колесом образует действительную решетку профилей, обтекаемую потоком. Поэтому более точным методом профилирования лопаток является метод профилирования на конических поверхностях, однако это более трудоемкий метод.

Геометрические параметры в плоских сечениях (на плоских расчетных поверхностях) и на конических расчетных поверхностях могут существенно отличаться, причем отличие тем больше, чем больше наклон линий тока во фронтальном сечении. Для того чтобы исключить эту ошибку, необходимо при углах наклона линий тока больше 10-15 градусов производить профилирование лопаток на конических поверхностях При меньших значениях углов наклона линий тока, которые наблюдаются при малых углах наклона корпуса и втулки рабочего колеса, может быть оправданным использование более простого метода профилирования лопаток на цилиндрических поверхностях.

Профилирование лопатки рабочего колеса как на конических, так и на плоских расчетных поверхностях состоит из трех основных этапов:

I) выбор основных параметров решетки рабочего колеса на различных радиусах;

2) выбор основных параметров профиля на различных радиусах;

3) построение профиля лопатки на различных радиусах,

Кроме этого, при выполнении профилирования лопатки на конических поверхностях необходимо пересчитать параметры профиля на плоские технологические поверхности, что так же является трудоемким процессом.

Выполнение расчетов по каждому этапу требует задания определенных исходных данных.

Было проведено профилирование ступени вентилятора по высоте в шести сечениях, три для первого контура и три для второго, из них все есть сечений проходят через лопатку вентилятора, три нижних через лопатку направляющего аппарата первого контура и три верхних через спрямляющий аппарат второго контура. Профилирование велось по цилиндрическим поверхностям, что не дает существенной погрешности при углах наклона линий тока менее 15 градусов, что выполняется во всех сечениях кроме втулочного [8].

2.7 Расчет лопатки вентилятора на прочность

Например, на ПД-14 корпус вентилятора является силовым элементом двигателя, формирует проточную часть, обеспечивает удержание фрагментов лопаток вентилятора в случае их обрыва, обеспечивает крепление агрегатов. Корпус вентилятора выполнен из алюминиевого сплава.

Для обеспечения локализации рабочей лопатки вентилятора при ее обрыве, на корпусе вентилятора выполнена намотка баллистически-стойкой оболочки.

Материал лопатки – титановый сплав ВТ3-1, плотность которого 4500 кг/м3.

Титановые сплавы представляют для авиадвигателестроения особый интерес, так как имеют следующие преимущества:

1) низкая плотность ρ = 4400–4500 кг/м3;

2) высокая удельная прочность (в 2–3 раза выше, чем у сталей);

3) высокая коррозионная стойкость при умеренных температурах.

Однако при использовании титановых сплавов необходимо учитывать их недостатки, связанные с такими особенностями, как:

1) высокая ползучесть при t > 450°C;

2) низкий модуль упругости – примерно в 2 раза меньше, чем у сталей, соответственно, детали из титановых сплавов имеют меньшую жесткость;

3) низкая теплопроводность в сочетании с высоким коэффициентом трения, что приводит к разогреву при обработке (поэтому титановые сплавы плохо обрабатываются резанием и деформированием в штампах); коэффициент трения может быть снижен путем азотирования поверхностного слоя;

4) повышенная окисляемость при высоких температурах (может воспламеняться, например, при задевании титановой лопатки за титановый корпус); сварка титановых сплавов осуществляется в инертной среде (например, в аргоне);

5) чувствительность к концентрации напряжений;

6) коэффициент термического расширения титановых сплавов ниже, чем у сталей и никелевых сплавов, и мало изменяется с увеличением температуры. Максимальная температура применения max t = 550...600 градусов по Цельсию.

Основным способом получения полуфабрикатов из титановых сплавов является деформирование. Число разработанных в настоящее время литейных титановых сплавов невелико.

3. Технологическая часть

3.1 Проектирование технологического процесса изготовления детали

3.1.1 Назначение и описание детали, выбор материала

Ротор компрессора низкого давления (рисунок 32) является частью вала низкого давления и служит для передачи крутящего момента от турбины на компрессор, где подведенная механическая энергия преобразуется в энергию газа, и осевых усилий к подшипниковому узлу.

Изображение выглядит как линия, диаграмма, Параллельный, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 32 Ротор компрессора низкого давления

На роторе компрессора низкого давления устанавливаются с натягом призонные болты, втулки с нарезанными на них лабиринтными уплотнениями, а также нижнее правое полукольцо шарикоподшипника и нижнее левое полукольцо шарикоподшипника, воспринимающего осевые и радиальные нагрузки. В конструкции ротора предусмотрены отверстия (отверстия высокой точности под призонный болт и отверстия, являющиеся частью системы суфлирования двигателя).

При выборе материала необходимо учитывать условия эксплуатации данной детали в двигателе. Ротор компрессора низкого давления является одной из высоконагруженных частей вала низкого давления вследствие передаваемых мощностей и вызванных ими напряжений. Ротор должна иметь высокую пластичность, чтобы воспринимать и гасить вибрации, но при этом должен обладать высокой жесткостью и твердостью, чтобы воспринимать и передавать крутящий момент от турбины низкого давления.

Материалом для валов ГТД служат высококачественные низкоуглеродистые легированные стали (такие как 12ХН3А, 15Х12Н2МВФАБ), легированные стали с повышенным содержанием углерода (38ХА, 40ХНМА), также могут использоваться титановые сплавы в низкотемпературных частях двигателя.

При выборе материала необходимо также ориентироваться на заранее продуманный маршрутно-технологический процесс изготовления детали. При использовании легированных сталей с повышенным содержанием углерода объёмная штамповка будет необходима для повышения твёрдости, однако после штамповки будет необходимо снимать остаточные напряжения, что вносит определённые сложности в процесс изготовления (в частности, приводит к увеличению количества используемых станков). При применении высококачественных низкоуглеродистых легированных сталей объёмная штамповка не является необходимой, так как начальная твёрдость некоторых таких сталей соответствует требованиям к твёрдости валов ГТД. Сплавы на основе титаны сложны в обработки, так как обладают эффектом памяти, восприимчивы к остаточным напряжениям и требуют правильной термической обработки на различных этапах обработки заготовки. Однако титановые сплавы обладают огромным преимуществом перед сталями, так как для них допустимые напряжения выше, чем для сталей, что позволяет уменьшить объем материала без потери ресурса и надежности конструкции, а также они обладают значительно меньшей плотностью, примерно в два раза. В результате конструкции из титановых сплавов значительно легче, чем стальные.

Рассматриваемый узел является частью авиационного двигателя для гражданской дальнемагистральной авиации, что накладывает дополнительные требования на массу двигателя и, как следствие, его экономичность.

Исходя из выше сказанного, для изготовления ротора компрессора низкого давления необходимо выбрать титановый сплав.

Жаропрочный титановый сплав ВТ8 единственный рекомендованный титановый сплав для производства роторов авиационных газотурбинных двигателей. ВТ8 – это жаропрочный деформируемый сплав, легированный алюминием, молибденом, цирконием и кремнием. Данный материал сваривается электроннолучевой сваркой. Полуфабрикаты – катаные и прессованные прутки, поковки, штамповки.

ВТ8 используется для создания деталей компрессоров, а именно дисков, проставок, роторов, деталей приводов [26]:

1. Жаропрочный деформируемый сплав, легированный алюминием (6,4%), молибденом (3,3%), цирконием, кремнием.

2. Сваривается электроннолучевой сваркой. Полуфабрикаты – катаные и прессованные прутки, поковки, штамповки.

3. Детали компрессоров (диски, проставки, барабанные ротора и др.), детали приводов.

4. В отожженном состоянии при 450°С может работать неограниченно долго, при 450°С – 6000 час. В термически упрочненном состоянии: при 450°С – 6000 час, 500°С – 500 час.

В рассматриваемом узле температура не превышает 200°С при любых допустимых условиях окружающей среды и при любых допустимых режимах.

Химический состав этого сплава, согласно ОСТ 1 90013-71, следующий, %: основа титан, 6,0 – 7,3 алюминия, 2,8 – 3,8 молибдена, 0,2 – 0,4 кремния, а также не более: 0,1 углерода, 0,3 железа, 0,5 циркония, 0,15 кислорода, 0,05 азота, 0,015 водорода и 0,3 других примесей. ВИАМ Этот сплав по химическому составу улучшен, а вредные примеси уменьшены до минимума.

Механические свойства материала ВТ8 приведены на рисунке 30.

3.1.2 Назначение и анализ технических требований к детали

Исходя из условий эксплуатации, к конструкции предъявляются следующие технические требования:

Допуск торцевого биения поверхности фланца относительно базы А не более 0,025 мм

Данное требование назначено исходя из условия обеспечения плотного прилегания торца регулировочного кольца к торцевой поверхности цапфы. Невыполнение данного требования может привести к локальным зазорам между регулировочным кольцом и данной плоскостью, что может привести к изменению положения элементов узла относительно цапфы, а именно к деформации внутреннего кольца подшипника. Значение выбрано в соответствии с [30]. Техническое требование обеспечивается путём обработки за один установ. Схема контроля требования приведена на рис. 33.

Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, Технический чертеж, рисунок

Автоматически созданное описание

Рисунок 33 – Контроль биений

Допуск радиального биения поверхности Б относительно базы А не более 0,012 мм.

Данное требование назначено исходя из условия обеспечения плотного прилегания втулки к цилиндрической поверхности цапфы. Невыполнение данного требования может привести к локальным зазорам между регулировочным кольцом и данной плоскостью, что может привести к изменению положения элементов узла относительно цапфы, а именно к деформации внутреннего кольца подшипника. Значение выбрано в соответствии с [30]. Техническое требование обеспечивается путём обработки за один установ. Схема контроля требования приведена на рис. 6.

Допуск радиального биения поверхностей под посадку втулок относительно базы А не более 0,05 мм

Данное техническое требование назначается исходя из необходимости плотного прилегания втулки лабиринтного уплотнения.

Несоблюдение данного требования может повлечь за собой несобираемость конструкции, а также вибрации втулок в процессе эксплуатации, приводящие к повышенному износу. Значение выбрано в соответствии с [31]. Техническое требование обеспечивается путём обработки за один установ. Схема контроля требования приведена на рис. 6.

Допуск соосности центровочной поверхности относительно базы А не более 0,03 мм

Невыполнение данного требования может привести к увеличению вибраций из-за дисбаланса и уменьшению ресурса двигателя. Значение выбрано в соответствии с [30]. Техническое требование обеспечивается путём обработки за один установ. Схема контроля требования приведена на рис.34.

Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, Технический чертеж, рисунок

Автоматически созданное описание

Рисунок 34 – Контроль соосности

Допуск расположения отверстий фланцев относительно базы А не более 0,03 мм

Невыполнение данного требования может привести к невозможности дальнейшей сборки узлов. Схема контроля требования приведена на рис.35.

Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, Технический чертеж, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 35 – Контроль расположения

Допуск перпендикулярности буртиков относительно базы А не более 0,006 мм

Невыполнение данного требования может привести к невозможности дальнейшей сборки узлов. Допуск назначен в соответствии с ГОСТ 24643 - 81 по 4 классу точности и рекомендациями производителя подшипников KINEX. Невыполнение данного требования может привести к увеличению вибраций и снижению ресурса подшипниковых узлов и, как следствие, снижению ресурса всего двигателя. Схема контроля требования приведена на рис. 36.

Изображение выглядит как диаграмма, зарисовка, Технический чертеж, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 36 – Контроль перпендикулярности

3.1.4 Анализ технологичности конструкции детали

3.1.4.1 Качественная оценка технологичности

Данная деталь, является ответственной не только для узла, но и для всего двигателя в целом, ведь в случае разрушения ротора компрессора низкого давления выйдут из строя вентилятор и подпорные ступени, также возможно полное разрушения всего двигателя. Ротор имеет достаточно непростую геометрию и, как следствие, имеет сложнопрофильные поверхности, необходимость уменьшения массы без потери жесткости конструкции и ресурса узла, не позволяет избежать их изготовления.

При этом поверхности А и Б детали являются весьма удобными конструкторскими базовыми поверхностями, относительно которых назначены технические требования и которые можно совместить с технологическими, измерительными базами.

Тяжелые условия эксплуатации и ответственность отдельных поверхностей детали, являются причинами назначения весьма высоких требований к шероховатости и точности допусков отдельных элементов детали.

Возможен беспрепятственный подвод инструмента к большинству поверхности детали, что обеспечивает относительную простоту обработки резанием. Число технических требований, предъявляемых к детали, велико.

Жёсткость детали:

При обработке детали потребуется дополнительная оснастка для увеличения жесткости системы.

Минимальная толщина детали – 2 мм.

Деталь имеет сравнительно небольшие габариты (∅252х484 мм) (объем детали, рассчитанный в программе Компас 3D, составляет около 0,002874 м3) и обладает малой плотностью (4480) и, как следствие, малой массой (12,88 кг), что позволяет перемещать и устанавливать заготовку для обработки без применения подъёмно-транспортных средств. Однако сложная геометрия детали обуславливает сравнительно большой объём механической обработки.

Отверстия для системы суфлирования и отверстия под призонные болты сквозные, что упрощает их обработку.

3.1.4.2 Количественная оценка технологичности

Определим некоторые из количественных показателей технологичности конструкции детали согласно имеющимся данным в соответствии с [30].

Средний квалитет точности размеров поверхностей детали

Средний квалитет поверхностей детали возможно определить согласно конструкторской документации и табличным значениям, приведенным в ГОСТах, однако, принимая, что класс точности «точный» (рисунок 37) по ГОСТ 30893.1 – 2002 соответствует 11 квалитету, получим в соответствии с [31]:

– квалитет точности размера поверхности

– число поверхностей с квалитетом точности размера

Изображение выглядит как текст, Шрифт, число, чек

Автоматически созданное описание

Рисунок 37 – Предельные отклонения размеров по ГОСТ 30893.1 – 2002

Коэффициент точности изготовления детали:

Коэффициент шероховатости

Коэффициент шероховатости определяется в соответствии с [31]:

– значение параметра шероховатости поверхности

– число поверхностей с параметром шероховатости

Для определения шероховатости поверхности используется соотношение .

Вычисление значения коэффициентов превосходят указанные в [31] граничные (, что свидетельствует о технологичности детали.

3.1.5 Выбор метода изготовления заготовки

При выборе метода получения заготовки берут во внимание следующие критерии:

1 Материал детали (см. п. 2.1): жаропрочный титановый сплав ВТ8.

2 Тип производства: среднесерийное.

3 Служебное назначение детали: передача крутящего момента к барабану подборных ступеней и диску вентилятора от вала турбины низкого давления и передача осевых и радиальных сил подшипниковому узлу.

4 Габаритные размеры: ø252×484 мм.

5 Масса детали: 12,88.

6 Геометрия детали: наличие полости в детали и сложнопрофильных поверхностей.

В таблице 3 приведены результаты анализа основных параметров для выбора заготовки.

Выбирая метод изготовления заготовки, учтем основные факторы: наличие облегчающей и суфлирующей полости,

высокая стоимость материала,

наличие сложнопрофильных поверхностей,

необходимость минимизации припуска на механическую обработку.

Вывод: вид заготовки – обработка давлением, горячая объемная штамповка в закрытых штампах.

Эскиз заготовки представлен на рисунке 38, а также на рисунке 39 представлен эскиз с проставленными размерами.

Таблица 3. Анализ основных признаков, используемых при выборе заготовки [30]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Признак | Возможные значение | Приоритетные виды заготовок |
| Форма детали | Сложная | О, СК, ОД |
| Заготовительные  свойства материала: | Жидкотекучесть: неудовлетворительная | (О) |
| Свариваемость: удовлетворительная | СК |
| Пластичность: удовлетворительная | ОД, П, ПМ |
| Обрабатываемость резанием: удовлетворительная | П, ПМ |
| Плотность материала | Обычная | ОД, П, ПМ |
| Ориентированность структуры | Нет | \* |
| Удельная стоимость материала | Высокая | Л, ОД, ПМ |
| Ответственность детали | Высокая | ОД, П |
| Тип производства | Серийное | П, ОД, СК, О |

Обозначения в таблице:

О – отливка;

ОД – обработка давлением;

П – прокат;

СК - сварная или комбинированная

ПМ - полученная методами порошковой металлургии

() – исключая

\* – любая (равноприоритетность видов).

Изображение выглядит как зарисовка, диаграмма, линия, рисунок

Автоматически созданное описание

Рисунок 38 – Эскиз заготовки

Изображение выглядит как текст, диаграмма, План, схематичный

Автоматически созданное описание

Рисунок 39 – Эскиз заготовки с размерами

3.1.6 Разработка маршрутов обработки всех основных поверхностей детали

Для детали основными поверхностями является цилиндрическая поверхность Ra 0,64, используемая для посадки внутренних полуколец подшипника.

В соответствии с [31] выбираем 2 различных варианта обработки из таблиц 4 и 5:

Таблица 4. 1 вариант обработки для посадочных цилиндрических поверхностей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Операция | Получаемый квалитет | Получаемая шероховатость |
| Заготовка | IT14 | Ra80 |
| Точение черновое | IT13 | Ra25 |
| Точение получистовое | IT11 | Ra6.3 |
| Точение чистовое | IT7 | Ra0.63 |

Таблица 5 .2 вариант обработки для посадочных цилиндрических поверхностей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Операция | Получаемый квалитет | Получаемая шероховатость |
| Заготовка | IT14 | Ra80 |
| Точение черновое | IT13 | Ra25 |
| Точение получистовое | IT11 | Ra6.3 |
| Точение чистовое | IT8 | Ra1.25 |
| Шлифование предварительное | IT7 | Ra0.63 |

Из рассмотренных вариантов выбираем 1, так как данный вариант требует меньший станочный парк, помимо этого шлифование является дорогой операцией.

3.1.7 Маршрутный технологический процесс изготовления детали

Выбор баз, разработка маршрутного технологического процесса изготовления детали, выбор моделей оборудования представлен в таблице 6.

Таблица 6. Выбор баз, разработка маршрутного технологического процесса изготовления детали, выбор моделей оборудования

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № операции | Содержание выполняемой операции | Базовая поверхность | Оборудование (тип станка) |
| 005 | Заготовительная | - | кривошипный горячештамповочный  пресс К8540 |
| 010 | Термообработки, изотермический отпуск | - | Комплекс термической обработки |
| 015 | Отбор образцов | Внешняя цилиндрическая поверхность заготовки  ⌀132 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 020 | Токарная с ЧПУ  (черновое и получистовое точение) | Внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀158 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 025 | Токарная с ЧПУ  (черновое и получистовое точение) | Внешняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀122 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 030 | Токарная с ЧПУ  (черновое и получистовое точение) | Внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀160 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 035 | Контрольная, контроль базовых поверхностей | - | - |
| 040 | Термообработки, неполный отпуск | - | Комплекс термической обработки |
| 045 | Контроль ультразвуковой | - | Ультразвуковой дефектоскоп |
| 050 | Токарная с ЧПУ  (точение черновое) | Внешняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀122 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 055 | Токарная с ЧПУ  (точение черновое) | Внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀162 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 060 | Долбежная | Внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀162 мм | Станок BK5032 с ЧПУ |
| 065 | Токарная с ЧПУ  (точение черновое) | Внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀162 мм | Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M |
| 070 | Контрольная, контроль базовых поверхностей | - | - |
| 075 | Вертикально-сверлильная с ЧПУ | Внешняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀120 мм | Сверлильный станок Роутер 6050КС |
| 080 | Вертикально-сверлильная с ЧПУ | Внешняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀120 мм | Сверлильный станок Роутер 6050КС |
| 090 | Фрезерная с ЧПУ | Внутренняя цилиндрическая поверхность заготовки ⌀162 мм | Фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ S500U |
| 095 | Контрольная, контроль размеров | - | - |
| 100 | Контрольная, контроль формы и расположения | - | - |
| 105 | Контрольная, контроль магнитный | - | - |
| 110 | Статическая балансировка | - | - |

Оборудование выбирается исходя из размеров детали и экономических факторов, многократное использование станка поможет быстрее окупить его в рамках производства.

**Операция 005**: Заготовительная – штамповка

**Оборудование:** кривошипный горячештамповочный пресс К8540

Изображение выглядит как диаграмма, текст, План, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 40 – Эскиз операции 005

**Операция 010:** Термообработки, изотермический отпуск

**Оборудование:** Комплекс термической обработки

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описание

Рисунок 41 – Режим термообработки, операция 010

**Операция 015:** Отбор образцов

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый BISON 3205-400 с кулачками SJ10180B

Изображение выглядит как диаграмма, текст, линия, План

Автоматически созданное описание

Рисунок 42– Эскиз операции 015

**Операция 020:** Токарная с ЧПУ. Черновая и получистовая обработка

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый KD8-12

Изображение выглядит как диаграмма, линия, Параллельный, План

Автоматически созданное описание

Рисунок 43 – Эскиз операции 020, установ 1

Изображение выглядит как текст, диаграмма, План, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 44 – Эскиз операции 020, установ 2

**Операция 025:** Токарная с ЧПУ. Черновая и получистовая обработка

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый BISON 3205-400 с кулачками SJ10180B

Изображение выглядит как диаграмма, текст, План, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 45 – Эскиз операции 025

**Операция 030:** Токарная с ЧПУ. Черновая и получистовая обработка

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый KD8-12

Изображение выглядит как диаграмма, План, текст, карта

Автоматически созданное описание

Рисунок 46 – Эскиз операции 030

**Операция 035:** Контроль базовых поверхностей

**Операция 040:** Термообработки, неполный отпуск

**Оборудование:** Комплекс термической обработки

Изображение выглядит как текст, диаграмма, Шрифт, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 47 – Режим термообработки, операция 040

**Операция 045:** Контроль ультразвуковой

**Оборудование:** Ультразвуковой дефектоскоп

**Операция 050:** Токарная с ЧПУ. Чистовая обработка

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый BISON 3205-400 с кулачками SJ10180B

Изображение выглядит как диаграмма, текст, План, карта

Автоматически созданное описание

Рисунок 48 – Эскиз операции 030

**Операция 055** Токарная с ЧПУ. Чистовая обработка

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый KD8-12

Изображение выглядит как диаграмма, текст, линия, Параллельный

Автоматически созданное описание

Рисунок 49 – Эскиз операции 055

**Операция 060** Долбежная

**Оборудование:** Долбежный станок BK5032 с ЧПУ

**Приспособление:** Поворотный стол ТS-500A

Изображение выглядит как зарисовка, лестница, дизайн

Автоматически созданное описание

Рисунок 50 – Эскиз операции 060

**Операция 065** Токарная с ЧПУ. Чистовая обработка

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CW61100M

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый KD8-12

Изображение выглядит как текст, диаграмма, План, схематичный

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, круг

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, круг

Автоматически созданное описание

Рисунок 51 – Эскиз операции 065

**Операция 070:** Контроль базовых поверхностей

**Оборудование:** контрольный стол

**Операция 075:** Вертикально-сверлильная с ЧПУ

**Оборудование:** Сверлильный станок Роутер 6050КС

**Приспособление:** Делительная головка УДГ-Д-200

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, План

Автоматически созданное описание

Рисунок 52 – Эскиз операции 075

**Операция 080.** Вертикально-сверлильная с ЧПУ

**Оборудование:** Сверлильный станок Роутер 6050КС

**Приспособление:** Поворотный стол с трёхкулачковым патроном BISON 3205-400 с кулачками SJ10180B

Изображение выглядит как диаграмма, текст, План, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 53 – Эскиз операции 080

**Операция 085:** Упрочнение поверхностное

**Оборудование**: ROSLER ST 1000 PS

**Приспособление:** дробеструйный пистолет SPI 38

Изображение выглядит как диаграмма, линия, Параллельный, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 54 – Эскиз операции 085

**Операция 090:** Фрезерная с ЧПУ

**Оборудование:** Фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ S500U

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый KD8-12Изображение выглядит как диаграмма, линия, План, Параллельный

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как диаграмма, линия, текст, Шрифт

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст, диаграмма, линия, Шрифт

Автоматически созданное описание

Рисунок 53 – Эскиз операции 090

**Операция 095:** Контроль размеров

**Операция 100:** Контроль формы поверхности и расположения

**Операция 105:** Магнитный контроль

**Операция 110:** Статическая балансировка

3.1.8 Разработка операционной технологии обработки. Оформление операционных эскизов механической обработки

**Операция 050.** Токарноя с ЧПУ. Чистовое точение.

**Оборудование:** Токарный станок с ЧПУ DMTG CKE 6180

**Приспособление:** Патрон токарный трехкулачковый KD8-12

**Переход 1**

**Инструмент:** CP-25BR-2020-12

**Пластина:** CP-B1216D-M7 1115

**Инструментальный блок:** C5-ASHA-065-20HP

Изображение выглядит как зарисовка, рисунок, диаграмма, Технический чертеж

Автоматически созданное описание

Рисунок 54 – Технологический эскиз

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как текст, рукописный текст, Шрифт, число

Автоматически созданное описание

Рисунок 55 – Переход 1

**Переход 2:**

**Инструмент:** QS-SRDCN-202025-12XC

**Пластина:** RCMT 12 04 MP-H7 H13A

**Инструментальный блок:** C5-ASHA-065-20HP

**Изображение выглядит как текст, Шрифт, линия, число

Автоматически созданное описание**

Рисунок 56 – Переход 2

**Переход 3**

**Инструмент:** SVJBR-2020K-16

**Пластина:** VMT 16 04 04-UR H13A

**Инструментальный блок:** C5-ASHA-065-20HP

**Изображение выглядит как текст, Шрифт, линия, снимок экрана

Автоматически созданное описание**

Рисунок 57 – Переход 3

**Переход 4**

**Инструмент:** 66RFA-2020-16

**Пластина:** 266RG-16MM02A200M

**Опорная пластина:** 5322 391-10

**Инструментальный блок:** C5-ASHA-065-20HP

**Изображение выглядит как текст, Шрифт, линия, снимок экрана

Автоматически созданное описание**

Рисунок 58 – Преход 4

**Переход 5**

**Инструмент:** 266RFG-2525-22

**Пластина:** 266RG-22MM02A300E

**Опорная пластина:** 5322 379-10

**Инструментальный блок:** C6-ASHA-080-20HP

**Изображение выглядит как текст, Шрифт, линия, число

Автоматически созданное описание**

Рисунок 59 – Переход 5

3.2 Заключение

В результате проектирования были разработаны технологические процессы сборки подшипникового узла ротора компрессора низкого давления газотурбинного двигателя технологический процесс изготовления ротора компрессора низкого давления.

Для сборки были назначены и обоснованы несколько технических требований, разработан маршрутный технологический процесс сборки и рассчитаны некоторые из операций.

Для детали были назначены и обоснованы несколько технических требований, выбран и обоснован материал и способ получения заготовки, разработан маршрутный процесс изготовления рассчитана основная операция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР был разработан авиационный турбореактивный двухконтурный двигатель для «более электрического» гражданского пассажирского дальнемагистрального самолета классом тяги 14 тонн силы.

В конструкторской части ВКР выполнен термодинамический расчёт цикла ТРДД, рассчитаны узлы двигателя, а именно вентилятор, подпорные ступени, компрессор высокого давления, камера сгорания, турбина низкого давления, турбина высокого давления и два реактивных сопла. Было проведено обоснование решения по выбору рабочей точки, номинального режима, для дальнейшего проектирования. После расчёта узлов выполнен продольный разрез двигателя и два поперечных разреза.

В научно-исследовательской части выпускной квалификационной работе была рассчитана ступень вентилятора и прочность рабочей лопатки вентилятора, проведена оценка противообледенительной системы, составлен обзор на электрогенераторы и стартер-генераторы для малой энергетики и авиационных двигателей, получены оценки их длины.

В технологической части ВКР разработан рабочий чертеж ротора компрессора низкого давления и назначены технические требования. Также разработаны схемы контроля заданных требований, маршрутный технологический процесс изготовления вала компрессора низкого давления, рассчитаны операции токарной обработки и выполнены их эскизы.

В части ВКР, посвященной охране труда и охране окружающей среды, проведен анализ вредных и опасных производственных факторов на этапе проведения испытаний проектируемого двигателя. Выполнен акустический расчет с использованием специального ПО.

В организационно-экономической части ВКР проведён технико-экономический анализ авиационного турбореактивного двухконтурного двигателя для «более электрического» гражданского пассажирского дальнемагистрального самолета и на его основе сделано сравнение проектируемого двигателя с двигателем-аналогом, ПД-14.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исмагилов Ф. Р, Вавилов В. Е., Уразбахтин Р. Р., Старков Р.С. Концепция создания электрифицированного авиационного двигателя/ Вестник УГАТУ. – 2020. Т. 24, № 3 (89). С. 52–58.

2. Гуревич О.С., Гулиенко А.И. Газотурбинный двигатель для «электрического» магистрального самолета – «электрический» ГТД. – М.: ЦИАМ, 2019 г.

3. Буров М. Н. Электрические и гибридные авиационные двигатели [Электронный ресурс]. URL: http://www.remmag.ru/upload\_data/files/2017-0304/Saturn3.pdf (дата обращения 10.06.2024).

4. Михальцев, В.Е. Теория и проектирование газовой турбины: учебное пособие/В.Е, Михальцев, В.Д. Моляков; под ред. А.Ю. Вараксина. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – 230, с.: ил.

5. Бекнев В.С. Расчет осевого компрессора. Методические указания по выполнению курсовых и дипломных проектов, 1981. – М.: типография МВТУ. – 38 с.

6. Бекнев В.С. Расчет осевого компрессора. Методические указания по курсовому и дипломному проектированию, 1973. – М.: Ротапринт МВТУ. – 79 с.

7. Емин О.Н., Карасев В.Н., Ржавин Ю.А. Выбор параметров и газодинамический расчет осевых компрессоров и турбин авиационных ГТД // Москва, издательство МАИ, 2009. - 146с.

8. Евтеев И.В., Талызин А.М., Талызина В.С. Профилирование рабочих лопаток трансзвуковой и сверхзвуковой ступеней осевого компрессора: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – 1980. – 67 с.

9. Ахмедзянов Д.А., Козловская А.Б. Методика расчета и моделирование осевых компрессоров авиационных ГТД/ Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2009. - Т. 13, № 1 (34). С. 9–19.

10. Михайлова А.Б. Газодинамический расчет осевого компрессора в двухмерной постановке с использованием имитационного моделирования/ Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2012. - Т. 16, № 2 (47). С. 15–27.

11. Архипов Д.В. Особенности аэродинамического проектирования высоконапорных ступеней многоступенчатых осевых компрессоров/ Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. – 2010. №3. – с. 77-80.

12. Машошин О.Ф. и др. Особенности конструкции двигателей семейства ПД-14: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. /О.Ф. Машошин, С.Н. Кузнецов, Л.В. Москаленко, В.А, Ряссов, Б.А. Чичиков – Москва, ИД Академии Жуковского, 2023. – с. 36

13. [https://uralatom.com/projects/uplotnitelnye\_materialy/anb\_seriynyy\_ uplotnitelnyy\_material\_s\_mnogoletney\_praktikoy\_primeneniya/](https://uralatom.com/projects/uplotnitelnye_materialy/anb_seriynyy_%20uplotnitelnyy_material_s_mnogoletney_praktikoy_primeneniya/) (Дата обращения 01.06.2024)

14. Пчелкин Ю. М. Камеры сгорания ГТД: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. // - М. : МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1984. - 92 с.

15. Методология организации научных исследований и разработок в обеспечение создания высокотехнологичной продукции (применительно к созданию авиационных двигателей): Сборник статей/ Под общей редакцией М.В, Гордин и А.И, Ланшина/ Труды ЦИАМ №1362 – Москва, ЦИАМ, 2020.

16. Амелюшкин И.А. Исследование двухфазных потоков в приложении к проблеме обледенения и аэрофизического эксперимента: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – ЦАГИ. – 2014. – с. 144.

17. Миляев К.Е., Семенов С.В., Балакирев А.А. Обзор борьбы с обледенением в авиационных двигателях/ Вестник ПНИПУ. Ажрокосмическая техника. – 2019. – с. 15.

18. Иноземцев А.А. Авиационный двигатель ПС-90А/ А. А. Иноземцев, Е. А. Коняев, В. В. Медведев, А. В. Нерадько, А. Е. Ряссов; Под ред. А.А. Иноземцева. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 320 с. — ISBN 978-5-9221-0718-1.

19. Исмагилов Ф. Р, Вавилов В. Е., Уразбахтин Р. Р., Жарков Е.О. Основы теории запуска двухконтурного турбореактивного двигателя при помощи интегрированного стартер-генератора/ Materials. Technologies. Design. - 4(4(10)), 34–47.

20. Исмагилов Ф. Р, Вавилов В. Е., Уразбахтин Р. Р., Старков Р.С. Концепция создания электрифицированного авиационного двигателя/ Вестник УГАТУ. – 2020. Т. 24, № 3 (89). С. 52–58.

21. Желокова М.З., Максимова И.Ф. Прогноз мощностных показателей высокооборотных генераторов с предельной степенью использования для малой энергетики/ Известия академии наук. Энергетика. №6. – 2008. – 5 с.

22. <https://www.aeroem.ru/catalog/generatoryi/> (Дата обращения: 06.04.2024)

23. https://segz.ru/product/generatory/generator-trekhfazniy-s-zhidkostnym-okhlazhdeniem-gt120nzhch12/ (дата обращения: 06.04.2024)

24. Калий В.А. Система разработки высокооборотных авиационных синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Москва. – 2018. – 280 с.

25. Желокова М.З., Максимова И.Ф. Мощные высокооборотные генераторы для малой энергетики/ Известия академии наук. Энергетика. №1. – 2015. – 17с.

26. Харитонов В.Ф., Соловьев П.В. Материалы деталей авиационных двигателей: учебный справочник по дисциплине «Конструкция и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок»/ УГАТУ: В.Ф, Харитонов, П.В, Соловьев. – Уфа: УГАТУ, 2021. – 80 с.

27. Даниленко Н.В,, Кириченко А.Г. Конвертация вихря при изменении высоты воздухозаборника над подстилающей поверхностью/ Международный информационно-аналитический журнал «Credo Experto: транспорт, общество, образование, язык». №2 (13), 2017. – с. 13.

28. Даниленко Н.В,, Кириченко А.Г. Влияние геометрической формы воздухозаборника ГТД на особенности его технической эксплуатации на аэродроме/ Научный вестник ГосНИИ ГА, №25, 2019. – с. 9.

29. Пахомов С.В. Моделирование пространственных вихревых течений воздушного потока на входе в воздухозаборник самолета/ Современные технолгии. Системный анализ. Моделирование №2 (38), 2013. – с. 8.

30. Кондаков, А.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие // А. И. Кондаков. – М.: КНОРУС, 2012. – 400 с.

31. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 // Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., доп. и перераб. –. М.: Машиностроение, 1985. –496 с: ил.

32. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учеб. Пособие. // – 2-е изд., 2012. – 374 с.

33. <https://masterok.livejournal.com/6135445.html> (Дата обращения: 14.04.2024)

34. Строительные нормы и правила. СНиП II-12-77. Часть II. Глава 12.

35. Теория двухконтурных двигателей/ Под ред. Д.т.н., проф. С.М. Шляхтянко, д.т.н., проф. В.А. Сосунова. – М: «Машиностроение», 1979.

36. Юдин Е.Я. Справочник проектировщика. Защита от шума. / под ред. Е.Я. Юдина. – М.: Стройиздат, 1974. – с. 134.

37. Л.Г. Осипов. Звукоизоляция и звукопоглащение: учебное пособие для студентов вузов / Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др.; Под ред. Г.Л. Оспиова, - М.: ООО «Издательство АСТ», 2008. – 450 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

В данном приложении представлена графическая часть ВКР, состоящая из 22 листов формата А1.

Изображение выглядит как текст, диаграмма, зарисовка, План

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как зарисовка, рисунок, Параллельный, диаграмма

Автоматически созданное описание

Изображение выглядит как зарисовка, рисунок, круг, диаграмма

Автоматически созданное описание