

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИПР
Направление подготовки машины и оборудования нефтегазовых промыслов
Кафедра ТПМ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние центробежных сил на напряженно деформированное состояние крыльчатки осевого компрессора

УДК 621.515-253.65:621.8.031.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4е21	Черепанов Андрей Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТПМ	Саруев Л.А.	Доктор наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гаврикова Н.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Невский Е.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н	КТН		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4E21	Черепанов Андрей Алексеевич

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	Технологические машины и оборудование

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>SWOT-анализ проекта</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научно-исследовательских работ</i>	<i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ)</i> <i>1. Основная заработная плата исполнителей темы</i> <i>2. Отчисления на социальные нужды</i> <i>3. Накладные расходы</i> <i>4. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. <i>Матрица SWOT</i>	
2. <i>Календарный график проведения НИ</i>	
3. <i>Бюджет проекта</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Н.А.Гаврикова			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е21	Черепанову Андрею Алексеевичу		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Е21	Черепанову Андрею Алексеевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	151000 «Технологические машины и оборудование»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочее место – машинный зал газотурбинной установки. Оборудование: газотурбинная установка. Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень вибрации. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная температура маслосистемы; - пожароопасность; - наличие вращающихся элементов. <p>Воздействие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> - загрязнение атмосферы; - загрязнение гидросферы; - загрязнение литосферы. <p>Возникновение чрезвычайных ситуаций:</p> <ul style="list-style-type: none"> - аварийная остановка при превышении частоты вращения ротора; - нарушение рабочего режима маслосистемы; - аварийная остановка при превышении уровня вибрации; - обрыв рабочей лопатки и как следствие разрушение компрессора; - пожар при повреждении системы подачи газа; - прорыв камеры сгорания; - нарушение герметичности топливной системы; - попадание инородных тел во всасывающий патрубок осевого компрессора.
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Общие требования ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none">- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;- действие фактора на организм человека;- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	<p>Физико-химическая природа вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none">- повышенные уровни шума;- повышенные уровни вибрации. <p>Действие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none">- ухудшение слуха;- влияние на нервную систему;- раздражение человека;- нарушение работы сердечно-сосудистой системы;- головные боли;- тошнота. <p>Средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none">- шумопоглощающая изоляция;- звукоизолирующие кожухи;- активные средства виброзащиты. <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none">- противошумные наушники;- противошумные вкладыши;- вибродемпфирующие перчатки;- рукавицы, нагрудники, специальные костюмы.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none">- механические опасности (источники, средства защиты);- термические опасности (источники, средства защиты);- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	<p>Источник опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none">- быстровращающийся вал с лопатками;- патрубок подачи топлива;- маслосистема;- камера сгорания. <p>Средства защиты:</p> <ul style="list-style-type: none">- защитные экраны;- термостойкие перчатки;- системы пожаротушения. <p>Причины проявления опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none">- критическая частота вращения ротора;- накопление деформаций в лопатках;- нарушение герметичности системы. <p>Причины пожаров:</p> <ul style="list-style-type: none">- механическое повреждение топливного патрубка;- утечка газа. <p>Профилактические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none">- обучение пожарной ТБ;- контроль оборудования. <p>Первичные средства пожаротушения:</p> <ul style="list-style-type: none">- огнетушитель;- песок.
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none">- защита селитебной зоны- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	<p>Защита селитебной зоны:</p> <p>Учет санитарно-защитной зоны при строительстве газоперекачивающих станций.</p> <p>Воздействие на атмосферу:</p> <p>Выбросы продуктов сгорания топлива, содержащие:</p> <ul style="list-style-type: none">- продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;- компоненты неполного сгорания топлива. <p>Воздействие на гидросферу:</p> <p>возможный разлив смазочно-охлаждающих жидкостей.</p> <p>Воздействие на литосферу:</p> <p>твердые бытовые отходы при</p>

	<p>техническом обслуживании и ремонте газотурбинных установок.</p> <p>Решения по обеспечению экологической безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - соблюдение инструкций при операциях по наливу и сливу смазочно-охлаждающих жидкостей; - Все работники должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90; - применение индивидуальных средств защиты по типовым отраслевым нормам при работе с нефтепродуктами.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Возможные ЧС на объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> - аварийная остановка при превышении частоты вращения ротора; - нарушение рабочего режима маслосистемы; - аварийная остановка при превышении уровня вибрации; - обрыв рабочей лопатки и как следствие разрушение компрессора; - пожар при повреждении системы подачи газа; - нарушение герметичности камеры сгорания. <p>Превентивные меры по предупреждению ЧС: проведение эмпирических испытаний после получения результатов при моделировании процессов в программном комплексе является наиболее важной мерой на пути предупреждения чрезвычайной ситуации.</p> <p>Для повышения устойчивости осевого компрессора к возможной ЧС необходимо перед изготовлением рабочих лопастей необходимо провести ряд исследований с помощью ЭВМ и просимулировать аэродинамические процессы, возникающие при обтекании лопатки, с целью контроля проявления процесса срыва потока воздуха на ней.</p> <p>Также при применении иных материалов при изготовлении лопастей, следует произвести эмпирические исследования, выявляющие прочность тела из данного материала в процессе эксплуатации.</p> <p>В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве".</p> <p>Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в</p>

	<p>установленном порядке.</p> <p><i>К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.</i></p> <p><i>Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:</i></p> <p><i>1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);</i></p> <p><i>2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);</i></p> <p><i>3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).</i></p>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.05.2016г
---	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Невский Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4E21	Черепанов Андрей Алексеевич		

Реферат

Дипломная работа включает в себя: X страницы, X рисунков, X таблиц, X формул, X источников, X приложений.

Объект исследования- лопатка крыльчатки осевого компрессора

Цель работы: оценить влияние центробежных сил на напряженно-деформированное состояние лопатки осевого компрессора газотурбинной установки.

Задачи:

- разработка расчетной модели лопатки осевого компрессора;
- создание модели напряженно- деформированного состояния лопатки, возникающего под действием центробежной силы. Верификация модели;
- определение влияния материала лопатки на напряженно- деформированное состояние.

В дипломной работе рассмотрены понятия и свойства центробежной силы, приведено описание осевого компрессора газотурбинной установки, рассмотрена расчетная модель лопатки компрессора.

Результатом проведенной работы является лопатка осевого компрессора. Рассмотрены модели напряженно- деформированного состояния лопаток, выполненных из различных материалов.

Ключевые слова: лопатка, осевой компрессор газотурбинной установки, центробежная сила, напряженно- деформированное состояние.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007, в программе SolidWorks, а также в графическом редакторе КОМПАС-3D.

Содержание

Изм.	Лист	№ докум. №	Подпись	Дат	Лист
					9

КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ

Введение

Российская Федерация занимает одно из ведущих мест в системе мирового оборота энергетических ресурсов, в особенности с позиции рынка углеводородов. Страна является мировым лидером по запасам природного газа (24.6% по статистике 2014го года), а также по объёмам его ежегодной добычи, обеспечивая 25% мировой торговли данным продуктом. Для транспортировки природного газа в России была построена уникальная газотранспортная система (ГТС), играющая одну из основополагающих ролей в надёжном и бесперебойном газоснабжении и газораспределении между потребителями, обеспечивая при этом энергетическую безопасность многих стран, что является своего рода фундаментом для устойчивого роста экономики, как Российской Федерации, так и стран- потребителей российского природного газа.

Однако природный газ нельзя транспортировать в достаточном количестве на большие расстояния по трубам только за счет естественного пластового давления, поэтому развитие трубопроводного транспорта газа неразрывно связано со строительством и эксплуатацией системы компрессорных станций (КС), устанавливаемых на трассе газопроводов через каждые 100-150 км. Эти КС, как правило, имеют типовую обвязку технологических линий и оборудуются разного рода газоперекачивающими агрегатами мощностью, соответствующей расходу транспортируемого газа и перепаду давлений по станции.

На сегодняшний день ГТС содержит свыше 170000 км газопроводов, около 260 компрессорных станций, на которых эксплуатируются более 4000 газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Таким образом, ГТС России обеспечивает транспортировку более 570 млрд. м³ природного газа в год, как от месторождений к потребителям внутри страны, так и за рубежом.

В составе парка ГПА около 86% из них имеют газотурбинный привод (ГТП). Но на данный момент около 90% всех ГПА с ГТП морально и физически устарели. Усредненный коэффициент полезного действия (КПД)

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		10

ГТС составляет около 20 - 25 %. На собственные нужды (95 % из которых топливный газ) тратится около 10 % перекачиваемого ГПА с ГТП природного газа, а по отдельным агрегатам эта величина может достигать 15 - 20%. Известно, что эксплуатируемые газотурбинные приводы являются ничем иным, как всего лишь адаптированной версией авиационных и судовых приводов. Также основными недостатками современных ГТУ является их низкая экономичность (к.п.д. не более 33-39%) и сильное влияние переменного режима работы на к.п.д. ГТУ, а следовательно, и на расход газа на нужды КС, таким образом имеется необходимость в создании более совершенных, экономичных и производительных агрегатов.

Во время проектирования новых агрегатов огромное внимание уделяется мощности, экономичности, а также надежности данных установок. Во время базовой работы узлы газотурбинной установки испытывают большие нагрузки, а в особенности осевой компрессор, предназначенный для сжатия рабочего тела (воздуха) и подачи его в камеру сгорания, откуда следует что прочностные характеристики вышеназванного играют значительную роль. Рабочими телами данного узла являются лопатки, которые в процессе вращения испытывают на себе влияние аэродинамических сил газа, а также сил центробежного ускорения. Целесообразным является детальный расчет лопастей и учёт всех факторов, влияющих на их работу для предотвращения возможных поломок и аварий, которые могут подвергнуть серьёзной опасности операторов КС.

Целью же данной выпускной квалификационной работы является симуляция воздействия сил центробежного ускорения на напряженно-деформированное состояние лопасти осевого компрессора, а также влияние выбора материала на оное.

1. Обзор литературы

В России более 80% ГПА составляют установки с газотурбинным приводом. Полезная мощность вырабатывается за счет сжигания органического топлива, из которого около 60% составляет природный газ, полезное использование которого по статистике колеблется от 33% до 39%.

Программой развития энергетики России предусмотрен рост эффективности использования топлива на новых ГТУ вплоть до 54% и более за счет применения комбинированной технологии.

Современные газотурбинные технологии предъявляют высокие требования ко всем составляющим технологического процесса: качеству и точности оборудования ГПА, подготовки газа и воздуха.

На данный момент существует множество советских источников, руководствуясь которыми можно произвести необходимые расчеты для дальнейшего конструирования газотурбинной установки. Также существует разнообразие зарубежной литературы, статей и исследований, благодаря которым компании, обладающие мировым признанием, такие как Rolls Royce или Siemens способны создавать установки- гиганты, рассчитанные на обеспечение энергией целые регионы. Однако современные методы проектирования и конструирования претерпели значительные изменения по отношению с методами прошлых лет.

До недавнего времени основным источником получения характеристик турбомашин являлся эксперимент. Однако он обладает рядом существенных недостатков. Во-первых, проведение продувок, связанное с использованием высокоточного оборудования и многочисленных модельных решеток, весьма дорого. Во-вторых, организация и проведение эксперимента требуют значительных затрат времени. В-третьих, при продувках решеток не всегда удается воспроизвести желаемые режимы течения. В-четвертых, в ходе эксперимента невозможно получить исчерпывающую информацию о параметрах потока во всех точках канала. Таким образом, экспериментальное определение характеристик лопаточных венцов получается дорогим,

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		12

длительным и ограниченным числом измеряемых параметров, что, несомненно, отрицательно отражается на стоимости проектирования и доводки изделия.

В последнее время в связи со значительным прогрессом в области вычислительной техники появилась возможность исследования потоков методами вычислительной газовой динамики или, как их часто называют, *CFD* - методами. Они основаны на численном решении системы уравнений Навье-Стокса, описывающей течение газа или жидкости на основе фундаментальных законов сохранения, т.е. с минимальными допущениями. Как показывают многочисленные публикации, эти решения дают результаты близкие к экспериментальным. Причем сроки и стоимость расчета несопоставимо ниже, чем в случае проведения эксперимента. Кроме того, расчет численными методами дает исчерпывающую информацию обо всех параметрах во всех точках рассматриваемой области потока. В результате число экспериментов, необходимое для проектирования и доводки, снижается в разы, что положительно сказывается на сроках и стоимости разработки изделия.

Основной функцией осевого компрессора газотурбинной установки является сжатие воздуха перед подачей его в камеру сгорания. А потому правильный расчёт одного при конструировании ГТУ является ключевым фактором для обеспечения необходимой степени сжатия подаваемого воздуха, а также для обеспечения надёжности и эффективной, продолжительной работы установки.

Компрессор является одним из важнейших узлов газотурбинных двигателей и энергоустановок. Кроме того, лопаточные компрессоры часто применяются и в других областях техники в качестве источника сжатого газа. Именно поэтому изучение и понимание рабочего процесса компрессора является актуальным и востребованным.

Глубокое понимание процессов, происходящих в его межлопаточных каналах, позволяет избежать ошибок при проектировании и повысить его

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		13

газодинамическую эффективность. Последнее обстоятельство является наиболее важным, поскольку основными характеристиками компрессоров являются: их производительность, степень повышения давления, эффективный КПД, откуда следует, что КПД компрессора непосредственно влияет на топливную экономичность и конкурентоспособность изделия в целом.

При создании осевых компрессоров необходимо работать в тесном сотрудничестве с заказчиками и проектными институтами, чтобы подготовить под специфику конкретных машин комплекс, основанный на их требованиях при использовании современного программного обеспечения и структурных вычислений, включая трёхмерное моделирование, всё с целью оптимального решения.

К числу наиболее ответственных деталей компрессора газотурбинного двигателя относятся лопатки крыльчатки, поскольку они работают в сложных температурно-силовых условиях. И для того, чтобы создать ГТУ с более производительными параметрами, необходимо применение новых современных материалов.

В настоящее время одним из основных материалов, применяемых в строительстве ГТУ, являются титановые сплавы, что обладают высокой удельной прочностью, однако они имеют ряд существенных недостатков:

- Повышенную чувствительность к концентраторам напряжений;
- Низкую технологичность.

Эффективной же заменой титанового сплава в лопастях компрессора ГТУ могут стать композиционные материалы (КМ), выполненные на основе магниевой матрицы, армированной борными и углеродными волокнами. Однако применение подобных материалов требует непременно проведения научных исследований.

2. Объект и методы исследования

Газовый промысел (ГП) — технологический комплекс, служащий для добычи и сбора газа с территории месторождения, а также последующей

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		14

обработки газа и конденсата с целью их подготовки к дальнейшему транспортированию.

Комплекс сооружений и оборудования для повышения давления, а также сжатия газа при его добыче, транспортировке или же хранения называется компрессорной станцией.

Головные компрессорные станции (ГКС)- это станции, расположенные в непосредственной близости от месторождения, а КС, расположенные на трассе газопровода, называются линейными или промежуточными. На ГКС осуществляют сепарацию, осушку, очистку, охлаждение, одоризацию газа и замер его количества. Линейные или промежуточные КС в свою очередь поддерживают необходимое давление на всей протяжённости труб.

Дожимные Компрессорные Станции (ДКС) комплектуются компрессорами различных типов - винтовыми, центробежными, поршневыми.

ДКС подразделяются на типы, в зависимости от их мощности, функционального назначения, особенностей конструкции, типа привода и других технических характеристик.

В качестве привода компрессоров могут использоваться электродвигатели, газовые турбины, а также двигатели внутреннего сгорания.

Комплекс компрессорной станции включает, как правило, следующие объекты, системы и сооружения:

- один или несколько компрессорных цехов;
- систему сбора, удаления и обезвреживания твердых и жидких примесей, извлеченных из транспортируемого газа;
- установку подготовки пускового и топливного газа (УППТГ);
- автоматическую систему пожаротушения (АСПТ);
- пульт КС;
- систему электроснабжения;

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		15

- систему теплоснабжения;
- систему молниезащиты;
- административно-хозяйственные помещения; склады для хранения материалов, реагентов и оборудования; оборудование и средства технического обслуживания и ремонта линейной части и КС; вспомогательные объекты.

Компрессорный цех включает в себя группу газоперекачивающих агрегатов (ГПА) установленных в общем или индивидуальном зданиях (укрытиях), и следующие системы, установки и сооружения, обеспечивающие его функционирование:

- узел подключения к магистральному газопроводу;
- аппарат воздушного охлаждения (АВО) газа;
- системы топливного, пускового и импульсного газ;
- аппарат воздушного охлаждения смазочного масла (АВОМ);
- систему автоматического управления (АСУ) и КИП;
- автоматическую систему пожаротушения (АСПТ).

Основным оборудованием на КС являются ГПА, которые могут быть поршневого или центробежного типа. Приводом поршневых компрессоров являются газовые двигатели, выполненные, как правило, в одном блоке с компрессором. Центробежные машины для перекачки газа – нагнетатели – могут иметь привод от ГТУ или от электродвигателей.

2.1 Газоперекачивающий агрегат с центробежным нагнетателем

На газопроводах большой пропускной способности (более 5000 млн.м³/год) для компримирования газа применяют центробежные нагнетатели, подача которых в настоящее время достигает 35 млн.м³/сут.

По сравнению с поршневыми компрессорами центробежные нагнетатели имеют ряд преимуществ. Это, прежде всего, компактность и высокая производительность, простота конструкции, малое количество трущихся деталей и отсутствие возвратно-поступательных движений, равномерная подача газа и более благоприятные условия автоматизации.

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>		16

В центробежных нагнетателях, вращающимся рабочим колесом, газу сообщается большая скорость с последующим преобразованием кинетической энергии потока в работу сжатия нагнетаемого газа. Связь между основными параметрами рабочего процесса нагнетателя (подачей, степенью сжатия, потребляемой мощности и политропическим КПД) выражается газодинамической характеристикой.

Приводом для центробежных нагнетателей являются газотурбинные установки или электрические двигатели.

Благодаря ряду преимуществ перед другими видами приводов, из которых главное – легкость регулирования производительности и повышение мощности в осенне-зимний период, газотурбинный привод наиболее распространен на газопроводах большой мощности.

Газотурбинный ГПА включает в себя ГТУ, центробежный нагнетатель природного газа и следующее вспомогательное оборудование:

- комплексное воздухоочистительное устройство;
- выхлопное устройство;
- системы топливную и пусковую, масляную, автоматического управления, регулирования и защиты, охлаждения масла, гидравлического уплотнения нагнетателя.

Для того чтобы поддерживать ГПА в работоспособном состоянии, организуют систему технического обслуживания и ремонта. Обычно в регламенте технологического обслуживания и ремонта предусматривают:

- осмотр агрегата каждые 2 часа;
- техническое обслуживание на остановленном;
- средний и капитальный ремонт.

Конструкция ГПА должна отвечать целому ряду требований, соответствующих действующим стандартам и нормам: взрывобезопасности, взрывопредупреждения и взрывозащиты; пожарной безопасности; к вибрации, шумовым показателям и тепловыделениям на рабочих местах и в

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		17

окружающей среде; к температуре, влажности и подвижности воздуха рабочей зоны в зданиях для ГПА.

2.2 Понятие газотурбинной установки

Газотурбинным двигателем называется такой двигатель, в котором в качестве рабочего тела используется неконденсирующийся газ (воздух и продукты сгорания топлива или нейтральные газы), а в качестве тягового двигателя применяется газовая турбина. Сама установка состоит из трех основных элементов: воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины. Термин турбина происходит от латинского turbineus- вихреобразный или turbo- волчок. Турбина и есть тяговый двигатель, в котором механическая работа на валу машины получается за счет преобразования кинетической энергии газовой струи, в свою очередь полученной в результате преобразования потенциальной энергии сгоревшего топлива.

Для того, чтобы создать тепловой двигатель, необходимо, по крайней мере, наличие двух тепловых источников, а именно источника высокой температуры (нагреватель), от которого получаем тепло для преобразования части его в работу, и источника низкой температуры, которому отдаем часть неиспользованного в двигателе тепла. Таким образом, как это следует из законов термодинамики, в работу можно превратить только часть тепла, передаваемого от тел более нагретых к телам менее нагретым.

Непременным условием создания любого теплового двигателя является наличие материальной среды- рабочего тела. В качестве рабочего тела в двигателях целесообразнее всего использовать газы, получающиеся при сгорании топлива, так как именно они имеют при этом наивысшую температуру. Опять же, законы термодинамики показывают, что термический к.п.д. цикла двигателя тем выше, чем больше высшая температура рабочего тела в пределах цикла.

Следовательно, всякий тепловой двигатель должен состоять из нагревателя, расширительной машины, холодильника и компрессионной

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		18

машины. Причем, если мы хотим непрерывно превращать тепло в работу, то должны, наряду с расширением, непрерывно сжимать рабочее тело, причем при таких условиях, чтобы работа сжатия была меньше работы расширения, т.е. рабочее тело должно совершать круговой процесс. Получаемая в тепловом двигателе работа определяется как разность работ расширения и сжатия рабочего тела.

2.3 Типы ГТУ в зависимости от рабочего цикла

В зависимости от способов подвода тепла к рабочему телу, организации процессов сжатия и расширения рабочего тела, газотурбинные установки (ГТУ) могут быть выполнены по открытому (разомкнутому), закрытому (замкнутому) и полужакрытому циклам. Возможны также открытые схемы ГТУ с поршневыми генераторами газов.

В ГТУ открытого цикла наружный воздух, пройдя процесс сжатия, систему подвода тепла и процесс расширения, выбрасывается в атмосферу и его уже нельзя вернуть в установку в качестве рабочего тела, т.е. посредством всасывания воздуха и выпуска газов в атмосферу осуществляется постоянная замена рабочего тела в цикле двигателя.

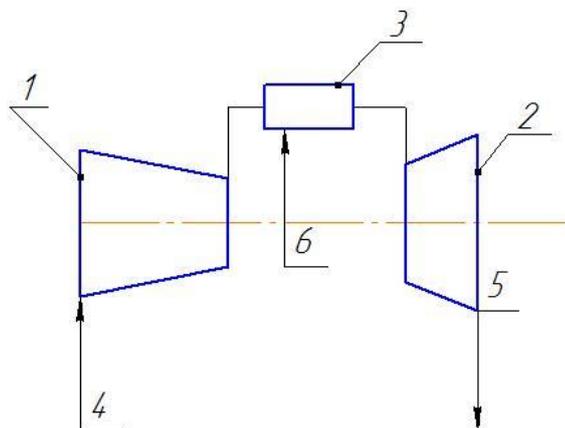


Схема 1. Одновальная ГТУ

Где 1-осевой компрессор, 2- газовая турбина, 3-камера сгорания, 4- вход рабочего тела, 5- выход рабочего тела, 6- подвод топлива;

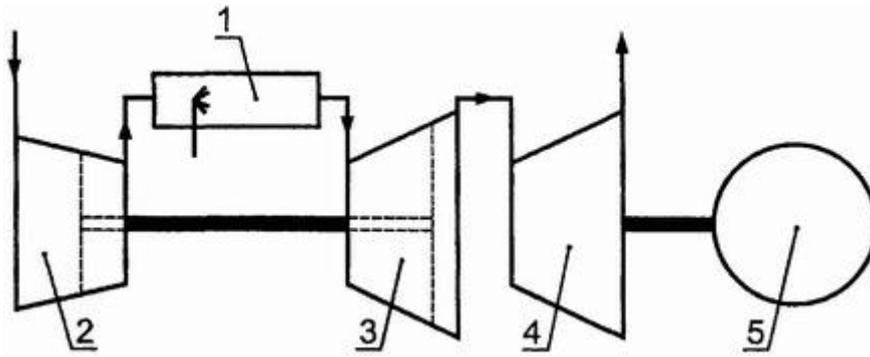


Схема 2. Двухвальная ГТУ

Где 1-камера сгорания, 2- осевой компрессор, 3-газовая турбина высокого давления, 4- газовая турбина низкого давления (силовая турбина), 5-нагнетатель.

Схема 1 соответствует варианту ГТУ в одновальном исполнении; схема 2- варианту ГТУ в двухвальном исполнении (ГТУ с независимой силовой турбиной).

Рабочий процесс ГТУ простейшей схемы осуществляется следующим образом: атмосферный воздух, пройдя систему фильтров, поступает на вход осевого компрессора 1. После сжатия в осевом компрессоре воздух поступает в камеру сгорания 3, где он разделяется на два потока: меньшая часть непосредственно участвует в процессе горения подведенного извне топлива, а большая его часть, пройдя между корпусом камеры сгорания и её жаровой трубой, служащей для организации процесса сжигания топлива, охлаждает жаровую трубу, а после смешения с продуктами сгорания в конце камеры сгорания снижает температуру газов до величины, обусловленной жаростойкостью лопаток и дисков газовой турбины 2. После прохождения газовой турбины продукты сгорания выбрасываются в атмосферу.

Мощность, развиваемая газовой турбиной, идет на привод осевого компрессора (большая её часть, примерно 60-70%) и на привод полезной нагрузки (насосы, вентиляторы, нагнетатели и т.д.) С точки зрения основных показателей ГТУ на номинальной нагрузке схемы 1 и 2 ничем между собой не отличаются, но схема 2 широко используется для стабилизации показателей ГТУ в условиях переменной нагрузки, когда тяговая газовая турбина работает с переменным числом оборотов при различных уровнях мощности полезной нагрузки.

Графически рабочий процесс ГТУ простейшей схемы показан на следующих диаграммах

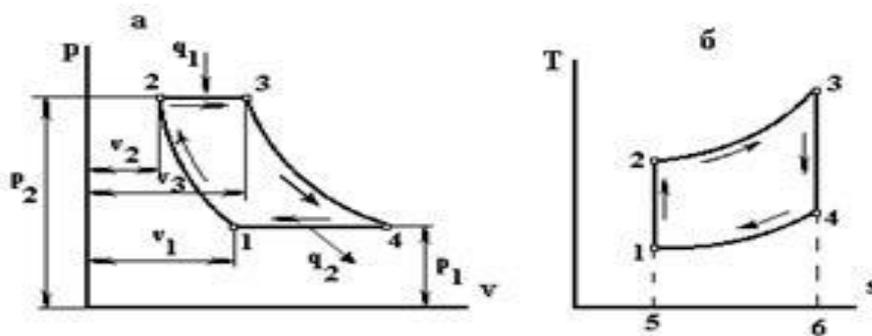


Рисунок 1. Процессы, происходящие в ГТУ

Диаграмма P-V

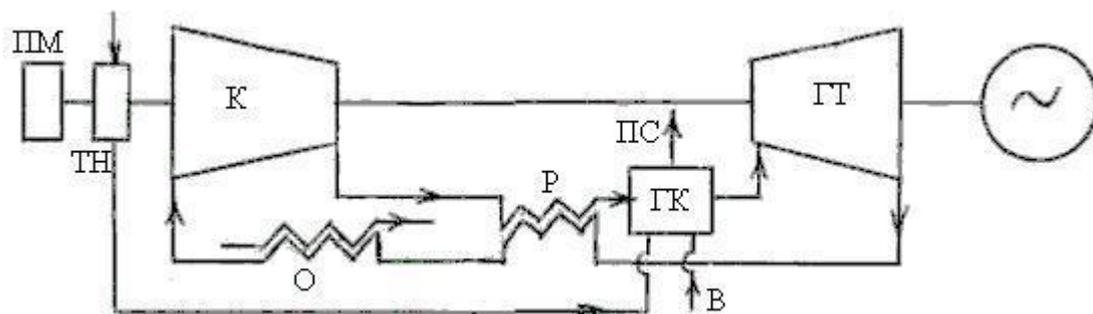
Атмосферный воздух после системы фильтров проходит осевой компрессор, и линия 1-2 показывает рост давления рабочего тела с одновременным уменьшением его удельного объема. В камере сгорания процесс сжигания топлива протекает практически при постоянном давлении, и за счет роста температуры увеличивается удельный объем рабочего тела (линия 2-3). Продукты сгорания расширяются в газовой турбине, при этом происходит снижение давления рабочего тела и увеличение его удельного объема (линия 3-4). Линия 4-1 условно изображает замещение отработавших газов новой порцией рабочего тела. Площадь, заключённая внутри фигуры 1-2-3-4-1 и полученная как разность работы турбины и работы компрессора, характеризует полезную работу газотурбинной установки, отдаваемую внешнему потребителю (нагнетателю).

Диаграмма T-S

В этом случае полезная работа ГТУ определяется как разность отрезков 3-4 и 1-2. В обоих случаях цикл ГТУ рассматривается как цикл идеальный (обратимый).

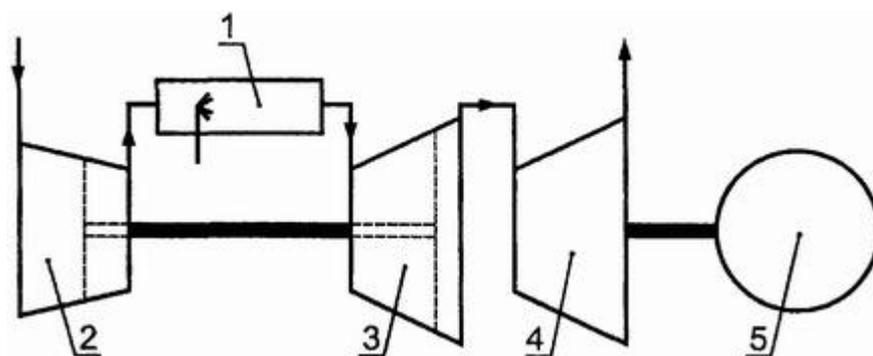
В ГТУ закрытого цикла в системе, находящейся под относительно высоким давлением, постоянно циркулирует одно и то же количество рабочего тела. Поэтому в замкнутых циклах подвод и отвод тепла к рабочему телу осуществляется через теплопередающую поверхность, и рабочее тело не смешивается с продуктами сгорания топлива и окружающим воздухом.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
------	------	----------	---------	-----



На схеме: В — подвод воздуха, ПС — отвод продуктов сгорания. Кроме известных уже элементов в схему включен регенератор — Р и охладитель воздуха — О. Регенератор — теплообменный аппарат, служащий для подогрева рабочего газа, идущего в газовый котел, теплом, содержащимся в отработавшем газовом потоке, идущем из турбины. Охладитель воздуха перед компрессором обеспечивает отвод тепла в окружающую среду в соответствии со вторым законом термодинамики.

ГТУ полузакрытого типа являются установками промежуточной схемы между ГТУ открытого и закрытого циклов.



Где 1-камера сгорания, 2- осевой компрессор, 3-газовая турбина высокого давления, 4- газовая турбина низкого давления (силовая турбина), 5-нагнетатель.

Наибольший практический интерес для газовой и нефтяной промышленности представляют ГТУ открытого цикла, как наиболее простые и надежные в конструктивном отношении. Установки именно этих схем и получили наибольшее распространение в промышленности.

2.4 Осевой компрессор ГТУ. Общие сведения.

Компрессор – устройство, предназначенное для непрерывного сжатия рабочего тела до требуемого уровня степени повышения давления за счет подвода механической энергии к потоку рабочего тела.

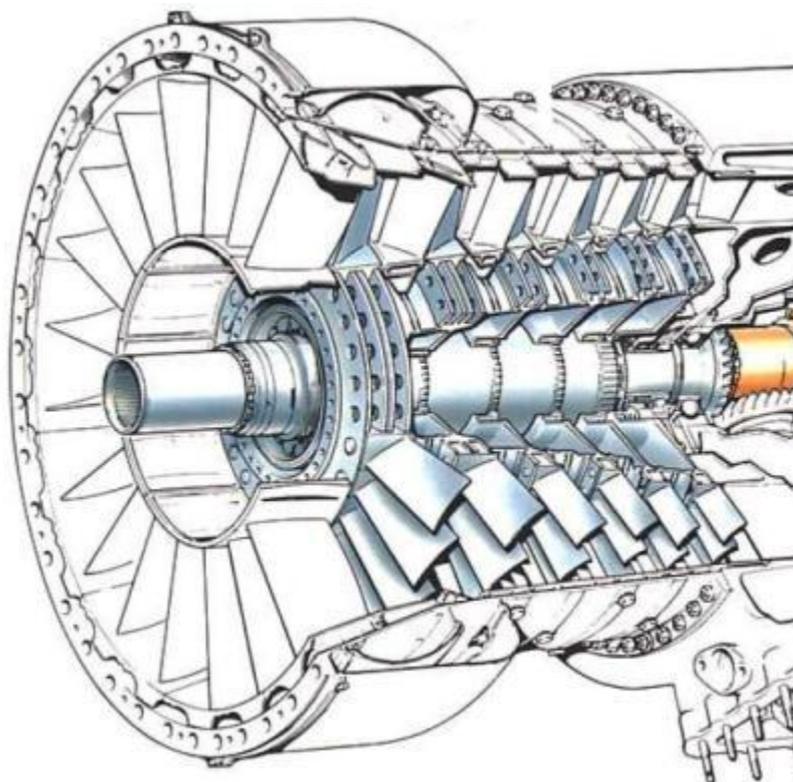


Рис 1. Внешний вид осевого многоступенчатого компрессора ГТУ

Компрессор обычно является частью ГТУ или ГТД и к нему предъявляются те же требования, что и к двигателю в целом. В частности, компрессор должен быть легким, прочным, надежным, ремонтпригодным, технологичным, дешевым, удобным в эксплуатации, иметь высокий КПД, минимальные габаритные размеры и длительный ресурс. Кроме общих требований можно выделить ряд специфических требований, присущих только компрессорам: обеспечение заданного расхода рабочего тела; обеспечение заданной степени повышения давления; благоприятное протекание характеристик – сохранение высоких значений КПД и обеспечение устойчивой работы (т.е. без помпажа и пульсаций) в широком диапазоне частот вращения ротора. Принцип действия компрессора основан на взаимодействии с потоком лопаток специальной формы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ

Лист

23

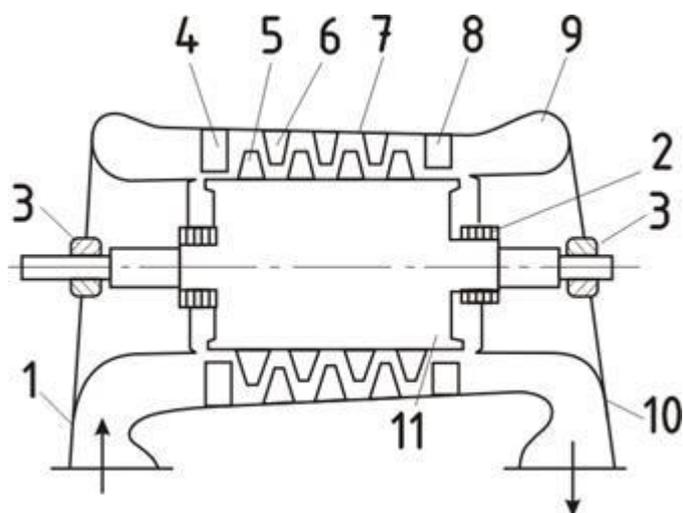


Схема 3. Конструктивная схема осевого компрессора ГТУ.

На схеме: 1- входной патрубок, 2- вал компрессора с системой уплотнений; 3-подшипник; 4,6,8- направляющий аппарат, 5- рабочее колесо; 7-корпус, 9-конфузор, 10- диффузор и выход воздуха из осевого компрессора, 11- барабан устойчивости на высоких оборотах.

Осевой компрессор состоит из ряда так называемых ступеней, количество которых может варьироваться в зависимости от величины требуемой степени повышения давления, а также от назначения: от одной-двух до 15 и больше.

Ступень в свою очередь состоит из двух рядов лопаток специального профиля. Первый ряд представляет собой рабочее колесо, что расположено на одной оси с турбиной и ею же приводится во вращение. Таким образом, эти лопатки являются подвижными. Второй ряд- это так называемый направляющий аппарат (НА). Лопатки направляющего аппарата неподвижны и соединяются с корпусом компрессора.

Воздух, что проходит по тракту осевого компрессора, участвует в сложном движении. Это в первую очередь абсолютное движение массы воздуха по тракту, также движение его относительно лопаток и движение, придаваемое массам воздуха вращающимся рабочим колесом.

Повышение давления в осевом компрессора имеет два источника и каждый из венцов лопаток участвует в данном процессе.

Лопатки рабочего колеса спрофилированы и расположены таким образом, дабы промежутки между ними имели вид расширяющихся каналов (диффузор). Как следствие является торможение воздушного потока в этих каналах с дальнейшим повышением статического давления. Но при этом те же лопатки захватывают воздушные массы и, закручивая их в направлении вращения ротора, отбрасывают дальше по тракту компрессора, увеличивая их скорость, а таким образом и кинетическую энергию.

Данную энергию можно преобразовать в потенциальную (поднимая статическое давление воздуха за счет уменьшения динамического) пропуская воздушный поток через диффузор.

В этом случае роль диффузора играют лопатки направляющего аппарата. Они также формируют между собой расширяющиеся каналы, в которых воздух впоследствии тормозится с повышением давления. Кроме того направляющий аппарат разворачивает поток таким образом, дабы сформировался необходимый угол его вхождения в следующую ступень.

2.5 Лопасть осевого компрессора.

В общем случае она состоит из пера и замка. Лопатки могут выполняться заодно с диском. В этом случае замок отсутствует. В ряде случаев лопатки могут иметь бандажные полки, расположенные на периферии лопатки или в верхней ее части.

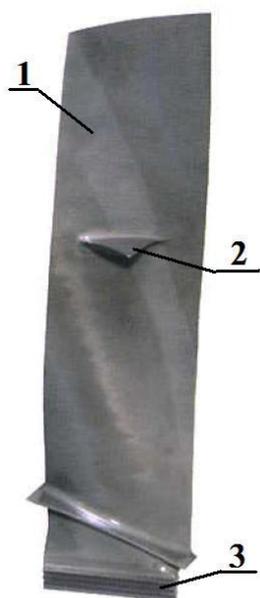


Рис. 2. 1- перо лопатки, 2- бандажная полка, 3- замок

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		25

Совокупность лопаток, установленных на ободе диска или кольце корпуса, называется лопаточным венцом (ЛВ). Лопатки, соединенные с диском, связанным с приводным валом, и вращающиеся вместе с ним, образуют подвижный венец и называются рабочим колесом (РК).

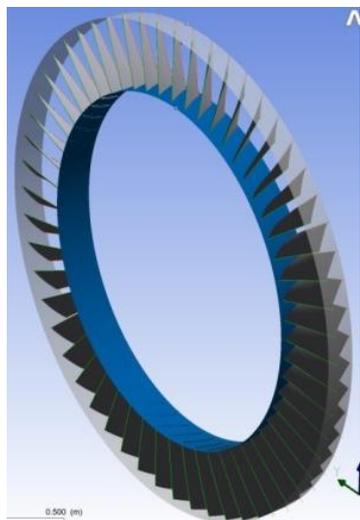
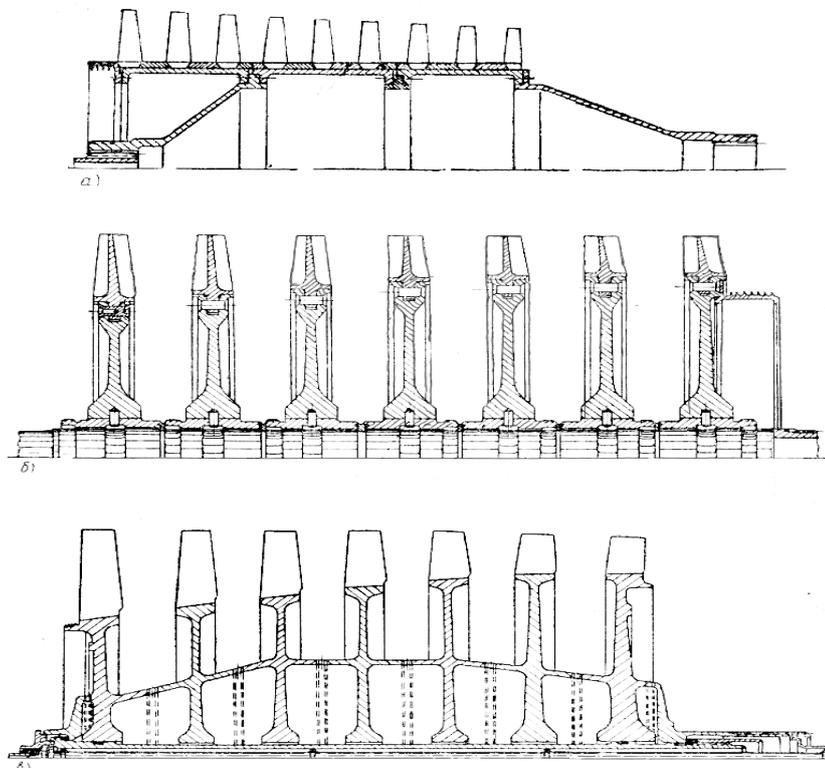


Рис. 3. Полный венец РК

За ним организуется выходная система, предназначенная для дальнейшего повышения давления и выпуска рабочего тела из компрессора под требуемым углом. В осевых компрессорах в ее качестве используется неподвижный лопаточный венец, называемый направляющим аппаратом (НА). В центробежных компрессорах (ЦБК) функции выходного устройства может выполнять либо лопаточный НА, либо радиальная щель, называемая щелевым диффузором. Достоинством последней является способность тормозить сверхзвуковой поток с малыми потерями. Для повышения КПД компрессора и уменьшения его радиальных размеров выходная система ЦБК часто представляет собой комбинацию последовательно расположенных щелевого и лопаточного НА. Последовательно расположенное рабочее колесо и направляющий аппарат образуют ступень компрессора. Стоит обратить внимание, что в ступени компрессора вначале устанавливается именно рабочее колесо, а НА расположен ниже по потоку. Однако в ряде случаев перед РК может быть установлен входной направляющий аппарат (ВНА). Лопатка имеет две стороны. Выпуклая сторона называется спинкой, а вогнутая корытцем. При анализе течения в ЛМ часто используется

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ				

цилиндрическое или коническое сечение радиусом бесконечно малой толщины, ось которого совпадает с осью вращения машины. Полученное сечение разворачивают в плоскость, получая элементарный лопаточный венец.



Схемы роторов осевого компрессора

2.6 Виды лопаток турбинных

Направляющие турбинные лопатки закреплены на корпусе турбины. Данные элементы частично преобразуют энергию потока, благодаря чему вращение колес получает тангенциальное усилие. В турбине разница энтальпий должна быть понижена. Это достигается путем уменьшения числа ступеней

Рабочие лопатки турбинные находятся на вращающихся валах. Детали передают механическую полезную мощность на присоединенную рабочую машину (часто это генератор). Давление на рабочих лопатках остается постоянным благодаря тому, что направляющие лопатки всю разность энтальпий преобразуют в энергию потока.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ

Лист

27

2.7 Виды лопаточных замков

Замки предназначены для крепления и точной установки лопаток на диске или барабане ротора. Замок должен обеспечить передачу усилий от лопатки к ротору, легкую сборку и простую замену лопатки при её повреждении.

Замок лопатки должен иметь такую конструкцию, чтобы в лопатке и диске не возникали значительные концентрации напряжений. Масса замка должна быть минимальной, т.к. основной нагрузкой, действующей на ротор компрессора, является центробежная сила. Снижение массы лопатки на 1% позволяет уменьшить массу компрессора, отнесённую к массе одной лопатки, на 4 – 5%.

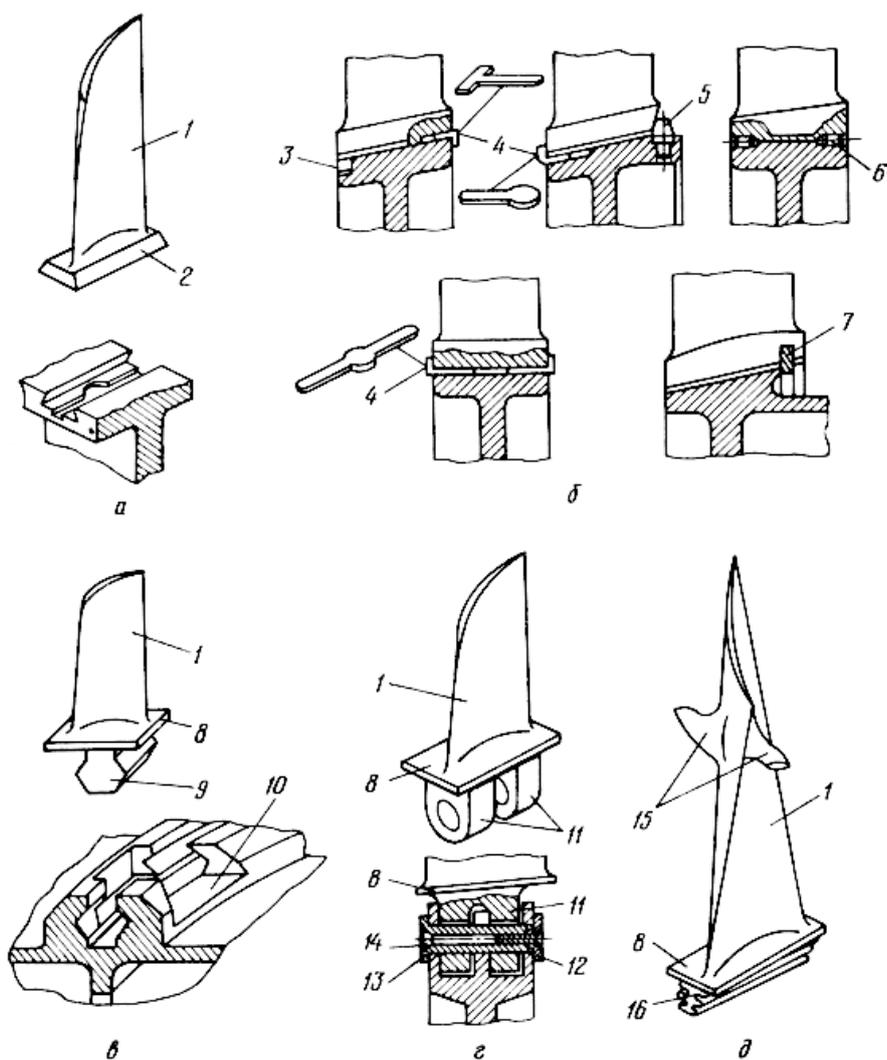


Рис.5 Рабочие лопатки осевого компрессора

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат

КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ

Лист

28

Для крепления лопаток компрессора часто используется замок типа “ласточкин хвост” (Рис.3.14,а), хвостовик которого устанавливается в продольные трапециевидные пазы обода диска. Усилия передаются через боковые грани равнобочной трапеции. Хвостовик лопатки устанавливается в паз с нулевым натягом. От сдвига вдоль паза замка лопатки удерживаются фиксаторами, в качестве которых могут использоваться винты, осевые и радиальные штифты 5,6, пластинчатые отгибные стопоры 4 и разрезные пружинные кольца 7.

Сравнительно редко и только для стальных лопаток и дисков применяются замки типа “ёлочка”. Елочные замки для крепления лопаток применяют с целью размещения большего числа лопаток в колесе. Обычно это замки с более крупными зубьями по сравнению с замками турбинных лопаток и содержат меньшее число пар зубьев.

Для барабанных роторов хвостовики трапециевидного профиля 9 вводятся в кольцевые пазы через монтажные окна 10. После установки всех лопаток в монтажное окно, имеющее трапециевидный профиль, устанавливают замыкающую лопатку с продольным хвостовиком типа “ласточкин хвост”, которую фиксируют в осевом направлении каким-либо способом.

Для крепления лопаток первых ступеней компрессора часто применяется шарнирное крепление лопаток хвостовиком типа “проушина” (рис.3.14,г). Проушины такого хвостовика устанавливают в два кольцевых паза обода диска между тремя его ребрами и фиксируют запрессованным в реборды пальцем 13, который в свою очередь крепят к ободу стопорной шайбой 12 и заклёпкой 14. Посадку проушин на палец выполняют с зазором, поэтому лопатка имеет возможность свободного поворота вокруг оси пальца в пределах небольшого угла, ограниченного полкой хвостовика 8 и ребрами. Благодаря этому, на оси шарнира обеспечивается почти полная компенсация изгиба от газодинамических сил моментами от центробежных сил масс лопатки.

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		29

Этот замок применяют для крепления лопаток также с целью отстройки от резонансов низших форм колебаний. Изменением зазоров в соединении обеспечивается отстройка от маятниковой формы колебаний. Посадка пальца в диск осуществляется с зазором, в хвостовике лопатки — с натягом или зазором в зависимости от требований отстройки.

Для повышения сопротивления усталости шарнирных замков используют упрочнение отверстий раскатыванием, которое повышает их предел выносливости примерно на 15%. Введение финишной операции — раскатывания отверстий — обеспечивает в поверхностном слое стабильные сжимающие остаточные напряжения, уменьшает шероховатость поверхности и увеличивает микротвердость на 20—30%.

Наблюдаются случаи разрушения шарнирных замков от контактной коррозии. Для уменьшения склонности к контактной коррозии изменяют посадку хвостовика лопатки в диске и осевом направлении (ужесточают посадку), вводят покрытие хвостовика и реборд диска серебром, усиливают хвостовик лопатки и реборды диска.

При относительно низких температурах на первых ступенях лопатки можно изготавливать из алюминиевых сплавов ВД17 и АК4-1. Однако эти сплавы имеют низкую эрозионную стойкость. Поэтому лопатки первых ступеней, подверженных воздействию посторонних предметов, часто изготавливают из стали.

При температурах до 450-500⁰С для рабочих лопаток применяют титановые сплавы ВТ8, ВТ10 и хромоникелевые стали. Лопатки последних ступеней высоконапорных компрессоров, подверженные нагреву до 600⁰С, изготавливают из жаропрочных сплавов на никелевой основе.

Для защиты от коррозии на поверхность лопаток наносят диффузионные или плазменные покрытия, алюминиевые лопатки анодируют.

2.8 Требования к лопастям осевого компрессора.

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		30

Рабочие лопатки осевого компрессора являются наиболее ответственным типом деталей, от конструктивного совершенства, прочности и долговечности которых зависит надежность и ресурс ГТУ.

Рабочие лопатки должны обладать:

- высокой прочностью, так как на них действуют значительные центробежные и газодинамические силы и моменты, вызывающие напряжения растяжения, кручения и изгиба;
- низким уровнем вибраций, что необходимо для предотвращения опасных резонансных колебаний лопаток на рабочих режимах двигателя;
- высокой точностью изготовления и низкой шероховатостью поверхностей для уменьшения аэродинамических потерь;
- технологичностью изготовления, необходимой при массовом производстве.

2.9 Изготовление лопаток газотурбинной установки

Турбинные лопатки изготавливают методом литья по выплавляемым моделям. Сначала делают восковую модель будущей лопатки, отливая ее в пресс-форме. Модель покрывают жидкой керамической массой. После ее высыхания воск вытапливают горячей водой, а керамическую массу обжигают. Получается форма, выдерживающая температуру расплавленного металла от 1450 до 1500 °С в зависимости от марки сплава. В форму заливают металл, который застывает в виде готовой лопатки.

При изготовлении лопаток должна быть обеспечена высокая чистота обработки поверхности как для снижения потерь на трение при обтекании воздухом, так и увеличения усталостной прочности лопатки, что предъявляет высокие требования к технологии производства. В настоящее время, наряду с технологией точного литья по выплавляемым моделям, всё чаще применяется метод электрохимического фрезерования, обеспечивающий точность изготовления и высокое качество поверхности.

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		31

Характерные дефекты, ведущие к снижению характеристик ГТУ

Большинство дефектов рабочих лопаток компрессоров связано с попаданием в воздушный тракт двигателя посторонних предметов, повышенным возбуждением переменными нагрузками или недостаточным сопротивлением усталости лопаток. Наиболее часто встречаемые дефекты — поломки и трещины в местах наибольших напряжений по основному тону или по высокочастотным формам колебаний и износы по стыкам замков бандажных полок.

Эрозия.

Обычно эрозия лопаток компрессора связана с воздействием частиц диаметром более 5 мкм, поступающих с всасываемым воздухом. Такие частицы оказывают абразивное воздействие на покрытие и основу лопаток, ухудшают их аэродинамику и снижают эффективность работы компрессора.

В результате воздействия частиц изменяется форма лопаток и направляющего аппарата с последующим увеличением шероховатости их поверхностей и изменением профиля потока воздуха.

Загрязнение.

Частицы диаметром менее 5 мкм, поступающие с всасываемым воздухом, вызывают загрязнение компрессора. Эти мелкие и очень мелкие частицы различного происхождения (несгоревшие углеводороды, частицы соли в воздухе, отработанные газы, иногда поступающие из выхлопного тракта самой газовой турбины, песок и т.д.) вместе с частицами воды являются источниками загрязнения. Они могут вызывать изменение формы передней кромки лопаток, шероховатости поверхностей лопаток и направляющего аппарата, в результате чего поток воздуха приобретает турбулентные характеристики.

Кроме того, налет постепенно наслаивается, в результате чего уменьшается объем проходящего воздуха. Водяной туман, влага и пары нефтепродуктов воздействуют как клеящее вещество, и налет «прилипает» к поверхности лопаток компрессора. При повышении температуры на

						Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	

последних ступенях компрессора отложения образуют довольно толстый слой. В зависимости от количества соли и других агрессивных загрязняющих веществ во всасываемом воздухе, происходит взаимодействие с влагой в атмосфере и усиливаются процессы коррозии.

Отложения черного цвета на первых ступенях компрессора являются основным признаком загрязнения. Для удаления налета и уменьшения потерь мощности установки оператор использует процедуру промывки (с отключением или без отключения оборудования).

Обычно отложения на лопатках первых ступеней компрессора удаляются вручную, чтобы избежать попадания загрязнений на последующие ступени. Но даже если лопатки начальных ступеней были очищены вручную, грязь с других ступеней может оседать на лопатках и направляющем аппарате следующих ступеней с образованием толстого слоя налета. Налет включает в себя частицы всех загрязняющих веществ, которые могут проникнуть через систему фильтрации воздуха.

2.10 Центробежная сила.

Лопатки подвергаются действию центробежной силы собственной массы и массы бандажа, а также давлению газа, протекающего через лопаточные каналы.

Перо лопатки осевых турбин и компрессоров на стадии проектирования должно быть рассчитано на растяжение центробежной силой и на изгиб силами давления газа. В данной работе рассматривается лишь аспект воздействия центробежной силы. Если центры тяжести всех сечений лопатки не лежат на прямой, проходящей через ось вращения, то необходимо определить возникающие в этом случае напряжения изгиба от центробежных сил. Напряжениями кручения, которые могут возникнуть в лопатке, обычно пренебрегают.

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		33

Центробежная сила- это сила, с которой движущаяся материальная точка действует на тело (связь), стесняющее свободу движения данной точки и вынуждающее её двигаться криволинейно. Центробежная сила и центростремительная сила численно равны друг другу и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны, но приложены к разным телам, как силы действия и противодействия.

По определению, центробежной силой называется сила инерции (то есть в общем случае — часть полной силы инерции) в неинерциальной системе отсчета, не зависящая от скорости движения материальной точки в этой системе отсчета, а также не зависящая от ускорений (линейных или угловых) самой этой системы отсчета относительно инерциальной системы отсчета.

Центробежную силу профильной части лопатки с постоянным по высоте профилем определяют по формуле:

$$C_p = \rho f l r \omega^2$$

Где ρ - плотность материала лопатки;

f - площадь поперечного сечения лопатки;

l - длина лопатки;

r - средний радиус облопачивания, на котором лежит центр тяжести лопатки;

ω - угловая скорость вращения.

Напряжение растяжения достигает максимума в корневом сечении лопатки. Из формулы видно, что величина центробежной силы зависит от плотности материала, из которого она изготовлена.

2.13 Напряженно- деформированное состояние.

Теория НДС ставит своей задачей определение внутренних напряжений, деформаций и перемещений в различных точках деформируемого твёрдого тела произвольной формы и размеров.

В нагруженном теле в каждой точке сечения в общем случае возникают нормальные напряжения σ , направленные перпендикулярно к сечению, и

					КТПМ-14/02.00.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат		34

касательные τ , лежащие в плоскости сечения. Как известно, через точку можно провести бесконечное количество плоскостей и в этой точке будут напряжения σ и τ , перпендикулярные и лежащие в этих плоскостях. Таким образом, напряженное состояние в точке можно представить совокупностью всех σ и τ , возникающих в ней. Для характеристики напряженного состояния в точке достаточно знать значения нормальных и касательных напряжений на трех взаимно перпендикулярных площадках (будет доказано позднее). Их удобнее представить в виде параллелепипеда с бесконечно малыми гранями. Поскольку расстояние между гранями бесконечно мало, то можно считать, что на противоположных гранях параллелепипеда возникают одинаковые по величине напряжения, но направленные противоположно.

Напряженным состоянием тела в точке называют совокупность нормальных и касательных напряжений, действующих по трем взаимно перпендикулярным площадкам (сечениям), содержащим данную точку.

2.11 Методы исследования

Предметы окружающей человека действительности представляют собой системы с множеством элементов, их свойств, связей и отношений. Познание мира во всей совокупности его связей и отношений, в процессе его изменения и развития представляет основную задачу научного познания. Первоначально у человека складывается общая картина изучаемого предмета с весьма бедным представлением о его внутренней структуре, составляющих его элементах и связях между ними, знание которых является необходимой предпосылкой раскрытия сущности предмета. Поэтому последующее изучение предмета связано с конкретизацией общего представления о нём.

Познание постепенно раскрывает внутренние существенные признаки предмета, связи его элементов и их взаимодействие друг другом. Для того, чтобы осуществить эти шаги, необходимо целостный предмет разделить (мысленно или практически) на составляющие части, а затем изучить их, выделяя свойства и признаки, прослеживая связи и отношения, а также

выявляя их роль в системе целого. После того, как эта познавательная задача решена, части можно объединить в единый предмет и составить уже конкретно-общее представление, то есть такое представление, которое опирается на знание внутренней природы предмета. Эта цель достигается с помощью таких операций, как анализ и синтез.

Анализ и синтез — две универсальные, противоположно направленные операции познавательного мышления:

- Анализ — это приём мышления, который подразумевает разъединение целостного предмета на составляющие части (стороны, признаки, свойства или отношения) с целью их всестороннего изучения.
- Синтез — это приём мышления, который подразумевает соединение ранее выделенных частей (сторон, признаков, свойств или отношений) предмета в единое целое.

Различают четыре разновидности анализа и синтеза:

- Природный анализ — разъединение предметов на части, и природный синтез — объединение этих частей в новые предметы, в соответствии с возможностями, существующими в природе.
- Практический анализ — разъединение предметов на компоненты, и практический синтез — объединение их в целостности, в соответствии с возможностями практики, которые в природе никогда не реализовались бы.
- Мысленный анализ — отделение от предметов того, что ни в природе, ни на практике неотделимо, и мысленный синтез — соединение того, что в соответствии с законами природы соединить невозможно.
- Метаанализ и метасинтез — то есть анализ и синтез знаний о мире, в отличие от анализа и синтеза объективно существующих предметов.

Объективной предпосылкой этих познавательных операций является структурность материальных объектов, способность их элементов к перегруппировке, объединению и разъединению. Анализ и синтез являются наиболее элементарными и простыми приёмами познания, которые лежат в основе человеческого мышления, вместе с тем они являются и наиболее

универсальными приёмами, характерными для всех его уровней и форм. Иногда они рассматриваются в качестве автономных процессов познавательного мышления, хотя в целом считается, что анализ и синтез не противостоят друг другу, но существуют в единых формах мыслительной активности.

В научном исследовании они используются как на эмпирическом уровне при изучении внешних признаков и свойств, так и на теоретическом — при выяснении сущности явлений.

Эти методы научного познания нашли широкое применение в данной работе.

2.12 Метод конечных элементов

Метод конечных элементов- это численная процедура решения задач, сформулированных в виде дифференциального уравнения или вариационного принципа. В действительности данный термит определяет собой широкий спектр вычислительных технологий в соответствии с некоторыми общими свойствами. Сам процесс анализа включает определённую последовательность шагов.

- 1) Дискретизация области. Это есть процесс построения сетки, а также задания свойств элементов (к примеру, материала). Область, на которой решается задача, покрывается пересекающимися подобластями простого типа, которые и называются конечными элементами. Получившееся множество данных элементов называется конечно- элементной сеткой. Её вершины называются узлами. Они предназначены для описания геометрии элемента и для задания компонент решения. Узлы могут быть внутренними и внешними. Компоненты решения в узле называются степенями свободы. В зависимости от задач их число в узле различно.
- 2) Выбор базисных функций. Чаще всего данные функции выбираются в виде полиномов. Базисные функции могут иметь различный порядок: линейный, квадратичный и т.д.

- 3) Формирование СЛАУ с учётом вкладов от элементов и узлов, введение граничных условий в систему уравнений.
- 4) Решение системы уравнений.
- 5) Определение расчетных величин в элементах. Таковыми обычно являются производные от неизвестной функции (деформации, напряжения, тепловые потоки, скорости).

Точное решение дифференциального уравнения при подстановке в это дифференциальное уравнение обращает его в тождество в каждой точке. Решение МКЭ предполагает, что приближенное решение будет удовлетворять дифференциальному уравнению в узлах сетки.

2.11 Используемые пакеты прикладных программ

Для создания графического материала была использована программа КОМПАС-3D.

КОМПАС-3D — система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования.

Ключевой особенностью продукта является использование собственного математического ядра С3D и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.

КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет организовывать эффективный обмен данными со смежными организациями и заказчиками, использующими любые CAD / CAM / CAE-системы в работе.

Для создания 3D-модели лопатки осевого компрессора была использована программа SolidWorks.

Система автоматизированного проектирования SolidWorks (SolidWorks Corp., США) создана для использования на персональном компьютере в операционной среде Microsoft Windows. В SolidWorks используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет конструктору создавать объемные детали и компоновать сборки в виде трехмерных электронных моделей, по которым создаются двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с требованиями ЕСКД.

Опциональные модули SolidWorks позволяют расширить базовые возможности дополнительными функциями по:

- созданию фотореалистичных изображений (PhotoWorks);
- распознаванию дерева построения и параметризации геометрии импортированной из других CAD систем (FeatureWorks);
- созданию презентационных видеороликов изделий в среде SolidWorks (SolidWorks Animator);
- трехмерной обводке кабелей электрических систем и трубопроводов (SolidWorks Routing);
- созданию автономно просматриваемых чертежей и моделей, для обмена информацией с партнерами не имеющими SolidWorks (eDrawings) и т.д.

SolidWorks включает в себя большое количество трансляторов, как нейтральных: IGES (*.iges); ACIS (*.sat); STL (*.stl); STEP (*.step, .stp); VDAFS (*.vda); VRML (*.wrl); Parasolid (*.x_t, *.x_b, *.xmt_txt, *.xmt_bin), так для прямого импорта данных из популярных CAD-систем: AutoCad (*.dxf, *.dwg) и д.р.

3. Расчеты и аналитика

4. Результаты проведенного исследования

Примененная методика расчета доказывает, что целесообразно использовать лопатки из предложенных материалов для эксплуатации газотурбинной установки.

Предложенные варианты исполнения уменьшают стоимость и упрощают технологию изготовления лопаток крыльчатки.

Результатом моделирования является 3-D модель лопатки осевого компрессора до и после приложения к ней нагрузки от центробежных сил, также приведены модели деформаций и перемещений, вызванных данными нагрузками.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 SWOT-анализ

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (табл. 1).

Таблица 1

Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1. Наличие бюджетного финансирования;</p> <p>C2. Отсутствие необходимости закупки материалов и комплектующих;</p> <p>C3. Использование программного комплекса SolidWorks;</p> <p>C4. Определение возможных опасных проявлений при работе лопасти до ее производства;</p> <p>C5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Использование некоторых упрощений при осуществлении моделирования;</p> <p>Сл2. Оценка влияния только аэродинамических сил на лопасть без учета центробежных сил;</p> <p>Сл3. Отсутствие возможности проверки результатов исследования с помощью практических опытов;</p> <p>Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с результатами исследования;</p> <p>Сл5. Возможные ошибки в расчетной части программного комплекса.</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1. Использование</p>		

<p>инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем газотурбинных установок;</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на исследование;</p> <p>В4. Получение гранта для дальнейших исследований;</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных исследований.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на данные исследования;</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий;</p> <p>У3. Снижение бюджета на исследование;</p> <p>У4. Неточность расчетов в ходе моделирования.</p>		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 2, табл. 3, табл. 4, табл. 5.

Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	B1	0	-	-	0	+
	B2	-	-	0	+	+
	B3	-	-	+	0	0
	B4	-	-	0	+	+
	B5	-	+	+	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C5, B2C4C5, B3C3, B4C4C5, B5C2C3.

Таблица 3

Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	0	-	-	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	+	0	-	-
	B4	-	-	+	-	-
	B5	-	-	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: B3Сл2, B4Сл3.

Таблица 4

Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	+
	У3	-	+	+	-	-

	У4	-	-	+	-	-
--	----	---	---	---	---	---

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2С5, У3С2С3, У4С3.

Таблица 5

Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	+	0	-	-	+
	У3	+	-	-	-	0
	У4	+	+	+	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1Сл2Сл3Сл5, У2Сл1Сл2Сл5, У3Сл1Сл2Сл3Сл5, У4Сл1Сл2Сл3Сл5.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (табл. 6).

Таблица 6

SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Наличие бюджетного финансирования;</p> <p>С2. Отсутствие необходимости закупки материалов и комплектующих;</p> <p>С3. Использование программного комплекса SolidWorks;</p> <p>С4. Определение возможных опасных</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Использование некоторых упрощений при осуществлении моделирования;</p> <p>Сл2. Оценка влияния только аэродинамических сил на лопасть без учета центробежных сил;</p> <p>Сл3. Отсутствие возможности проверки результатов исследования с</p>
--	---	---

	<p>проявлений при работе лопасти до ее производства;</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>помощью практических опытов;</p> <p>Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с результатами исследования;</p> <p>Сл5. Возможные ошибки в расчетной части программного комплекса.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем газотурбинных установок;</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на исследуемый продукт;</p> <p>В4. Получение гранта для дальнейших исследований;</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных исследований.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>В1С5 – для исследования проекта необходимы лаборатории ТПУ, допуск к которым имеет квалифицированный персонал;</p> <p>В2С4С5 – исследования, проводимые для определения напряжений в лопастях, должны быть интересны для предприятия с целью развития более совершенной продукции;</p> <p>квалифицированный персонал является гарантом качества выполняемых работ;</p> <p>В3С3 – появление дополнительного спроса к исследованию вследствие</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>В3Сл2 – возможно появление дополнительного спроса на исследование в случае практического подтверждения полученных результатов;</p> <p>В4Сл3 – в случае решения актуальных задач возможно получение гранта для дальнейшего развития проекта.</p>

	<p>моделирования процессов в CAD/CAM системе SolidWorks;</p> <p>B4C4C5 – получение гранта связано с актуальностью решаемой проблемы при участии квалифицированного персонала;</p> <p>B5C2C3 – удорожание проектов конкурентов, вследствие того, что нам не надо производить закупки материалов, т.к. проводим исследования в CAD/CAM системе SolidWorks.</p>	
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на данные исследования;</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий;</p> <p>У3. Снижение бюджета на исследование;</p> <p>У4. Неточность расчетов в ходе моделирования.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>У2C5 – возможно развитие конкурентных разработок, если при их создании участвует квалифицированный персонал;</p> <p>У3C2C3 – возможно урезание бюджета, т.к. в основном смета затрат состоит из начисления зарплаты ввиду отсутствия необходимости закупки оборудования и материалов для исследования;</p> <p>У4C3 – существует</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>У1Сл1Сл2Сл3Сл5 – возможно отсутствие спроса на данное исследование вследствие: применения некоторых упрощений при моделировании, учета только одного вида нагрузки, наличия некоторых погрешностей при отсутствии возможности проверки результатов;</p> <p>У2Сл1Сл5 – возможно развитие конкурентных исследований вследствие</p>

	<p>вероятность появления погрешностей в расчетах, т.к. при исследовании используется не практические испытания, а моделирование процессов в CAD/CAM системе SolidWorks.</p>	<p>осуществления более точных расчетов при минимальных упрощениях в проекте; УЗСл1 – есть вероятность урезания финансирования в случае проведения не полного исследования с использованием упрощений; У4Сл1Сл2Сл3Сл5 – на неточность результатов исследования напрямую влияют вводимые упрощения, учет не полного спектра факторов при работе лопасти; наличие программных ошибок в сочетании с отсутствием практических опытов могут допустить наличие неточных расчетов при исследовании.</p>
--	---	---

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, дипломник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск необходимых параметров для построения модели и проведения процесса симуляции	Дипломник
	6	Построение модели лопатки осевого компрессора и проведение исследования	Дипломник

Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, дипломник
Оформления отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, дипломник

5.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5},$$

где $t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{макси}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (x)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.4 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (x)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (x)$$

где $T_{кал} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в табл. 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнител и	Длительност ь работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительност ь работ в календарны х днях, T_{ki}
	t_{min} , чел- дни	t_{max} , чел- дни	$t_{ож}$, чел- дни			
	Исп . 1	Исп . 1	Исп . 1			
Составление и утверждение технического задания	1	4	2,2	Руков.	3	5
Выбор направления исследования	6	9	7,2	Руков.	7	11
Подбор и изучение литературы по теме	10	14	11,6	Дипл.	12	18
Календарное планирование работ по теме	2	4	2,8	Руков. дипл.	2	3

1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2,2	0,93	2,05
2	Выбор направления исследования	Руководитель	7,2	0,93	6,70
3	Подбор и изучение литературы по теме	Дипломник	11,6	0,23	2,67
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, дипломник	2,8	1,16	3,25
5	Поиск необходимых параметров для построения модели и проведения процесса симуляции	Дипломник	9,8	0,23	2,25
6	Построение модели лопатки осевого компрессора и проведение исследования	Дипломник	14,4	0,23	3,31

7	Оценка результатов исследования	Руководитель, дипломник	7,8	1,16	9,05
8	Составление пояснительной записки	Руководитель, дипломник	9,8	1,16	11,37
Итого					40,65

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{ЗП}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (\text{x})$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}}, \quad (\text{x})$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (\text{x})$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица X – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \quad (x)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от Z_{tc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица X – расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc} , тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель	23,264	0,3	0,3	1,3	48,39	2,53	21	53,13

Дипломник	5,707	0	0	1,3	7,42	0,34	48	16,32
Итого $Z_{\text{осн}}$								69,45

5.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (x)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица X – отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс. руб
	Исп. 1	
Руководитель	53,13	6,38
Дипломник	16,32	1,96
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	

Итого	
Исполнение 1	21,08

5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица X – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	69450	
2. Отчисления во внебюджетные фонды	21080	
3. Накладные расходы	14484,8	16% от суммы 1-2
4. Бюджет затрат НИИ	105014,8	Сумма ст. 1-3

6. Социальная ответственность

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния рабочей лопатки первой ступени осевого компрессора газотурбинной установки, которая используется в качестве привода для газоперекачивающих агрегатов. В связи с этим данный раздел ВКР посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при работе с газотурбинной установкой.

В качестве персонала рассматривается машинист технологических компрессоров.

Рабочим местом машиниста является машинный зал газоперекачивающего агрегата.

В обязанности машиниста входит обслуживание отдельных технологических компрессоров, щитов управления агрегатного уровня. Запуск и остановка газоперекачивающих агрегатов, контроль за работой технологического оборудования, регулирование технологического режима работы газоперекачивающих агрегатов. Выявление и устранение неисправностей в работе газоперекачивающих агрегатов, ремонт компрессоров, их приводов, аппаратов, узлов газовых коммуникаций и вспомогательного оборудования цехов. Ведение ремонтных формуляров.

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

6.1 Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов, вредного воздействия на окружающую среду.

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные факторы производства» можно выделить следующие *вредные факторы* производственной среды на газоперекачивающей станции при работе с газотурбинной установкой:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации.

Непосредственными источниками шума и вибрации являются газотурбинная установка (осевой компрессор и турбина) и газоперекачивающий агрегат. В зависимости от мощности ГТУ частота вращения вала может достигать 7000 об/мин и более, что значительно повышает шум подшипниковых узлов.

Наличие даже минимального дисбаланса в технической системе многократно преумножается в сильные вибрации, которые воздействуют на машинистов, работающих в непосредственной близости от ГТУ.

Также шумы проявляются во всасывающей части осевого компрессора ГТУ, поскольку при его работе скорость потока воздуха достигает скорости звука.

К *опасным факторам* относятся следующие:

- повышенная температура маслосистемы;
- пожароопасность;
- наличие вращающихся механизмов.

Газотурбинная установка – это энергетическая установка, использующая природный газ в качестве топлива. Газ при смешении с воздухом образует взрывоопасную смесь. Утечки газа в машинном зале газотурбинной установки могут достичь высокой концентрации и привести к взрыву и последующему пожару на предприятии.

Воздействие на окружающую среду оказывают выхлопной газ с механическими примесями, возможные разливы смазочно-охлаждающих жидкостей, твердые бытовые отходы, образуемые при ремонтных операциях газотурбинной установки и газоперекачивающего агрегата.

6.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В зависимости от длительного и интенсивного воздействия шума происходит большее или меньшее снижение чувствительности органов слуха, выражающееся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания воздействия шума, а при большой длительности и (или) интенсивности шума происходят необратимые потери слуха (тугоухость), характеризующиеся постоянным изменением порога слышимости.

Повышенный шум влияет на нервную и сердечно-сосудистую системы, репродуктивную функцию человека, вызывает раздражение, нарушение сна, утомление, агрессивность, способствует психическим заболеваниям.

Пагубное воздействие оказывает даже шум, не ощущаемый ухом человека (находящийся за пределами чувствительности его слухового аппарата): инфразвуки, к примеру, вызывают чувство тревоги, боли в ушах и позвоночнике, а при длительном воздействии сказываются на нарушении периферического кровообращения.

Также шум влияет на производительность труда. Увеличение уровня шума на 1-2 дБ приводит к снижению производительности труда на 1%.

По ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» допустимый уровень шума на рабочем месте газоперекачивающего агрегата составляет 80 дБ. Однако при работе газотурбинной установки уровень шума может достигать 120 дБ.

Для снижения вредного воздействия шума на организм человека необходимо применение коллективных и индивидуальных средств защиты.

Согласно ГОСТ 12.1.029-80 «Средства и методы защиты от шума. Классификация» внутреннюю часть стен блока, где находится ГТУ, можно покрыть шумопоглощающей изоляцией. Также возможно применение звукоизолирующего кожуха непосредственно для газотурбинной установки.

В качестве средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.029-80 персонал необходимо снабдить противошумными наушниками, закрывающими ушную раковину снаружи, либо противошумными вкладышами, перекрывающими наружный слуховой проход и прилегающие к нему.

Воздействие вибрации на организм человека может привести к появлению вибрационной болезни, которая проявляется в нарушении работы сердечно-сосудистой и нервной систем, в поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций опорно-двигательного аппарата.

Воздействие локальной вибрации на организм человека приводит к головным болям, тошноте; оказывает воздействие на процесс кровообращения и нервные окончания.

По ГОСТ 26568-85 к коллективным средствам защиты от вибрации относятся активные средства виброзащиты.

К индивидуальным средствам защиты от вибрации относятся специальные вибродемпфирующие перчатки, рукавицы, нагрудники, специальные костюмы, обувь.

6.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

В газотурбинной установке основным рабочим органом является ротор, частота вращения которого достигает 7000 об/мин. На роторе имеются диски с закрепленными на них лопастями (благодаря им происходит необходимая компрессия воздуха). При несвоевременном обслуживании агрегата возможен отрыв поврежденных лопаток, повреждение агрегата и травмирование человека. В качестве средств защиты необходимо использовать защитные экраны, закрывающие непосредственно компрессорную часть ГТУ по ГОСТ 12.2.062-81.

Маслосистема представлена совокупностью трубопроводов, окутывающих ГТУ. Контакт с системой при работающей установке может привести к ожогам различной степени, в зависимости от времени контакта и температуры. В качестве средства защиты необходимо использовать термостойкие перчатки.

Причиной пожара может стать утечка газа, который используется в качестве топлива в ГТУ. В качестве меры профилактики должны использоваться системы контроля загазованности. На компрессорной станции должна предусматриваться система пенного пожаротушения, состоящая из резервуара с водой, насосной станции, сети пенных трубопроводов. Также должен быть противопожарный трубопровод с установленными гидрантами. Обязательно наличие огнетушителей на территории компрессорной станции.

6.4 Охрана окружающей среды

6.4.1 Защита селитебной зоны

При строительстве дожимных компрессорных станций, в которых в качестве привода газоперекачивающих агрегатов используются газотурбинные установки, учитываются нормы санитарно-защитной зоны согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Для снижения неблагоприятного

воздействия на организм человека и на окружающую среду для станции данная зона составляет 500м.

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми газотурбинными установками, размещение станций газоперекачивающих агрегатов осуществляется с учетом господствующего направления ветра, чтобы уменьшить попадание веществ, загрязняющих атмосферный воздух, на селитебную зону.

6.4.2 Воздействие на атмосферу

ГТУ использует в качестве топлива природный газ, который представляет собой смесь продуктов сгорания с избыточным горением. В общем случае продукты сгорания могут содержать:

- продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;
- компоненты неполного сгорания топлива.

Выхлопные газы с продуктами неполного сгорания загрязняют атмосферу. Частицы, содержащиеся в выхлопном газе, наносят вред здоровью человека, попадая в органы дыхания. Для снижения концентрации вредных веществ выхлопных газов необходима более тщательная подготовка топливного газа, для снижения содержания механических примесей.

6.4.3 Воздействие на гидросферу

Возможным воздействием может являться разлив смазочно-охлаждающих жидкостей, а также отработанного масла газотурбинной установки в случае несоблюдения правил замены жидкостей и их транспортировки.

6.4.4 Воздействие на литосферу

Работа ГТУ подразумевает осуществление регулярного технического обслуживания. Замена отработавших материалов и узлов приводит к образованию твердых отходов производства (металлолом, фторопласт, прочий бытовой и технический мусор). Для утилизации бытовых отходов применяются полигоны твердых бытовых отходов.

6.4.5 Решения по обеспечению экологической безопасности

При выполнении работ по наливу, сливу, зачистке транспортных средств и хранилищ следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, разработанные для каждого предприятия с учетом специфики производства.

Работающие с нефтепродуктами должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

При работе с отработанными нефтепродуктами, являющимися легковоспламеняющимися и ядовитыми веществами, необходимо применять индивидуальные средства защиты по типовым отраслевым нормам.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, уменьшения пожарной опасности и улучшения условий труда рекомендуются установки герметичного налива и слива, стационарные шланговые устройства, системы автоматизации процессов сливно-наливных операций.

Режим слива и налива нефтепродуктов, конструкция и условия эксплуатации средств хранения и транспортирования должны удовлетворять требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018-93.

Устройства полигонов твердых бытовых отходов должны организовываться в соответствии с СанПиНом 2.1.7.722-98.

6.5 Защита в чрезвычайных ситуациях

6.5.1 Перечень возможных ЧС на объекте

Возможные ЧС на объекте:

- аварийная остановка при превышении частоты вращения ротора;
- нарушение рабочего режима маслосистемы;
- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;
- обрыв рабочей лопатки и, как следствие, разрушение компрессора;
- пожар при повреждении системы подачи газа.

Наиболее типичной ЧС является обрыв рабочей лопатки осевого компрессора.

6.5.2 Описание превентивных мер по предупреждению ЧС

Так как в процессе моделирования невозможно учесть всех факторов, влияющих на работу лопатки, то при смене её материала могут возникнуть некоторые неполадки, вызванные данными упущениями, которые в дальнейшем могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. А потому рекомендуется провести детальные практические испытания данных образцов лопастей с целью предупреждения подобных эксцессов.

6.5.3 Описание мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС

Одной из причин поломки могут являться центробежные силы, оказывающие влияние на корневое сечение лопатки в области крепления к основанию. Поломка возникает вследствие отрыва лопасти под действием данных сил при недостаточной прочности используемого материала. Поэтому с целью повышения устойчивости объекта к данному виду ЧС следует выбирать материал с повышенным запасом прочности относительно критических напряжений, возникающих в корневом сечении.

В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.

6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Компрессорная станция является объектом повышенной опасности для всего персонала, а также объектом, на котором установлено дорогостоящее оборудование, эксплуатировать которое должны специалисты предприятия, которые прошли обучение и имеют допуск к работе оборудования, транспорта, а также знают, как действовать в случаях аварий, в нестандартных ситуациях.

Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве", который разработан в соответствии с "Положением о Федеральном горном и промышленном

надзоре России" и учитывают требования Федерального закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 N 116-ФЗ, а также других действующих нормативных документов.

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке.

Лица женского пола могут привлекаться к проведению отдельных газоопасных работ, предусмотренных технологическими регламентами и инструкциями и допускаемых законодательством о труде женщин.

К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.

Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда; руководителей и специалистов, лиц, ответственных за безопасную эксплуатацию газового хозяйства и ведение технического надзора, а также лиц, допускаемых к выполнению газоопасных работ, должно проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию.

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации.

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);

2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);

3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

Список литературы:

1. Поршаков Б.П. Газотурбинные установки.- Москва: «Недра», 1992-435с.

2. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели: Конструкция и расчет деталей.- Москва: «Машиностроение», 1981-365с.
3. Арсеньева В.Г., Тырышкина Л.В. Газотурбинные установки: конструкции и расчет //Справочное пособие- Ленинград:»Машиностроение», 2005- 570с.
4. Технологический регламент дожимной компрессорной станции Мыльджинского газоконденсатного месторождения
5. Ревзин Б.С., Ларионов И.Д. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа. 1991 г., 303 с. Недра
6. А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин. Газотурбинные установки: учебное пособие / - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. - 139 с.
7. <http://www.findpatent.ru/>. – база данных патентов РФ и СССР.
8. <http://www.fips.ru/>. - официальный интернет-сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС).
9. <http://allpatents.ru/>. – интернет-портал «ПатентСервис».
10. <http://patentdb.su/> – интернет-ресурс – база патентов СССР.
- 11.Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин, 4-е изд, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993. -640 с.
- 12.НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности»
- 13.Газотранспортная система России: стратегии балансировки [Электрон. ресурс] // Режим доступа: [http:// gasforum.ru/ obzory-i-issledovaniya/1492/](http://gasforum.ru/obzory-i-issledovaniya/1492/)
14. Костюк, А.Г. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Д. Трухний [и др.]; под ред. А.Г. Костюка. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.—556 с
15. Ставкин Г.П. Правила и инструкции по технике безопасности на установках КПП / Ставкин Г.П. – М.: Недра, 1998. - 125 с.
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

17.СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

18.СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

