

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
Профиль: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Кафедра теоретической и прикладной механики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование и разработка методов очистки проточных частей центробежных машин</b>

УДК 621.515-963-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Талов Павел Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Л.А.	Д.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антонова И.С.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2017 г.

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
Уровень образования бакалавр  
Кафедра теоретической и прикладной механики  
Период выполнения весенний семестр 2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.07.17
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.17	<i>Теоретическая часть работы</i>	50
13.05.17	<i>Выполнение расчетной части работы</i>	40
30.05.17	<i>Устранение недочетов в работе</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ТПМ	Саруев Л.А.	Д.Т.Н		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## Планируемые результаты обучения ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Общекультурные компетенции</b>		
Р1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1; ОК-9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.	Требования ФГОС (ОК-7; ОК-11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2, п. 5.2.8, п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.	Требования ФГОС (ОК -5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность.	Требования ФГОС (ОК-4; ПК-9; ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах.	Требования ФГОС (ОК-2; ОК-3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.12; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, нефтегазового комплекса и в отраслевых научных организациях.	Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P7	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в нефтегазовой отрасли, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной продукции.	Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций	Требования ФГОС (ПК-1; ПК-3; ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P9	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.	Требования ФГОС (ПК-2; ПК-4; ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Умение проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий нефтегазового производства.	Требования ФГОС (ПК-6; ПК-12; ПК-14; ПК-15; ПК-24), Критерий 5 АИОР (п.5.2.3; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования.	Требования ФГОС (ПК-21; ПК-22; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P13	<p>Готовность составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-11; ПК-13), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i></p>
P14	<p>Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-25), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4; п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i></p>
P15	<p>Умение применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, умение применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в нефтегазовом производстве.</p>	<p>Требования ФГОС (ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.8; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i></p>

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) технологические машины и оборудования  
Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4Е31	Талову Павлу Сергеевичу

Тема работы:

<b>Исследование и разработка методов очистки проточных частей центробежных машин</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.03.2017, №2305/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.07.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исследование и разработка методов очистки проточных частей осевых компрессоров газотурбинной установки.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Аналитический обзор литературных источников с целью выявления современных методов решения поставленной задачи.</li><li>2. Исследования загрязнения и методы очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров газотурбинной установки.</li></ol>

	<p>3. Расчет термогазодинамических параметров газотурбинной установки с целью выявления загрязнения проточной части осевого компрессора.</p> <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>5. Социальная ответственность.</p> <p>6. Заключение по работе.</p>
<b>Перечень графического материала</b>	Чертеж газотурбинной установки, презентация
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Антонова И.С., доцент, к.э.н
Социальная ответственность	Невский Е.С., ассистент
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
-	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.02.2017
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ТПМ	Саруев Л.А.	д.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Талов Павел Сергеевич		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Е31	Талову Павлу Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>ИПР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТПМ</b>
Уровень образования	бакалавриат	Направление/профиль	15.03.02 Технологические машины и оборудование, профиль/ Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов

#### **Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску; стоимость интернета – 360 руб. в месяц.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Устанавливаются в соответствии с заданным уровнем нормы оплат труда: 30 % премии к заработной плате 16 % накладные расходы 1,3 - районный коэффициент для расчета заработной платы.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений, в том числе отчисления во внебюджетные фонды - 27,1%.</i>

#### **Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. 2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований. 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 1. Структура работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоемкости выполнения работ.</i>

	<p>3. Разработка графика проведения научного исследования.</p> <p>4. Бюджет научно-технического исследования.</p> <p>5. Основная заработная плата исполнительной темы.</p> <p>6. Дополнительная заработная плата исполнительной темы.</p> <p>7. Отчисление во внебюджетные фонды.</p> <p>8. Накладные ресурсы.</p> <p>9. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.</p>
3. Ресурсоэффективность	<p>1. Определение интегрального показателя эффективности научного исследования.</p> <p>2. Расчет показателей ресурсоэффективности.</p>
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей):	
<p>1. Оценка конкурентоспособности технических решений.</p> <p>2. Матрица SWOT.</p> <p>3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.</p> <p>4. Альтернативы проведения НИ.</p> <p>5. График проведения и бюджет НИ.</p>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.05.2017
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антонова И.С.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Талов Павел Сергеевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ЕЗ1	Талову Павлу Сергеевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

### 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"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p><i>Физико-химическая природа вредных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- повышенные уровни шума;</li> <li>- повышенные уровни вибрации.</li> </ul> <p><i>Действие факторов на организм человека:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ухудшение слуха;</li> <li>- влияние на нервную систему;</li> <li>- раздражение человека;</li> <li>- нарушение работы сердечно-сосудистой системы;</li> <li>- головные боли;</li> <li>- тошнота.</li> </ul> <p><i>Средства коллективной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- шумопоглощающая изоляция;</li> <li>- звукоизолирующие кожухи;</li> <li>- активные средства виброзащиты.</li> </ul> <p><i>Средства индивидуальной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- противошумные наушники;</li> <li>- противошумные вкладыши;</li> <li>- вибродемпфирующие перчатки;</li> <li>- рукавицы, нагрудники, специальные костюмы.</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p><i>Источник опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- быстровращающийся вал с лопатками;</li> <li>- патрубков подачи топлива;</li> <li>- маслосистема.</li> </ul> <p><i>Средства защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защитные экраны;</li> <li>- термостойкие перчатки;</li> <li>- системы пожаротушения.</li> </ul> <p><i>Причины проявления опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- критическая частота вращения ротора;</li> <li>- накопление деформаций в лопатках.</li> </ul> <p><i>Причины пожаров:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механическое повреждение топливного патрубка;</li> <li>- утечка газа.</li> </ul> <p><i>Профилактические мероприятия:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обучение пожарной ТБ;</li> <li>- контроль оборудования.</li> </ul> <p><i>Первичные средства пожаротушения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- огнетушитель;</li> <li>- песок.</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> </ul>	<p><i>Защита селитебной зоны:</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- учет санитарно-защитной зоны при строительстве газоперекачивающих станций.</li> <li>Воздействие на атмосферу: выбросы продуктов сгорания топлива, содержащие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;</li> <li>- компоненты неполного сгорания топлива.</li> </ul> </li> <li>Воздействие на гидросферу: <ul style="list-style-type: none"> <li>- возможный разлив смазочно-охлаждающих жидкостей.</li> </ul> </li> <li>Воздействие на литосферу: <ul style="list-style-type: none"> <li>- твердые бытовые отходы при техническом обслуживании и ремонте газотурбинных установок.</li> </ul> </li> <li>Решения по обеспечению экологической безопасности: <ul style="list-style-type: none"> <li>- соблюдение инструкций при операциях по наливу и сливу смазочно-охлаждающих жидкостей;</li> <li>- Все работники должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90;</li> <li>- применение индивидуальных средств защиты по типовым отраслевым нормам при работе с нефтепродуктами.</li> </ul> </li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>Возможные ЧС на объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- аварийная остановка при превышении частоты вращения ротора;</li> <li>- нарушение рабочего режима маслосистемы;</li> <li>- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;</li> <li>- обрыв рабочей лопатки и как следствие разрушение компрессора;</li> <li>- пожар при повреждении системы подачи газа.</li> </ul> <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>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"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве".  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.</p> <p>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.</p> <p>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:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);</li> <li>2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);</li> <li>3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала:</b></p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.05.2017г
--	-------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ЕЗ1	Талов Павел Сергеевич		

## Реферат

Дипломная работа включает в себя: 106 страниц, 12 рисунков, 20 таблиц, 18 источников.

Ключевые слова: газотурбинная установка, осевой компрессор, газотурбинный двигатель, входной направляющий аппарат, компрессор низкого давления, компрессор высокого давления.

Объект исследования: промывка проточной части центробежных машин

Цель работы: исследование и разработка методов очистки проточных частей газотурбинных установок и центробежных машин.

Задачи:

- исследовать загрязнения и методы очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров газотурбинных установок;
- рассчитать термогазодинамические параметры газотурбинных установок для оценки загрязненности лопаточного аппарата осевого компрессора газотурбинной установки

Результатом проведения данной работы является исследование загрязнения и методов очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров газотурбинной установки, которое показало, что загрязнение лопаточного аппарата осевого компрессора газотурбинных установок приводит к заметному снижению полезной мощности и КПД ГТУ. Загрязнение приводит к снижению КПД осевого компрессора на  $0,5 \div 3 \%$ , полезной мощности ГТУ на  $3 \div 10 \%$  и КПД ГТУ на  $2 \div 5 \%$ .

Также был проведен расчет термогазодинамических параметров газотурбинной установки, который выявил снижение полезной мощности и эффективного КПД газотурбинной установки.

### **Список сокращений:**

ГТУ – газотурбинная установка;

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

ОК – осевой компрессор;

ГТД – газотурбинный двигатель;

ВНА – входной направляющий аппарат;

КВОУ – комплексное воздухоочистительное устройство;

КНД – компрессор низкого давления;

КВД – компрессор высокого давления;

КПД – коэффициент полезного действия;

ХП – холодная прокрутка;

ВД – вал двигателя;

ТВД – турбина высокого давления;

ТН – тепловые насосы.

## Оглавление

Введение.....	18
1. Обзор литературы.....	20
1.1 Обзор отечественных работ по промывке осевых компрессоров.....	20
2. Объекты и методы исследования.....	24
2.1 Газотурбинные установки.....	24
2.2 Осевые компрессоры.....	26
2.3 Характеристики загрязненности атмосферного воздуха.....	30
2.4 Загрязнение лопаток осевого компрессора.....	33
2.5 Влияние загрязнения на характеристики осевого компрессора и на газотурбинную установку в целом.....	36
2.6 Математические модели процесса загрязнения осевых компрессоров. Чувствительность компрессора к загрязнению.....	38
2.7 Способы очистки проточной части осевых компрессоров.....	39
2.8 Системы очисток осевого компрессора газотурбинной установки ведущих зарубежных фирм.....	41
2.9 Разработанная технология промывки проточной части.....	45
2.10 Практические примеры.....	48
3. Расчетная часть.....	53
3.1 Расчет термогазодинамических параметров газотурбинной установки.....	53
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	66
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	66
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	67
4.3 SWOT – анализ.....	69
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	74



4.5 Планирование научно-исследовательских работ.....	76
4.6 Определение ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	91
5. Социальная ответственность.....	94
5.1 Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов, вредного воздействия на окружающую среду.....	94
5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	96
5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	97
5.4 Охрана окружающей среды.....	98
5.5 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	100
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	102
Заключение.....	104
Список используемых источников.....	105

## Введение

Загрязнение лопаточного аппарата осевого компрессора (ОК) газотурбинных установок приводит к заметному снижению полезной мощности и КПД ГТУ. Несмотря на наличие фильтрующих устройств на входе компрессора, его проточная часть подвергается загрязнению аэрозолями, присутствующими в окружающей среде, а также различными загрязнителями (масло, сажа, капельная влага), выделяемыми различными узлами самой ГТУ.

По данным ВНИИГАЗ [1] загрязнение приводит к снижению КПД осевого компрессора на  $0,5 \div 3$  %, полезной мощности ГТУ на  $3 \div 8$  % и КПД ГТУ на  $2 \div 5$  % при этом уменьшается запас устойчивой работы ОК, а изодромы на его характеристике сдвигаются в сторону меньших расходов. Аналогичные данные о влиянии загрязнения опубликованы специалистами зарубежных фирм. В материалах [2] приводятся сведения о том, что загрязнение ОК может приводить к снижению производительности ОК на 5 %, отношение давлений – на 5,5 %, полезной мощности ГТУ на 13 %, при этом удельный расход тепла увеличивается на 6 %. В работе [3] показано, что при загрязнении ОК ГТУ мощностью 46,5 Мвт при среднегодовом снижении полезной мощности на 3 % и КПД ГТУ на 1 % стоимость потерь из-за снижения выработки электроэнергии и перерасхода топлива составляет свыше 500 тысяч долларов в год.

В России и странах СНГ газотурбинные установки с осевыми компрессорами в основном используются на компрессорных станциях магистральных газопроводов. В системе «Газпрома» установлено более 3000 отечественных и зарубежных ГТУ мощностью от 4 до 25 Мвт.

Для уменьшения загрязнения и для защиты лопаточного аппарата ОК от эрозийного воздействия пыли, на входе в компрессор устанавливаются комплексные фильтрующие системы, включающие грубую и тонкую очистки воздуха, поступающего в компрессор. Остаточная запыленность после

фильтрующих устройств находится на уровне  $0,3\div 0,45$  мг/м<sup>3</sup>. Для предотвращения эрозии лопаток концентрация частиц диаметром превышающим 10 мкм не должна превышать 5 % от общей массы пыли после фильтров. Однако, даже современные высокоэффективные фильтры не обеспечивают полной очистки воздуха и устранения загрязнения компрессора.

Для снижения влияния загрязнения на характеристики ОК и ГТУ используются сухие очистки и промывки проточной части компрессора на рабочих режимах (на ходу) и на остановленном агрегате при прокрутке от пускового устройства (промывка на холодной прокрутке). В настоящее время применяются, в основном, промывки ОК. Периодические промывки компрессора, позволяют поддерживать мощность и КПД ГТУ на достаточно высоком уровне.

## **1. Обзор литературы**

Раньше очистка компрессоров газовых турбин осуществлялась отмачиванием на холодной прокрутке (ХП) и/или забросом твёрдых частиц, таких как ореховая скорлупа или рисовая шелуха в работающий двигатель на полных оборотах. Такой мягкоэрозионный метод очистки на работающем двигателе сейчас практически полностью вытеснен влажной очисткой, что связано с применением компрессорных лопаток с покрытием для защиты от точечной коррозии. Кроме того, при попадании в воздух, предназначенный для охлаждения газовой турбины, несгоревшие твёрдые частицы, применявшиеся для очистки, и зола могут привести к засорению сложнейших систем охлаждения рабочих лопаток турбины. В начале 80-ых годов, когда применение влажной очистки компрессоров только начиналось, в первую очередь, было необходимо определиться с периодичностью промывки компрессора в процессе работы и с тем, как это совместить с промывкой на неработающем двигателе. Кроме того, многие эксплуатанты полагали, что промывка компрессора в процессе работы может полностью устранить необходимость промывки в ходе регламентных работ. По данным Хёфта (1993), сниженный на 5% в связи с загрязнением рабочих лопаток компрессора расход воздуха на 13% понизит выходную мощность и на 5,5% увеличит удельный расход топлива. Также эксплуатация ГТД с загрязнённым ОК приводит к повышенному выбросу вредных веществ в выхлопе. При сегодняшнем широкомасштабном применении ГТУ и при увеличении номинальной выходной мощности промывка ОК ГТД привлекает всё большее внимание их владельцев.

### **1.1 Обзор отечественных работ по промывке осевых компрессоров (ОК)**

Система промывки ОК широко используется в отечественной практике.

Отечественные заводы, такие как: Ленинградский Кировский завод (ЛКЗ), завод «Экономайзер», а также институты: ВНИГАЗ, ВТИ накопили

огромный опыт по очистке осевых компрессоров (ОК) от загрязнений как энергетических, так и приводных газотурбинных установок (ГТУ).

Ленинградским Кировским Заводом на основе синтанола было разработано синтетическое моющее средство, под названием «турбинка». Это средство не обладает токсичностью, не вызывает заметной коррозии сталей. При концентрации 15 – 17 % этого раствора, максимальная эффективность имеет место при 70 – 80 °С.

Мелкодисперсный распыл моющего средства осуществляется с помощью форсунок, которые установлены в конфузоре входного патрубка перед входным направляющим аппаратом (ВНА), при этом ротор вращается со скоростью, которая составляет  $10 \div 25$  % от номинальной.

Примерная последовательность промывки осевого компрессора для газотурбинной установки следующая:

- охлаждение агрегата после остановки до температуры на выходе <80 °С;
- подогрев проточной части компрессора паром или горячей водой до температуры 70 – 80 °С;
- впрыск моющего раствора, нагретого до 80 °С;
- период отмачивания и разрыхления отложений при прокрутке от валоповоротного устройства в течение 15 – 30 мин;
- полоскание чистой водой до полного удаления очищающей жидкости и смытых отложений.

При промывке должно быть исключено попадание моющих растворов в подшипники, а также должны быть открыты дренажи для слива отработанного моющего раствора в специальный бак.

Кроме «турбинки» для очистки осевого компрессора используется моющий раствор, разработанный с участием организации «Машпроект» - «Синвал». Раствор подогревался до 47 °С. Хорошие результаты были получены

при использовании – для компрессора низкого давления 500 – 600 л, а для компрессора высокого давления 150 л моющего раствора. Форсунки устанавливались на входе в патрубок на специальных штангах: в компрессоре низкого давления – 8 форсунок, в компрессоре высокого давления 6 форсунок. Раствор к форсункам подавался с давлением 0,4 Мпа. Промывка проводилась при вращении ротора пусковым двигателем с  $n = 900$  об/мин в течении 5 минут, затем следовала выдержка в течении 15 минут. Полоскание проточных частей осуществлялось водой в течении 40 мин при  $n = 800 \div 1100$  об/мин и еще час при  $n = 1500$  об/мин с зажженной камерой сгорания. Характеристики компрессоров после промывки были практически такие же, как при очистке вручную, что доказало высокую эффективность промывки компрессоров.

ВНИГАЗ провел большую работу по анализу различных систем жидкостных промывок осевых компрессоров газоперекачивающих агрегатов. Разработаны технические требования к системам очистки на ходу и на остановленном агрегате [1], а также инструкции по жидкостной очистке осевых компрессоров [12].

Для распыла моющего раствора используется система форсунок, установленных во входном устройстве компрессора. Для промывок на ходу и на остановленном агрегате используется одна и та же система форсунок. По рекомендации ВНИГАЗА [1] для промывки на ходу осевых компрессоров агрегатов ГТК – 10 , ГТ – 750 – 6 и других в качестве жидких очистителей следует использовать:

- для температур наружного воздуха выше  $5^{\circ}\text{C}$  – смесь керосина (газового конденсата) 46 %, дистиллированной воды 53,5 %, и эмульгатора 0,5 %;
- для температур наружного воздуха от  $-5^{\circ}\text{C}$  – смесь керосина 40 %, дистиллированной воды 19,5 %, изопропилового спирта 40 %, и эмульгатора 0,5 %;

Промывку на ходу рекомендуется применять с определенной частотой для поддержания параметров ГТУ на достаточно высоком уровне после тщательной очистки ОК на остановленном агрегате.

Для промывок на остановленном агрегате в газовой промышленности применяются моющие растворы на основе отечественных моющих средств «Синвал», «Турбинка», керосин, детергент «Кастрол Солвекс», моющие средства М – 1 и М – 2.

Так как применение периодических промывок на остановленном агрегате сопряжено с большими изменениями технологической схемы компрессорной станции, то применительно к действующим компрессорным станциям, ВНИИГАЗ предлагает следующую последовательность промывок:

- несколько последовательных промывок на ходу через  $250 \div 300$  часов работы;
- затем одна промывка на остановленном агрегате через 2 – 3 тысячи часов работы.

## 2 Объекты и методы исследования

### 2.1 Газотурбинные установки

Газотурбинная установка представляет собой энергетическую установку, являющуюся конструктивно объединенной совокупностью газовой турбины, газоздушного тракта, систем управления и вспомогательных устройств (пусковое устройство, компрессор).

Рабочим телом газотурбинных установок компрессорных станций при сжатии является окружающий атмосферный воздух. В качестве топлива используется перекачиваемый газ. Турбина работает на сильно разбавленных воздухом продуктах сгорания природного газа. [7]

Принцип работы газотурбинной установки заключается в том, что в компрессор газотурбинного силового агрегата подается чистый воздух, где он компримируется. Под высоким давлением воздух из компрессора направляется в камеру сгорания, куда подается и основное топливо (природный газ). Далее газоздушная смесь воспламеняется и при ее сгорании образуется энергия в виде потока раскаленных газов. Этот поток с высокой скоростью устремляется на рабочее колесо турбины и вращает его. При этом вращательная кинетическая энергия через вал турбины приводит в действие компрессор и расходуется на преодоление полезной нагрузки.

На газопроводах нашей страны в качестве привода для газоперекачивающих агрегатов установлены одновальные газотурбинные установки с регенераторами и без них, двухвальные, а также конвертированные авиационные двигатели.

Преимуществом одновальных установок является конструктивная простота, минимальное число турбомашин и подшипников. Однако эти достоинства отступают на задний план перед недостатками – жесткая связь центробежного нагнетателя и воздушного осевого компрессора по частоте



вращения, невозможность пуска агрегата под давлением в корпусе нагнетателя, необходимость для нормальной эксплуатации использования поворотных направляющих лопаток в компрессоре и нагнетателе.

Двухвальные однокомпрессорные газотурбинные установки (рис.1 а, б) состоят из газогенераторной части и свободной силовой турбины. Это дает большую гибкость для эксплуатации, благодаря независимой работе воздушного компрессора и газового нагнетателя. Изменение давления перекачиваемого газа сказывается только на работе силовой турбины, но не влияет на газогенератор.

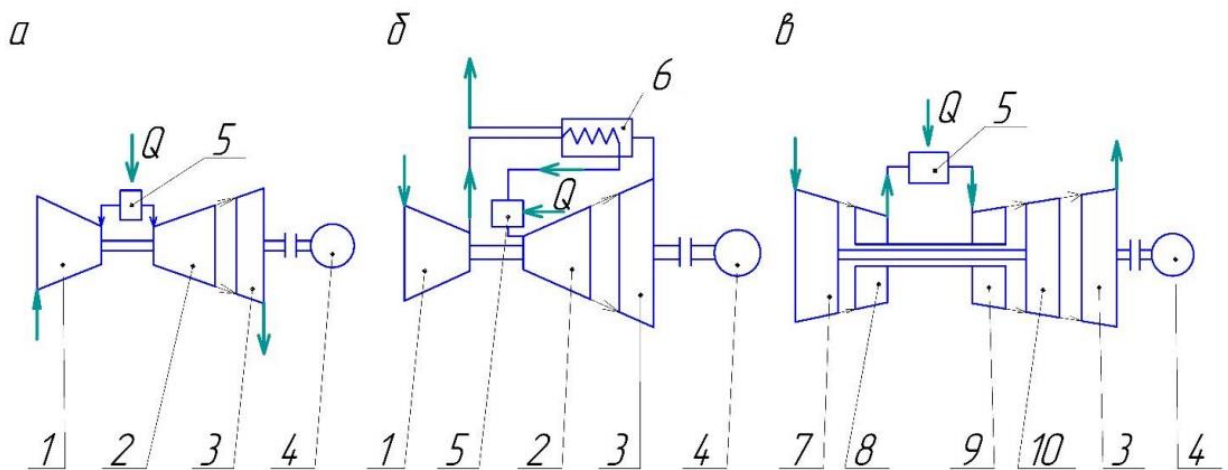


Рисунок 1 - Применяемые схемы приводных газотурбинных установок и двигателей:

а – двухвальная однокомпрессорная простого цикла; б – двухвальная однокомпрессорная регенеративного цикла; в – трехвальная двухкомпрессорная;

1 – компрессор; 2 – турбина привода компрессора; 3 – свободная силовая турбина; 4 – нагрузка; 5 – камера сгорания; 6 – регенератор; 7, 8 – компрессор соответственно низкого и высокого давления; 9, 10 – турбина соответственно низкого и высокого давления; Q – подвод топлива.

В двухвальных и трехвальных (рис.1 в) газоперекачивающих агрегатах выделение турбины полезной мощности вместе с нагнетателем на отдельный вал кардинально улучшает их внешние характеристики, хотя при этом возрастает число турбомашин и конструктивная сложность агрегата. Для газотурбинной установки с регенерацией теплоты целесообразнее использовать двухвальную схему (рис. 1 б).

В установках просто цикла для достижения высокой экономичности необходима большая степень сжатия. А при большом отличии давлений в начале и в конце компрессора резко отличаются объемный расходы, что неблагоприятно для создания единой эффективной проточной части компрессора. Таким образом, у газотурбинной установки со степенью сжатия более 10...12 необходимо разделять газогенераторную часть турбогруппы на каскады, являющиеся частью компрессора, приводимого своей турбиной (рис. 1 в). Турбина низкого давления приводит во вращение компрессор низкого давления, а турбина высокого давления вращает компрессор высокого давления.

Все три схемы получили большое распространение на отечественных газопроводах. [7]

## **2.2Осевые компрессоры**

Входной патрубок необходим для равномерного подвода окружающего атмосферного воздуха к входному направляющему аппарату, который придает необходимое направление воздушному потоку перед входом в первую ступень. В ступенях воздух сжимается за счет механической энергии вращающихся лопаток, передаваемой потоку воздуха. Из последней ступени воздух поступает в спрямляющий аппарат, который придает потоку осевое направление перед входом в диффузор, где продолжается сжатие газа за счет понижения его кинетической энергии. Выходной патрубок предназначен для подачи воздуха от диффузора к перепускному трубопроводу. [9]

Общая схема осевого компрессора представлена на рисунке 2.

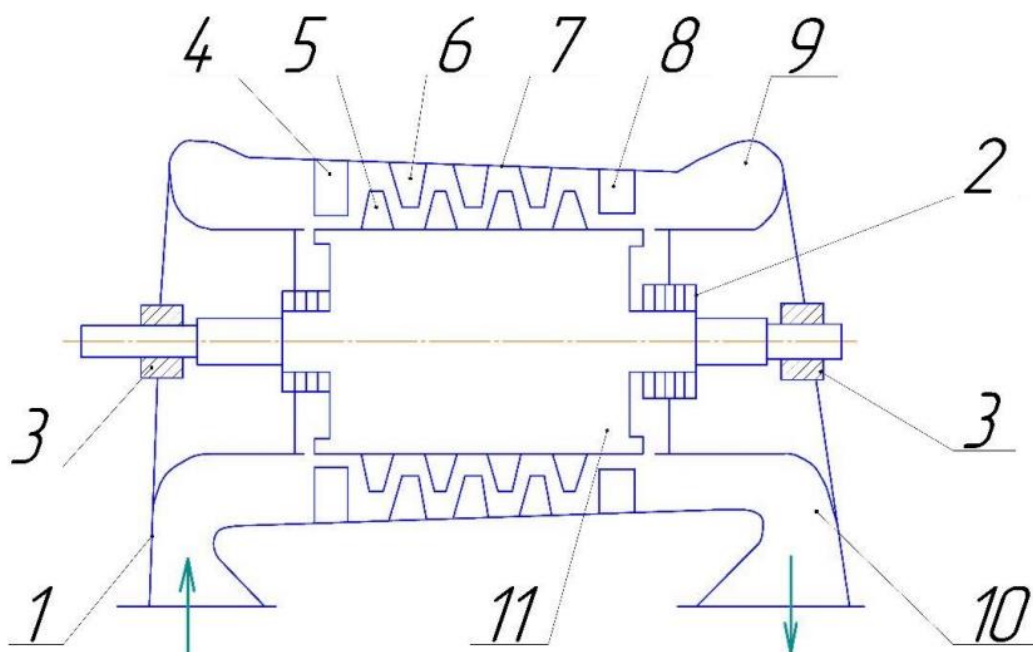
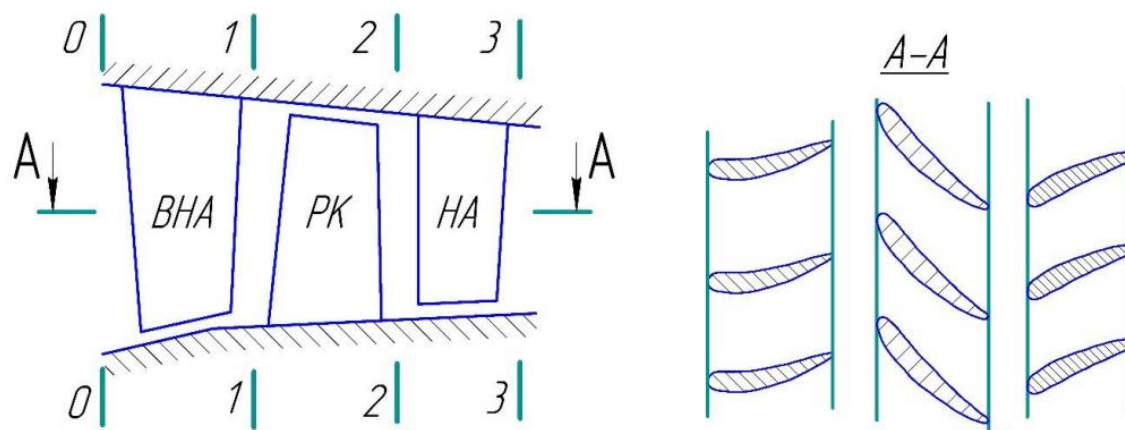


Рисунок 2 - Схема многоступенчатого осевого компрессора:

1 – входной патрубок; 2 – концевые уплотнения; 3 – подшипники; 4 – входной направляющий аппарат; 5 – рабочие лопатки; 6 – направляющие лопатки; 7 – корпус; 8 – спрямляющий аппарат; 9 – диффузор; 10 – выходной патрубок; 11 – ротор.

Изолированная ступень осевого компрессора состоит из входного направляющего аппарата, рабочего колеса и направляющего аппарата (рис.3).



### Рисунок 3 - Схема ступени осевого компрессора:

ВНА – входной направляющий аппарат; РК – рабочее колесо; НА – направляющий аппарат.

С приведением во вращение рабочего колеса воздух, проходящий через лопаточный венец, получает энергию в виде скорости в направлении вращения и в виде давления. Последующий направляющий аппарат превращает скоростной напор в давление, раскручивает поток в направлении, сходном с направлением потока перед рабочим колесом.

Решетки как рабочих, так и направляющих лопаток диффузорны, т.е. скорость потока в них преобразуется в давление. [7]

К основным параметрам ступени относятся степень повышения давления, работа сжатия и КПД.

Работа сжатия 1 кг рабочего тела в идеальном процессе имеет вид:

$$h_{\text{ст.ад}} = \frac{k}{k-1} R \cdot T \left( \pi_{\text{ст}}^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right), \quad (1)$$

где  $k$  – показатель адиабаты;

$R$  – газовая постоянная, зависящая от состава рабочего тела, Дж/(кг\*К);

$T_1$  – абсолютная температура перед входом в рабочее колесо, К;

$\pi_{\text{ст}}$  - степень повышения давления;

$$\pi_{\text{ст}} = \frac{p_3}{p_1} \quad (2)$$

где  $p_3$  и  $p_1$  – давления рабочего тела за ступенью и перед рабочим колесом соответственно.

Для дозвуковых ступеней воздушного осевого компрессора обычно  $\pi_{ст} = 1,1 \dots 1,3$  и  $h_{ст.ад} = 10 \dots 25$  кДж/кг; для транс- и сверхзвуковых ступеней  $\pi_{ст} = 1,6 \dots 2,0$  и  $h_{ст.ад} = 40 \dots 65$  кДж/кг.

Адиабатный КПД определяется по следующей формуле:

$$\eta_{ст.ад.} = \frac{T_1(\pi_{ст}^{\frac{k-1}{k}} - 1)}{T_3 - T_1}, \quad (3)$$

где  $T_3$  – температура газа за ступенью, К. [8]

Так как степень повышения давления в ступени ограничена, а для работы газотурбинной установки необходимы большие значения данного параметра, то обычно осевые компрессоры изготавливают из ряда последовательно расположенных ступеней.

К наиболее распространенным формам проточных частей компрессоров относятся с постоянным внешним диаметром, с постоянным внутренним диаметром и с постоянным средним диаметром (рис. 4).

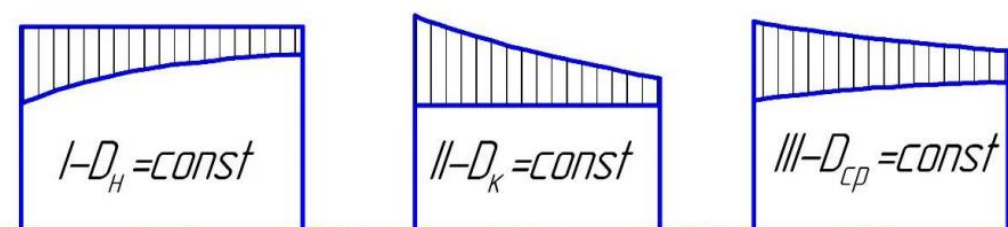


Рисунок 4 - Конструктивные схемы проточной части

Тип I с постоянным наружным диаметром ( $D_n = const$ ) повсеместно принят в транспортных газотурбинных двигателях. Для него характерен рост напорности с увеличением номера ступени (благодаря повышению средней окружной скорости), минимальная масса по сравнению с другими типами, более крутое убывание высоты лопаток.

Для типа II с постоянным корневым диаметром ( $D_k = const$ ) свойственна более высокая технологичность корневой части рабочих лопаток и всего

хвостового соединения (так как образуется цилиндр, а не конус, как при  $D_n = const$ ), увеличенная высота лопаток в последних ступенях по сравнению с типом I и соответственно их КПД.

Тип III с мало меняющимся средним диаметром ( $D_{cp} \approx const$ ) применяют нередко для первой группы ступеней, он имеет достоинства и недостатки типов I и II. [7]

### **2.3 Характеристики загрязненности атмосферного воздуха**

Атмосферный воздух, используемый для работы газотурбинных установок всегда содержит некоторое количество аэрозолей – взвешенных в воздухе твердых и жидких частиц. Концентрация включений в атмосферный воздух зависит от условий внешней среды и значительно возрастает при наличии неблагоприятных условий: пылевых и песчаных бурь, интенсивных выбросов промышленных предприятий. Технологическими характеристиками атмосферной пыли являются [4]: дисперсность; концентрация в единице объема; физические свойства пыли: плотность, влажность, гигроскопичность, абразивность, способность к коагуляции и слипаемость; химический состав.

Открытая поверхность почвы является основным источником природной пыли, а ветер – главным фактором ее распространения (концентрация пыли пропорциональна скорости ветра в кубе).

Исследования проведенные Кашиной В.Н. [5] позволили провести классификацию природной запыленности атмосферного воздуха на территории бывшего СССР. По характеру запыленности вся территория СССР была разделена на 5 зон: зона 0 соответствует районам с травяным покровом почвы и слабой средней вероятной концентрации пыли –  $0,1 \text{ мг/м}^3$ ; зоне 1 соответствует слабая концентрация запыленности – до  $0,5 \text{ мг/м}^3$ ; для зоны 2 характерны повышенная до  $0,7 \text{ мг/м}^3$  концентрация пыли с более частыми пылевыми бурями; в зоне 3 наблюдается высокая (до  $1,2 \text{ мг/м}^3$ ) концентрация

пыли, а зона 4 характеризуется интенсивной средней концентрацией пыли до  $2,2 \text{ мг/м}^3$  с частыми пылевыми (песчанными) бурями.

Географически зона 0 занимает северную полосу Европейской части России и Западной Сибири, а также всю территорию Сибири, восточнее реки Енисей; зона 1 имеет северную границу, проходящую по линии Ужгород – Тула – Тюмень – Красноярск; зона 2 занимает Краснодарский край, поднимаясь северной границей примерно до Волгограда, а затем имеет северную границу по линии Уральск – Новосибирск; зона 3 охватывает Ставропольский край, Астраханскую область, Южную половину Казахстана; зона 4 – пустыни Туркмении и Узбекистана.

Загрязненность воздуха вызывают также такие естественные аэрозоли, как пыльца растений, мелкие насекомые, морская соль и т.п. По данным [6] количество солей в воздухе вблизи морского побережья может составлять  $10 \div 40 \text{ мг/м}^3$ . Концентрация морской соли, как и обычной пыли, зависит от скорости ветра. Например, во время сильных штормов концентрация аэрозолей морской соли возрастает до  $800 \text{ мг/м}^3$  [7].

Как известно, деятельность человека оказывает сильное влияние на состояние окружающей среды: выбросы предприятий, электростанций, обработка сельскохозяйственных угодий, разветвленная сеть автотранспорта в значительной степени влияют на увеличение запыленности воздуха.

Запыленность атмосферного воздуха, засасываемого компрессором во время работы ГТУ, как известно, приводит к загрязнению и эрозии лопаточного аппарата компрессора, турбины и других элементов.

Для защиты ГТУ от пыли на входе в осевой компрессор устанавливаются воздухозаборные устройства, одним из основных элементов которых являются фильтры грубой и тонкой очистки. Технические требования к фильтрам на входе ГТУ в основном продиктованы получением на выходе из них допустимой остаточной запыленности воздуха на входе в лопаточный

аппарат осевого компрессора, не вызывающей его эрозии. Для новейших ГТУ рекомендуется принимать допустимую остаточную запыленность на входе в ОК не более  $0,35 \text{ мг/м}^3$ , при этом концентрация частиц с размером более 10 мкм не должна превышать 5 % от общей массы пыли после фильтра [8].

Даже при такой степени очистки, воздушные фильтры, устанавливаемые на входе в компрессор, не в состоянии обеспечить защиту лопаток компрессора от загрязнений. Как отмечается в [3], загрязнение ОК вызывается, в основном, частицами с условным диаметром 2 мкм и менее, масса которых составляет 80 – 90 % от общего количества пыли после фильтра. Ввиду этого с течением времени происходит снижение параметров ОК и ГТУ: расхода воздуха, отношения давлений и КПД ОК, полезной мощности и КПД ГТУ.

В работе [9] предлагается разделять примеси, присутствующие в засасываемом компрессором воздухе, на внешние и внутренние.

К внешним примесям, вызванным внешними по отношению к ГТУ факторами, относятся:

- а) естественные – пыль, пары воды, масла и других веществ, капли дождя, соли морской воды или солончаковых почв, насекомые, пыльца растений, гербициды.
- б) промышленные и транспортные – химические взвеси и пыль от промышленных предприятий, несгоревшее топливо (сажа, дым), городская пыль, выбросы, и пыль от транспортных средств.

К внутренним включениям относятся примеси, связанные с работой основного и вспомогательного оборудования самой ГТУ:

- а) протечки масла и масляных паров из негерметичных разъемов подшипников, протечки из масляных уплотнений и из негерметичных маслоохладителей, установленных на всасывающем тракте ряда ГТУ;



б) капельная влага, соли из установок водоиспарительного охлаждения на входе в ОК.

в) рециркуляция выхлопных газов на вход ГТУ.

## 2.4 Загрязнение лопаток осевого компрессора

Загрязнение компрессора при работе ГТУ происходит в виде образования на лопатках и других деталях налетов липкой пыли органического происхождения. Налеты могут образовывать также смеси аэрозолей пыли и масла, воды, а также солей испаряющейся воды попадающей в ОК из атмосферы или из испарительных систем агрегата. Отложения грязи на лопатках увеличивают шероховатость поверхности профилей, изменяют их аэродинамическую форму. Интенсивные отложения могут приводить к увеличению угла отставания потока на выходе из венцов лопаток. Воздействие загрязнений за на аэродинамические характеристики профилей лопаток ступени приводит к снижению КПД, напора и расхода воздуха ступеней и компрессора в целом.

Обследование загрязненных проточных частей ОК показывает, что в зависимости от вида пыли отложения на лопатках приобретают плотную или рыхлую структуру. Основные факторы, от которых зависит загрязнение, скорость роста отложений на лопатках ОК и их влияние на снижение характеристик ГТУ из-за загрязнения:

- 1) Конструкция, расчетные параметры и режимы работы ГТУ. Например, ГТУ малой мощности (с малым размером лопаток) более подвержены к загрязнению, чем ГТУ большей мощности. Длительная работа вала ВД на пониженных частотах вращения у приводных ГТУ будет вызывать повышенное загрязнение первых ступеней ОК. Форма входного патрубка также оказывает влияние на скорость загрязнения ОК. Наличие на входе ОК водоиспарительных систем охлаждения входного воздуха может приводить к ускорению загрязнения лопаток ОК;

- 2) Местоположение ГТУ и состояние окружающей среды один из основных факторов, влияющих на загрязнение.
- 3) Общий план станции и размещение оборудования. При проектировании КВОУ (комплексного воздухозаборного очистительного устройства), должно быть принято во внимание преобладающее направление ветра в данном месте, расположение градирен, выхлопных труб из ГТУ и ориентация выхлопов из масляных баков для исключения попадания выпаров и выхлопных газов на вход в ОК. При неучете этих факторов влияние на загрязнение ОК может значительно увеличиваться;
- 4) Качество и технический уровень обслуживания оборудования ГТУ: регулярная проверка и проведение очистки и замены воздушных фильтров проведение очистки и замены воздушных фильтров, проведение регламентных промывок проточной части ОК.
- 5) Атмосферные условия: температура и относительная влажность воздуха, особые состояния атмосферы – дождь, туман, смог, наличие потоков, смешивающих воздушную среду.

Влияние влажности атмосферного воздуха на загрязнение ОК рассмотрено в ряде работ, и там отмечалось увеличение скорости загрязнения лопаток ОК при наличии повышенной влажности атмосферного воздуха. Появление капелек сконденсировавшейся влаги при ускорении воздуха в конфузоре перед ВНА и затем смешивание их с частичками пыли влияет на процесс образования отложений на лопатках. Этот процесс имеет некоторые различия при наличии в воздухе частиц пыли, способствующих образованию растворимых и нерастворимых водой отложений на лопатках ОК.

Образование водорастворимых отложений на лопатках ОК при различной влажности атмосферного воздуха происходит следующим образом. При невысокой влажности воздуха перед ВНА будет появляться небольшое количество капельной влаги, которая смешиваюсь с пылью атмосферного

воздуха будет способствовать образованию отложений. В дальнейшем скорость отложений будет увеличиваться из-за появляющейся шероховатости профиля. При увеличении влажности воздуха свыше определенного предела, избыточная влага будет размягчать отложения и лопатки будут промываться, при этом потерянная мощность ГТУ будет в какой-то мере восстанавливаться.

В случае углеводородных отложений моющий эффект при повышенной влажности очень слабый или вообще отсутствует.

Наиболее распространенными являются включения, содержащие растворимые и нерастворимые примеси. В зависимости от их массового соотношения, а также от их относительного положения в слоях отложений, указанный моющий эффект в широком диапазоне повышенных влажностей воздуха может быть едва заметным.

Обширные исследования загрязнения осевых компрессоров в эксплуатационных условиях были выполнены сотрудниками ВТИ. В этих работах получен большой материал о составе отложений на лопатках компрессоров и распределении отложений по ступеням ОК. Отложения на лопатках ОК состоят на 27 – 85 % из органических соединений, 30 % которых приходится на экстрагируемые эфирные масла. В минеральной части содержатся в основном окислы и соли Si, Al, Fe, Mg, Ca, а также соединения Na, K и S, Pb и другие тяжелые металлы.

Одним из основных вопросов в исследовании загрязнения ОК является вопрос о распределении отложений вдоль проточной части и по поверхности рабочих и направляющих лопаток компрессора. Как показали наблюдения Ольховского Г.Г., Михайлова Е.И. за образованием отложений на лопатках компрессоров ГТУ, наиболее сильно загрязняются первые ступени компрессора. В работах было исследовано характер и состав отложений на лопатках КНД и КВД ГТУ после 1000 ч. работы. Было отмечено, что основная масса отложений имела место на ВНА и на первых четырех ступенях

компрессора. На выпуклых поверхностях лопаток всех ступеней образовывалось больше отложений, чем на вогнутых. Была отмечена неравномерность в распределении отложений по окружности в каждом венце лопаток. Из общей суммы отложений 83 % приходилось на лопатки КНД и 17 % на лопатки КВД, т.е. основные отложения имели место на лопатках КНД.

## **2.5 Влияние загрязнения на характеристики осевого компрессора и ГТУ в целом**

Ухудшение формы и увеличение шероховатости профилей решеток из-за возникновения на них отложений, приводит к уменьшению расхода воздуха, КПД, отношения давлений ОК, а также снижению мощности и КПД ГТУ. Основываясь на результатах испытаний КНД и КВД и компрессоров ГТУ, отмечается, что при загрязнении ОК ГТУ простого цикла или КНД ГТУ с промежуточным охлаждением компрессоров, производительность компрессора снижается на  $3 \div 5$  %, а его КПД на  $3 \div 4$  %. Такое снижение параметров наблюдалось в первые  $100 \div 500$  часов, а затем они стабилизировались примерно на этом же уровне. Следует учитывать, что исследуемая ГТУ работала в индустриальном районе большого города. В работе [10] отмечается большая чувствительность к загрязнению КВД этой ГТУ., работающего на воздухе после промежуточного охлаждения. За такой же период времени снижение производительности и КПД компрессора достигает  $10 \div 15$  %.

Сотрудники ВНИГАЗА [1] провели большой объем исследований характеристик газоперекачивающих агрегатов (ГПА) мощностью от  $4 \div 25$  МВт при различной наработке агрегата в условиях загрязненного воздуха. Также отмечается, что после определенной наработки ( $1000 \div 2000$  ч) имеет место стабилизация характеристик ГТУ, что вызвано срывом части отложений с лопаток потоком воздуха после достижения определенной толщины, а также при аварийных остановках и последующих пусках ГТУ.

Относительное изменение мощности агрегата (коэффициента технического состояния  $K_N$ ) в процессе загрязнения в работе [1] предлагается представить в следующей зависимости:

$$\Delta K_N = \frac{N_{co} - N_{e\text{ пр}}^{T_{10}}}{N_{co}} = a(1 - e^{-b\tau})$$

Что соответствует полученным экспериментальным зависимостям, где  $N_{co}$  – номинальная мощность агрегата,  $N_{e\text{ пр}}^{T_{10}}$  – мощность агрегата приведенная к расчетным начальным условиям и расчетной температуре перед газовой турбиной  $T_{10}$ ,  $\tau$  – время работы до очистки в часах, коэффициенты  $a$  и  $b$  постоянные,  $b = 0,0054$  1/ч. Коэффициент  $a$  определяет относительную величину снижения мощности после достижения стабилизации.

Загрязнение ОК вызывает не только уменьшение расхода воздуха и отношения давлений компрессора, но и снижение запаса устойчивой работы на  $2 \div 3$  %.

## **2.6 Математические модели процесса загрязнения осевых компрессоров.**

### **Чувствительность компрессора к загрязнению**

В последнее время в России и за рубежом стали развиваться методы оценки загрязнения при использовании математических моделей характеристик загрязненного компрессора. Использование этих методов позволяет более ясно видеть динамику изменения характеристик компрессора и ГТУ, а также установить корреляционную связь между изменением наблюдаемых параметров ГТУ:

$P_k$  – давлением за ОК;

$T_3$  – температурой перед турбиной;

$N_{гт}$  – скоростью вращения ротора;

$G_{\text{вх}}$  – расходом воздуха при входе в компрессор.

В работе [11] рассматривается математическая модель с использованием метода поступенчатого расчета характеристик компрессора, позволяющая получить его характеристики с учетом загрязнения. Такой подход позволяет учесть изменения из-за загрязнения характеристик отдельной ступени. Известно, что загрязнение ступеней неравномерно вдоль проточной части. В расчете используются обобщенные характеристики ступеней осевых компрессоров. На их основе рассчитывается характеристика чистого компрессора, которая путем некоторого изменения углов установки лопаток и использования коэффициентов загромождения канала идентифицируется на расчетной частоте вращения с данными технических условий по расходу и степени повышения давлений ОК.

На основе данных эксплуатации авторы этой работы принимают, что загрязнению подвержено от 40 до 50 % ступеней компрессора, причем первые ступени загрязняются больше, а затем от ступени к ступени степень загрязнения уменьшается и примерно посередине компрессора лопатки остаются практически чистыми, поскольку на последующие лопаточные венцы поступает воздух с уменьшающейся по ходу концентрацией пыли. Основываясь на этом факте предлагается линейная прогрессивно развивающаяся модель загрязнения от первой ступени до середины компрессора. Принимается, что загрязнение лопаточного аппарата происходит стадиями, каждая стадия увеличивает число загрязненных ступеней компрессора на одну единицу и уменьшает расход и напор ступени на 1 %. Для оценки чувствительности ОК к загрязнению был предложен следующий критерий:

$$K_{\text{заг}} = \frac{N_e}{G \cdot c_p \cdot \Delta T_{\text{ст}}^*}$$

Где,  $c_p \cdot \Delta T_{\text{ст}}^*$  - среднее повышение энтальпии в ступени компрессора.

В работе [1] предложен метод расчета влияния загрязнения модели загрязнения на характеристики ОК по оценке сдвига изодром. На основе данных эксплуатации авторами работы установлена зависимость сдвига изодром от изменения КПД компрессора. В методике предполагается, что изодромы сдвигаются эквидистанто. Оценка изменения других параметров ОК и ГТУ производится с помощью метода малых отклонений. Однако, при использовании этого метода необходимы опытные данные по сдвигу издром или снижения КПД, которые не всегда имеются в наличии.

## **2.7 Способы очистки проточной части осевых компрессоров**

Помимо установки на входе в ОК высокоэффективных фильтров, для предотвращения ухудшения параметров ГТУ применяются различные виды очисток проточной части компрессора. Различают сухую и мокрую очистки. Во втором случае будем говорить о промывке ОК которая может проводиться на ходу и на остановленном агрегате при прокрутке ротора от пускового двигателя (промывка на холодной прокрутке). В работе [1] представлены основные требования к твердым и жидким очистителям для промывок на ходу и холодной прокрутке:

а) Достаточный очищающий эффект – восстановление потерянных из-за загрязнения показателей компрессора на ГТУ 70 – 80 %;

б) Слабое воздействие при очистке на ходу на динамическое состояние лопаток ОК;

в) Отсутствие эрозионного влияния и эффекта высокотемпературной коррозии (ограничение содержания Na, K, S, Va) и других видов коррозионного воздействия при очистке на ходу;

г) Отсутствие обледенения при промывке в зимнее время;

д) Нетоксичность при хранении и использовании (для персонала или окружающей среды);

ж) Недефицитность и умеренная стоимость.

### **Сухая очистка**

Этот способ очистки применяется достаточно давно. При работе компрессора на режимах близких к рабочим, т.е. на ходу, в проточную часть компрессора вместе с воздухом подается измельченный органический (или неорганический) очиститель – мягкий абразив. В качестве таких материалов часто используется:

- молота скорлупа орехов, фруктовых косточек, а также рис, просо, шелуха подсолнечника, отруби, опилки, крошка угля;
- инертные вещества (отработанные катализаторы, полированные порошки)
- возгоняющие вещества (например, углекислый амоний)

Сухая очистка в основном применяется для очистки компрессоров стационарных ГТУ. Применение сухой очистки для авиационных двигателей ограничено из-за высокой вибронпряженности лопаток компрессора, а так же из за возможности повреждения покрытий лопаток и покрытий проточной части, наносимых на корпус для уменьшения радиальных зазоров.

При сухой очистке всегда возникает вопрос о возможности засорения системы воздушного охлаждения элементов ГТУ. Поэтому должны быть приняты меры по предотвращению их засорения.

В последнее время метод сухой очистки практически не используется для очистки компрессоров ГТУ нового поколения.

### **Промывка проточной части осевого компрессора.**

Такой способ очистки лопаточного аппарата при использовании деминерализованной воды или ее смеси с моющим средством, используется для удаления солевых, маслянистых и сажистых отложений. Этот способ очистки является наиболее эффективным, т.к. позволяет практически



полностью восстанавливать характеристики ОК и ГТУ. Промывка на ходу может применять как для стационарных ГТУ, так и для ГТУ, полученных из конвертированных авиационных двигателей при условии, что моющий раствор не вызывает коррозии элементов ГТУ.

Промывка на ходу обеспечивает очистку в основном первой – второй ступеней, тогда как промывка на холодной прокрутке призвана производить полную очистку лопаток всех ступеней ОК от загрязнения и, таким образом, восстанавливать характеристики компрессора и ГТУ практически до исходного состояния.

## **2.8 Системы очистки осевого компрессора ГТУ ведущих зарубежных фирм.**

### **Система очистки (промывки) фирмы «Турботект», Швейцария.**

Система промывки включает промывку на ходу и на холодной прокрутке.

Система промывки на ходу состоит из кольцевого коллектора и боковых питательных труб, установленных на входном патрубке (входном устройстве) компрессора; системы форсунок, в которые подается моющий раствор из коллектора и питательных труб; соединительных шлангов, труб и фильтров.

Регулирование направления струи осуществляется в пределах 90°. Конструкция форсунки и ее установка исключает отсоединение и попадание каких-либо деталей в проточную часть компрессора. Для промывки на ходу применяется 22 ÷ 30 форсунок. Углы установки форсунок в вертикальной и горизонтальных плоскостях выбираются таким образом, чтобы обеспечивалось достаточное равномерное распределение распыливание моющего раствора по всему объему входного устройства и равномерное по радиусу и по окружности орошения моющей средой лопаток ВНА.

Промывка на ходу состоит из трех этапов:

а) впрыск моющего раствора (смеси очистителя с деминерализованной водой) для отмывания лопаток первых ступеней ОК на рабочем режиме (при полной или частичной нагрузке ГТУ). Количество моющего раствора и продолжительность впрыска устанавливается в зависимости от параметров ОК; раствор подается к форсункам с давлением 0,4 МПа.

б) Полоскание деминерализованной водой проводится для промывки элементов компрессора и самой промывочной системы для удаления остатков моющего раствора.

в) Продувка всей промывочной системы воздухом (где-то 30 секунд).

Промывка на ходу проводится спустя некоторое время после того, как компрессор прошел полную очистку или промывку на остановленном агрегате. Эффективность и периодичность промывки, как уже отмечалось, зависит от запыленности окружающей среды, состава пыли и характера отложений. Оптимальные интервалы между промывками, а также соотношения моющего средства определяются опытным путем во время эксплуатации ГТУ. На первом этапе рекомендуется проводить промывку на ходу через 70 – 100 часов работы агрегата или, по крайней мере, 1 раз в неделю.

Промывка на ходу при температурах наружного воздуха  $-5^{\circ}\text{C} \leq t \leq +7^{\circ}\text{C}$  для исключения обледенения должна проводиться с добавлением антифриза (этанол или метанол), а также с включением антиобледенительной системы (в случае ее наличия). При  $t < -5^{\circ}\text{C}$  фирма не рекомендует промывку на ходу.

Для наблюдения за промывкой в входном патрубке организуется смотровые окна с подсветкой, которые позволяют оценивать качество промывки ВНА, а также вовремя заметить начало обледенения.

Во время промывки на ходу некоторые отмытые с первых ступеней отложения (соли или другие загрязнения) могут загрязнять последние ступени. Ввиду этого, на некоторых компрессорах предусмотрен осмотр

концевых ступеней с помощью бороскопа. Если толщина отложений на лопатках превышает  $0,5 \div 1,0$  мм, производится промывка ОК при прокрутке от пускового устройства.

Промывка на холодной прокрутке выполняется, когда потери мощности ГТУ достигают  $5 \div 8$  % от номинального значения, несмотря на проведение промывки на ходу.

Основными элементами для промывки на остановленном агрегате являются специальные форсунки, установленные на внутренней поверхности входного конфузора, примерно через равные промежутки по окружности рис.1.8. Струи распыленного моющего раствора направляются прямо на лопатки ВНА, обеспечивая промывку всей кольцевой площади, занятой ВНА и первыми ступенями. Питание форсунок осуществляется из трубчатого коллектора, закрепленного снаружи патрубка.

В качестве моющих средств фирма «Турботект» использует очистители: Турботект Т-950 на водной основе, Турботект Т-927 на основе растворителя.

Для промывки используется смесь очистителя и деминерализованной воды с соотношением от 1:3 до 1:5.

Деминерализованная вода, как для раствора, так и для полоскания должна удовлетворять требованиям изготовителя ГТУ:

- общее количество растворимых и нерастворимых твердых частиц – 5 ppm
- общее количество щелочных металлов (Na+K) – 0.5 ppm
- pH –  $6.5 \div 7.5$

Очиститель Т-927 основан на растворителе с добавлением комбинации поверхностно – активных веществ и эмульгаторов. Он наиболее эффективен при удалении отложений с примесями масла, сажи. Очиститель Т-950 основан на воде и составлен из комбинации нескольких поверхностно- активных

веществ и эмульгаторов. Используется для удаления любых отложений в ОК. Раствор Т-950 является биоразлагаемым.

### **Система промывки «GeneralElectric» США**

Фирма «GeneralElectric» спроектировала и отработала автоматическую систему промывки ОК. Эта система обладает высокой эффективностью промывки, требует для промывки непродолжительного останова агрегата и предназначена для промывки на ходу и на холодной прокрутке. На рис. 1.9. приведена схема системы промывки этой фирмы. Составные элементы процесса промывки примерно такие же, как у обсуждающихся выше систем. Применяемая в настоящее время система осуществляет автоматически подогрев воды, смешивание ее с растворителем в заданном соотношении, впрыск в ОК и полоскание водой в течении заданного времени.

Эта фирма разработала спецификации для очистителей (в том числе и для воды), а также их растворов с водой, используемых для промывки ОК на ходу и на холодной прокрутке.

Для определения наличия загрязнения используется два основных метода – визуальный контроль и контроль за изменением характеристик ОК и ГТУ.

В большинстве случаев отложения в ОК содержат некоторое количество растворимых в воде веществ и масла. Масляные включения легче удаляются с помощью моющих средств. С другой стороны, любые отложения могут удаляться одной водой, в зависимости от количества водорастворимых веществ в отложениях.

Фирма GE рекомендует проводить промывку на ходу чистой водой, без использования моющего средства (очистителя). Эффективность очистителя при промывке на ходу, по мнению фирмы, ограничена ввиду отсутствия достаточного времени на отмачивание по сравнению с промывкой на

холодной прокрутке. Более эффективная промывка осуществляется горячей водой (66 - 93 °С).

Промывка на ходу допускается при температурах наружного воздуха  $t_b$  выше 10 °С. При более холодных условиях в моющий раствор добавляются антифризы.

Промывка на холодной прокрутке не должна производиться при  $t_b < 4$  °С.

## 2.9 Разработанная технология промывки проточной части

Вне зависимости от ухудшения характеристик ОК, нормальный комбинированный режим промывки на работающем и неработающем ГТД должен включать как минимум четыре промывки на неработающем ГТД в год, призванные удалить солевые отложения на последних ступенях ОК.

Промывку проточной части двигателя проводить через каждые 3000 часов наработки ГПА, а также в случаях повышенного «скольжения» или повышенной более чем на 30°С, температуры газов за ТВД по сравнению с формулярными значениями. Промывку проводят только после охлаждения корпуса двигателя до температуры 50...60°С моющим раствором, который состоит из 170 литров моющего средства «Синвал» ТУ5-101.532-76. Температура моющего раствора 60...80°С. Моющий раствор подают к промывочным коллекторам переднего корпуса КНД и переходника под давлением 0,4...0,6 МПа через фильтр с тонкостью очистки не более 40 мкм.

Последовательность промывки:

а) отсоединить от двигателя трубки:

- отвода воздуха от КВД к автомату приёмистости Р0 и от «Сапфира» замера перепада на форсунках и к РКС;
- отвода газа от топливного коллектора двигателя к тому же «Сапфиру»;
- замера давления в разгрузочной полости КНД;

- замера давления в разгрузочной полости КВД;

- замера давления в разгрузочной полости ТН.

На освободившиеся штуцеры установить заглушки

б) подготовить ГПА к ХП;

в) приготовить моющий раствор

г) провести ХП и при достижении частоты вращения КНД 50...100 мин<sup>-1</sup> включить подачу моющего раствора к двигателю;

д) после окончания ХП (при снижении частоты вращения КНД до 400...500 мин<sup>-1</sup>) отключить подачу моющего раствора;

е) после промывки раствором провести промывку водой с температурой 60...80°С для удаления остатков моющего раствора (80...100 литров для промывки КНД и 60...80 литров для промывки КВД)

Рекомендуемый порядок промывки и количество ХП приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемый порядок промывки и количество ХП

Последовательность операции	Место подвода раствора и воды	
	Коллектор КНД	Коллектор переходника
3 ХП	Моющий раствор	Не подается
1 ХП	Не подается	Моющий раствор
2 ХП	Вода	Не подается
1 ХП	Не подается	Вода

Взять пробу масла из системы смазки двигателя на воду. При обнаружении воды провести замену масла.

Промывку проточной части двигателя проводят преимущественно при положительных температурах наружного воздуха, т.к. в условиях низких температур возможно обмерзание проточной части.

#### Определение загрязнения проточной части ГТД

Для определения предельно-допустимого загрязнения проточной части двигателя в процессе эксплуатации необходимо контролировать изменения «скольжения» и температуры газов за ТВД. Проверку изменения характеристик проводят на режимах выше 0,5N.

### 2.10 Практические примеры

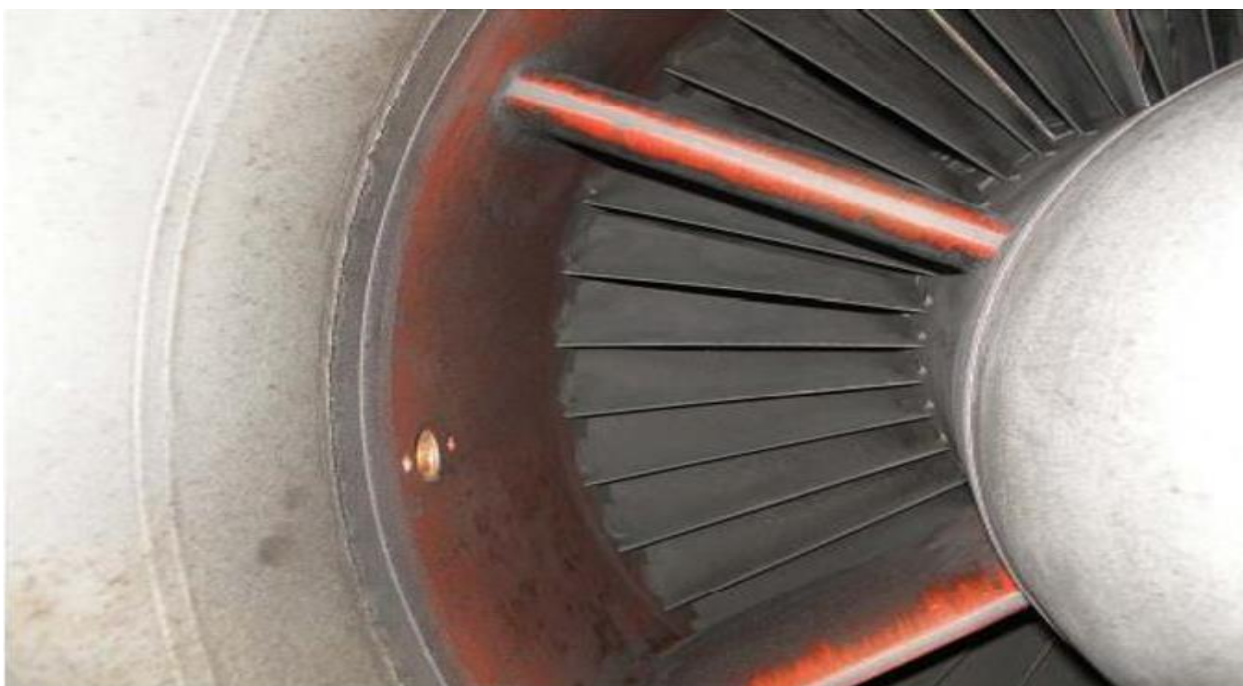




Рисунок 5 – Лопатки ВНА ОК КНД до промывки

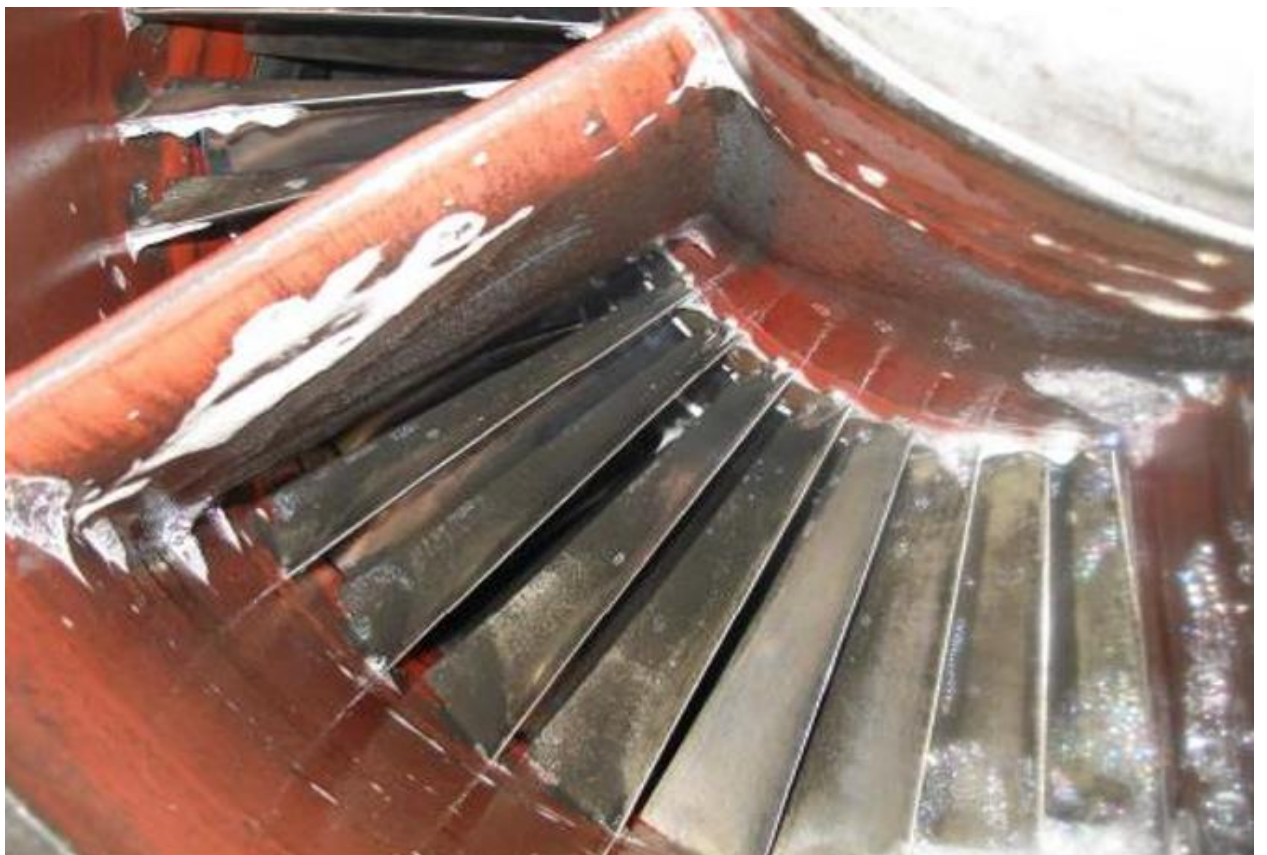




Рисунок 6 – Замачивание лопаток ВНА ОК ГТД при промывке



Рисунок 7 – Отбор жидкости из дренажей после каждого впрыска



Рисунок 8 – Состояние лопаток ВНА ОК КНД после промывки



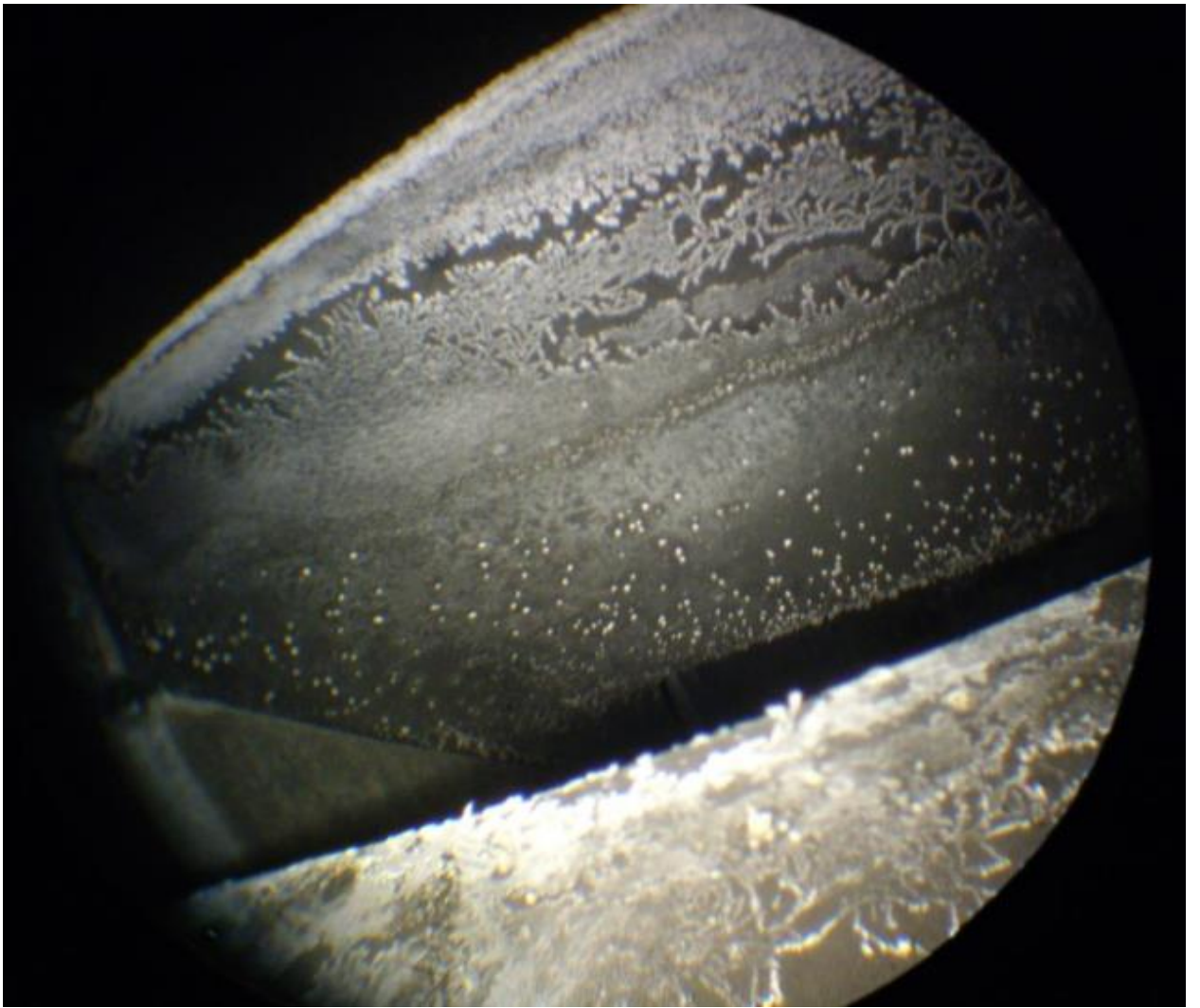


Рисунок 9 – Лопатки осевого компрессора до промывки

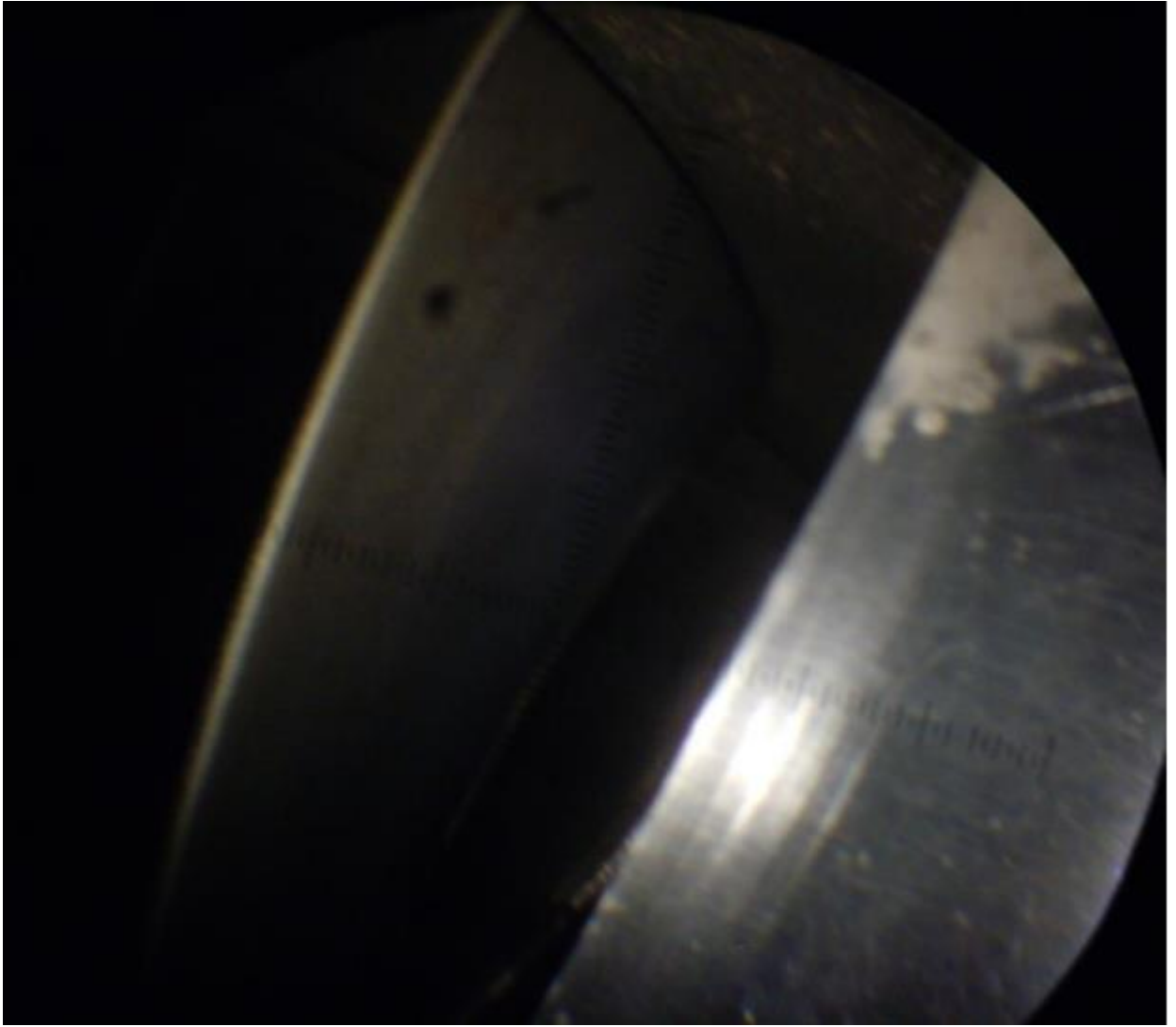


Рисунок 10 – Лопатки осевого компрессора после промывки

### 3. Расчетная часть

#### 3.1 Расчет термогазодинамических параметров газотурбинной установки

##### *Общая схема измерения термогазодинамических параметров*

Расчет эффективной мощности и КПД газоперекачивающего агрегата выполнен для газотурбинных двигателей (комплексов) ГТК-10-4 (рис. 1) с нагнетателем 370-18-1 по методикам известных учёных: Зарицкого С.П., Лопатина А.С., Поршакова Б.П., Степанова О.А., Шабарова А.Б.

Расчёт термогазодинамических параметров проводится с целью качественного сравнения существующих методик определения эффективной мощности  $N_e$ , КПД  $\eta_e$  и выявления их применимости на практике в области диагностики газоперекачивающих агрегатов. Расчётная схема приведена на рис. 11.

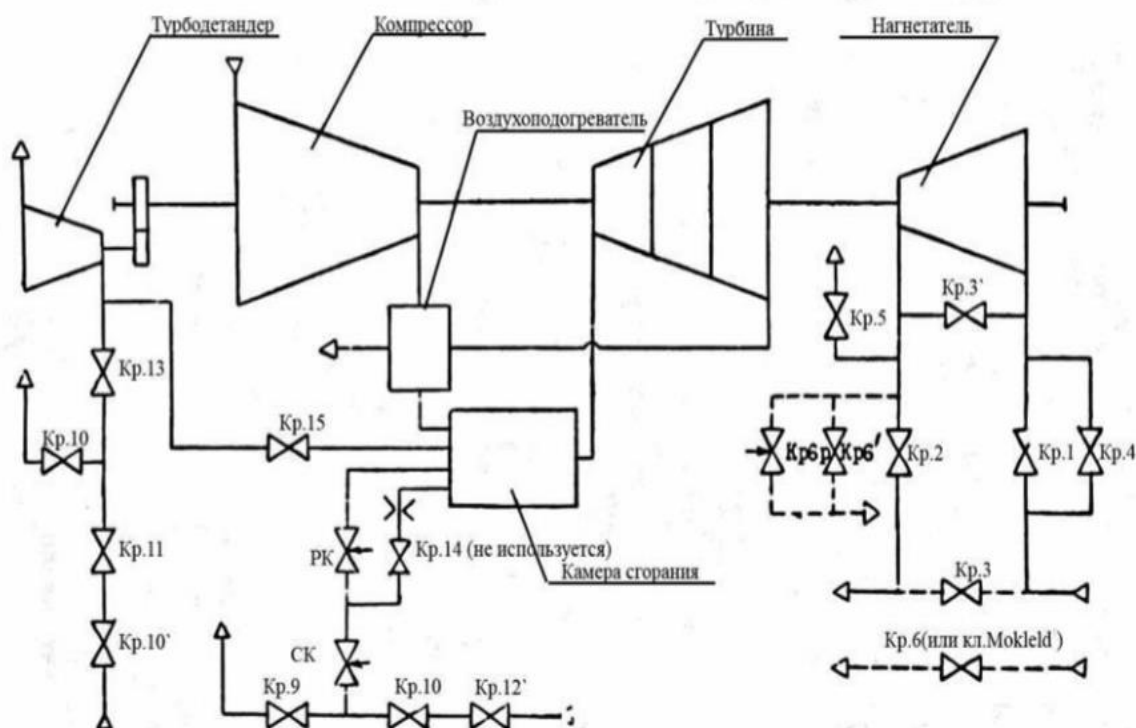


Рисунок 11 - Общая схема ГТК-10-4

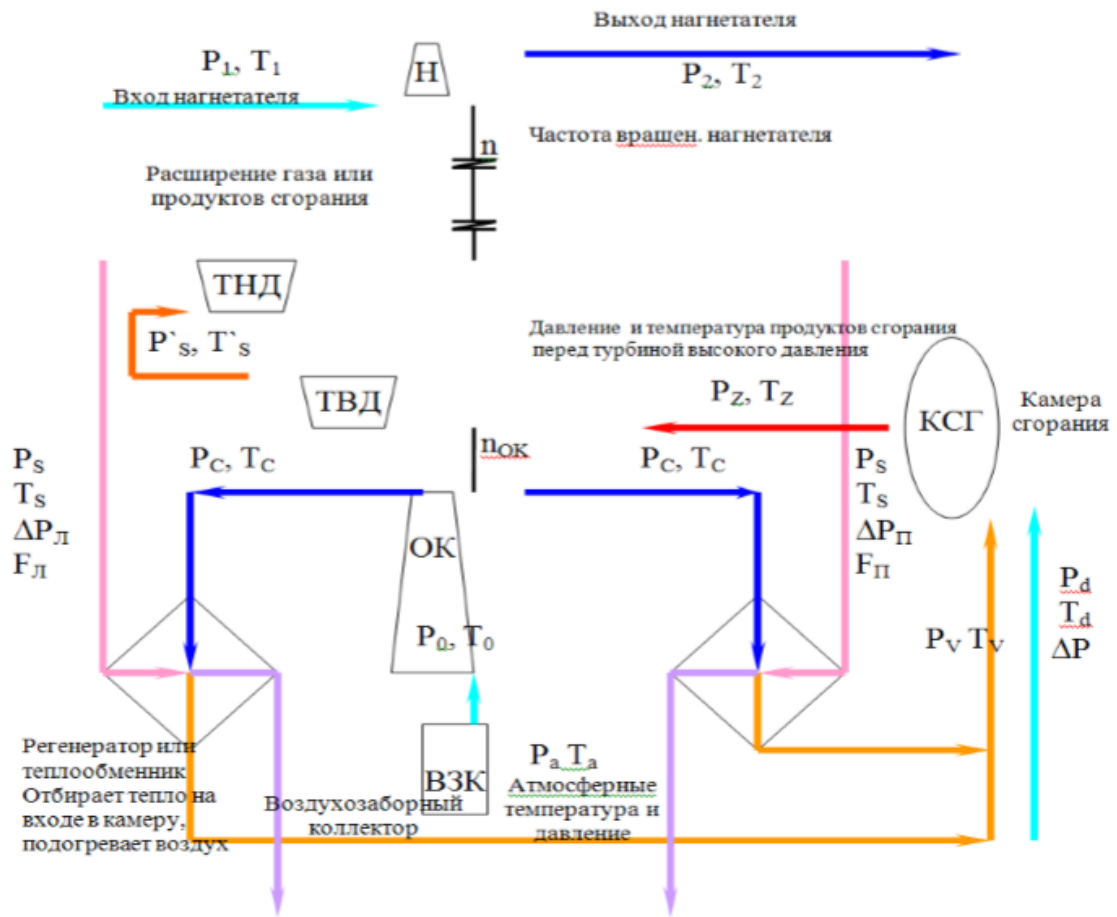


Рисунок 12 – Схема измерения термогазодинамических параметров

На расчётной схеме указаны основные конструкционные элементы газоперерабатывающих агрегатов ГПА и параметры, измеряемые на агрегатах с помощью, как штатных приборов, так и специально устанавливаемых измерительных приборов необходимых для получения достаточной первичной информации используемой в расчётных методиках. Более детальное описание схемы приведено ниже. Из воздухозаборной камеры забирается воздух с параметрами  $T_a$  и  $P_a$ , которые регистрируются штатными приборами. Перед первой ступенью ОК происходит небольшое изменение параметров всасываемого воздуха до уровня  $T_0, P_0$ . В ОК воздух сжимается и на выходе приобретает параметры  $T_c, P_c$ , которые регистрируются штатной аппаратурой. Сжатый воздух поступает в теплообменник (регенератор) и подогревается до температуры  $T_v$  и давление составляет  $P_v$ . Сжатый и подогретый воздух поступает в камеру сгорания, где смешивается с

топливным газом, который подаётся по отдельному топливопроводу. Параметры топливного газа  $T_d$ ,  $P_d$ ,  $\Delta P$  регистрируются дополнительной аппаратурой. Продукты сгорания после КСГ поступают в ТВД с параметрами  $T_Z$  и  $P_Z$ .  $T_Z$  рассчитывается,  $P_Z$  регистрируется штатной аппаратурой. Температура продуктов сгорания ( $T'_S$ ) между ТВД и ТНД рассчитывается. Продукты сгорания на выходе ТНД имеют параметры  $T_S$  и  $P_S$ , измеряемые штатной аппаратурой. Дополнительно установлен расходомер продуктов сгорания, который регистрирует  $\Delta P$ , как на левом, так и на правом газоходе. По нагнетателю штатной аппаратурой регистрируются параметры газа  $T_1$ ,  $P_1$  и  $T_2$ ,  $P_2$ , а также частота вращения ротора нагнетателя  $n = n_{ТНД}$  и ротора ОК ( $n_{ОК} = n_{ТВД}$ ). Состав компонентов транспортируемого газа по данным КС приведён в табл.1.

***Условные обозначения и размерности величин:***

$Q_{ТГ}$  – объёмный расход топливного газа, м<sup>3</sup>/ч;

$\Delta P$  – перепад давления на расходомере, МПа;

$\rho_H$  – плотность газа при нормальных условиях,  $\rho_H = 0,69$  кг/м<sup>3</sup>;

$B = G_m$  – массовый расход топливного газа, кг/с; кг/ч

$F$  – площадь поперечного сечения выхлопного газохода, м<sup>2</sup>;

$T_S = T_T$  и  $P_S = P_T$  – абсолютные температура и давление продуктов сгорания после Турбины низкого давления, К и МПа;

$P_a$  – атмосферное давление воздуха, МПа;

$T_a$  – температура наружного воздуха, К;

$\rho_{15}$  – нормальная плотность воздуха,  $\rho_{15} = 1,0226$  кг/м<sup>3</sup>;

$P_{ИЗБ}$  – избыточное давление воздуха, МПа;

$T_Z = T_T$  – температура продуктов сгорания перед ТВД, К;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;

$M_B$  – расход воздуха, кг/с;

$M_{ПС}$  – расход продуктов сгорания, кг/с;

$L_0$  – теоретически необходимый расход сухого воздуха в кг на 1 кг топлива;

$C_{РПС}=C_{P_2}$ ,  $C_{P_6}$  – теплоёмкости продуктов сгорания и воздуха, кДж/кг·К;

$T_C=T_K$ ,  $T_V=T_P$  – температура воздуха до и после регенератора, К;

$Q_H^P$  – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг;

$\mu_m$  – молекулярный вес смеси газов;

$E$  – характеристика элементарного состава топлива;

$N_e$  – эффективная мощность ГТУ, кВт;

$\eta_e$  – эффективный КПД ГТУ;

$\eta_{КС}$  – КПД камеры сгорания;

$N_{ОК}$  – мощность Осевого компрессора, кВт;

$N_{ТВД}$  – мощность ТВД, кВт;

$T_S$  – температура продуктов сгорания за ТВД, К;

$N_H$  – мощность нагнетателя, кВт;

$R$  – газовая постоянная, кДж/кг·К;

$\pi_T = \varepsilon_T$  – степень расширения продуктов сгорания в ТВД и ТНД;

$P_Z = P_T$  – давление продуктов сгорания перед ТВД;

$\eta_L$  – лопаточный КПД турбины;

$k$  – показатель изоэнтропии в процессе расширения;



$g_m$  – относительный расход топлива; кг

$T_O$  – температура определения низшей теплоты сгорания QHP, К;

$L_K$  – удельная работа компрессора, кДж/кг;

$L_T$  – удельная работа турбины, кДж/кг;

$\eta_m$  – механический КПД турбины;

$N_{eуд}$  – удельная мощность ГТУ, кВт;

$C_e$  – удельный расход топлива, кг/кВт·ч;

$C$  – коэффициент характеризующий состав газа;

$\Delta C_p$  – поправка к теплоёмкости газа, кДж/кг·К;

$C_{p0}$  – среднее значение теплоёмкости газа в разрежённом состоянии, кДж/кг·К;

$T_1, T_2$  – температуры газа на входе и выходе из нагнетателя, К;

$\Delta h$  – изменение энтальпии, кДж/кг;

$\rho_{нагн}$  – плотность газа на входе в нагнетатель, кг/м<sup>3</sup>;

$n, n_{ном}$  – рабочее и номинальное значение частоты вращения ротора ТНД, об/мин;

$N_{мех}$  – механические потери мощности, кВт;

$N_{eП}$  – паспортная мощность ГТУ, кВт;

$T_{Zном}$  – номинальное значение температуры продуктов сгорания перед ТВД, К;

$T_{aном}$  – номинальное значение температуры наружного воздуха, К;

$P_{аном}$  – номинальное значение давления наружного воздуха, МПа;

$K_{ГТУ}$  – коэффициент технического состояния ГТУ;

$C'$  – коэффициент приведения для ГТКомпрессора-10-4;

$\eta_{ном}$  – номинальное значение эффективного КПД ГТУ;

$P_C$  – давление воздуха за ОК, МПа;

$B$  – мощностной параметр;

$\varepsilon_K$  – степень сжатия воздуха в компрессоре;

$K$  – поправочный коэффициент, учитывающий параметры воздуха перед компрессором;

$P_{НОМ}$ ,  $T_{НОМ}$  – значения давления и температуры наружного воздуха при нормальных условиях, МПа, К;

$A$  – коэффициент входного конфузора компрессора;

$\Delta P_K$  – перепад давления в конфузоре перед компрессором, МПа;

$Ne_{НОМ}$  – номинальное значение эффективной мощности, кВт.

### Исходные данные для расчёта термогазодинамических параметров

Исходные данные по составу и характеристикам компонентов природного газа приведены в табл.2. Общие исходные данные по ТПП ГТК-10-4 (рис. 1) приведены в табл. 3.

Таблица 2 - Состав и характеристики компонентов природного газа

Характеристики	Компоненты						
	<b>СН4</b>	<b>С2Н6</b>	<b>С3Н8</b>	<b>С4Н10</b>	<b>СО2</b>	<b>Н2S</b>	<b>Н2</b>
	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>			
Молярная концентрация %,r	98,0	0,4	0,2	0,0	0,10	0	1,3
Молекулярный вес, $\mu_i$	16,04	30,07	44,09	58,12	44,02	0	28,00

Низшая теплота сгорания $Q_{HR}$ , кДж/кг	49 933	47 415	46 302	47 327	–	21 750	–
---	--------	--------	--------	--------	---	--------	---

Таблица 3 – Общие исходные данные

Величина	Размерность	Значения
$P_a$	МПа	0,0987
$P_{изб}$	МПа	0,00260
$\rho_{15}$	кг/м <sup>3</sup>	1,226
$T_S$	К	743
$F_L$	м <sup>2</sup>	1,826
$F_{II}$	м <sup>2</sup>	1,826
$\Delta P_L$	МПа	$4,360 \cdot 10^{-4}$
$\Delta P_{II}$	МПа	$4,260 \cdot 10^{-4}$
$B$	кг/с	0,665
$T_C$	К	480
$T_V$	К	653
$T_0$	К	288
$\rho_H$	кг/м <sup>3</sup>	0,690
$T_a$	К	294
$P_0$	МПа	0,102
$P_1$	МПа	5,8
$T_1$	К	300
$P_2$	МПа	6,2
$T_2$	К	315,5
$P_C$	МПа	0,305
$P_Z$	МПа	0,36
$T_S$	К	743
$P_{Sn}$	МПа	0,1039
$P_{Sl}$	МПа	0,1039
$\eta_l$		0,93
$\eta_2$		0,98
$\eta_m$		0,995
$T_O$	К	288
$\rho_{нагн}$	кг/м <sup>3</sup>	40,561
$b_1$		19,8
$b_2$		-9067,4
$b_3$		53778,5
$b_4$		-98100,6
$b_5$		57570,2

$n_{ном}$	об/мин	4800
$n$	об/мин	4300
$N_{мех}$	кВт	100
$N_{еном}$	кВт	10000
$T_{Zном}$	К	1053
$Ta_{ном}$	К	288
$Pa_{ном}$	МПа	0,101325
$n_{еном}$		0,29
$C^$		0,3
$A$		0,292
$\Delta P_K$	МПа	0,00974

**Расчет термогазодинамических параметров (ТГДП), основанный на методике Зарицкого С.П., Лопатина А.С., Поршакова Б.П., Степанова О.А., Шабарова А.Б.**

1. Расчет молекулярного веса смеси газов:

$$\mu_T = \frac{1}{100} \cdot \sum r_i \cdot \mu_i \text{ г}; \quad (1)$$

$$\mu_T = \frac{1}{100} \cdot \sum 98 \cdot 16,04 + 0,4 \cdot 30,07 +$$

$$+ 0,2 \cdot 44,09 + 0,0 \cdot 58,12 + 0,1 \cdot 44,02 + 1,3 \cdot 28,00 = 16,33$$

2. Весовая горючая концентрация элементов топлива в %:

Весовая горючая концентрация углерода:

$$C^r = \frac{12,01}{\mu_T} \cdot (r_{C_1} + 2r_{C_2} + 3r_{C_3} + \dots + r_{CO_2}); \quad (2)$$

$$C^r = \frac{12,01}{16,336} \cdot (98 + 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,0 + 0,1) = 73,15$$

Весовая горючая концентрация водорода:

$$H^r = \frac{1,008}{\mu_T} \cdot (4r_{C_1} + 6r_{C_2} + 8r_{C_3} + \dots + 2r_{H_2S}); \quad (3)$$

$$H^r = \frac{1,008}{16,336} \cdot (392 + 2,4 + 1,6 + 0 + 0) = 24,43$$

Весовая горючая концентрация серы:

$$S^{\Gamma} = \frac{32,06}{\mu_{\Gamma}} \cdot r_{H_2S}; \quad (4)$$

$$S^{\Gamma} = \frac{32,06}{16,336} \cdot 0 = 0$$

Весовая горючая концентрация азота:

$$N^{\Gamma} = \frac{14,008}{\mu_{\Gamma}} \cdot 2r_{N_2}; \quad (5)$$

$$N^{\Gamma} = \frac{14,008}{16,336} \cdot 2 \cdot 1,3 = 2,23$$

Весовая горючая концентрация кислорода:

$$O^{\Gamma} = \frac{16}{\mu_{\Gamma}} \cdot 2r_{CO_2}; \quad (6)$$

$$O^{\Gamma} = \frac{16}{16,336} \cdot 2 \cdot 0,1 = 0,196$$

Характеристика элементарного состава топлива:

$$E = 2,979 \cdot \frac{H^{\Gamma} - 0,126 \cdot O^{\Gamma}}{C^{\Gamma} + 0,375 \cdot S^{\Gamma}}; \quad (7)$$

$$E = 2,979 \cdot \frac{24,43 - 0,126 \cdot 0,196}{73,15 + 0,375 \cdot 0} = 0,3336$$

Теоретически необходимый расход сухого воздуха в кг на 1 кг топлива:

$$L_0 = 0,1151 \cdot (1 + E) \cdot (C^{\Gamma} + 0,375 \cdot S^{\Gamma}); \quad (8)$$

$$L_0 = 0,1151 \cdot (1 + 0,3336) \cdot (73,15 + 0,375 \cdot 0) = 11,228 \text{ кг}$$

Низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг:

$$Q_H^P = \frac{\sum r_i \cdot Q_i}{100}; \quad (9)$$

$$Q_H^P = \frac{98 \cdot 49933 + 0,4 \cdot 47415 + 0,2 \cdot 46302}{100} = 49216,6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Газовая постоянная:

$$R = \frac{8,314}{\mu_T}; \quad (10)$$

$$R = \frac{8,314}{16,336} = 0,509 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot \text{К}$$

Плотность продуктов сгорания за ТНД:

$$P_s = P_a + P_{\text{изб}}; \quad (11)$$

$$P_s = 0,0987 + 0,0026 = 0,1013 \text{ МПа}$$

Правый газоход:

$$\rho_{\text{П}} = \rho_{15} \cdot \frac{P_s \cdot 288}{0,0981 \cdot T_s}; \quad (12)$$

$$\rho_{\text{П}} = 1,0226 \cdot \frac{0,1013 \cdot 288}{0,0981 \cdot 743} = 0,4093 \text{ кг/м}^3$$

Левый газоход:

$$\rho_{\text{Л}} = \rho_{15} \cdot \frac{P_s \cdot 288}{0,0981 \cdot T_s}; \quad (13)$$

$$\rho_{\text{Л}} = 1,0226 \cdot \frac{0,1013 \cdot 288}{0,0981 \cdot 743} = 0,4093 \text{ кг/м}^3$$

Расходы продуктов сгорания:

Левый газоход:

$$M_{\text{ПсЛ}} = F_{\text{Л}} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P_{\text{Л}} \cdot 10^6 \cdot \rho_{\text{Л}}}; \quad (14)$$

$$M_{\text{ПсЛ}} = 1,826 \cdot \sqrt{2 \cdot 4,36 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot 0,4093} = 34,49 \text{ кг/с}$$

Правый газоход:

$$M_{\text{ПсП}} = F_{\text{П}} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P_{\text{П}} \cdot 10^6 \cdot \rho_{\text{П}}}; \quad (15)$$

$$M_{\text{ПсП}} = 1,826 \cdot \sqrt{2 \cdot 4,26 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \cdot 0,4093} = 34,099 \text{ кг/с}$$

Общий расход продуктов сгорания:

$$M_{\text{Пс}} = M_{\text{ПсЛ}} + M_{\text{ПсП}}; \quad (16)$$

$$M_{\text{Пс}} = 34,49 + 34,099 = 68,589 \text{ кг/с}$$

Расход воздуха в кг/с:

$$M_{\text{В}} = M_{\text{Пс}} - B; \quad (17)$$

$$M_{\text{В}} = 68,589 - 0,665 = 67,924 \text{ кг/с}$$

Коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = \frac{M_{\text{В}}}{B \cdot L_0}; \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{67,924}{0,665 \cdot 11,228} = 9,093$$

Теплоемкость продуктов сгорания (воздуха) кДж/кг·К:

$$C_{\text{РВ}} = 0,9379 + 0,000198 \cdot \frac{T_{\text{С}} + T_{\text{С}}}{2}; \quad (19)$$

$$C_{PB} = 0,9379 + 0,000198 \cdot \frac{743 + 480}{2} = 1,06$$

Температура продуктов сгорания перед ТВД:

$$T_z = \frac{0,98 \cdot Q_H^P + C_{PB} \cdot (\alpha \cdot L_0 \cdot T_V + T_0)}{C_{PB} \cdot (\alpha \cdot L_0 + 1)}; \quad (20)$$

$$T_z = \frac{0,98 \cdot 49216,6 + 1,06 \cdot (9,093 \cdot 11,228 \cdot 653 + 288)}{1,06 \cdot (9,093 \cdot 11,228 + 1)} = 1091 \text{ К}$$

Мощность осевого компрессора:

$$N_{OK} = M_B \cdot C_{PB} \cdot (T_C - T_0); \quad (21)$$

$$N_{OK} = 67,924 \cdot 1,06 \cdot (480 - 288) = 13824 \text{ кВт}$$

Мощность турбины высокого давления при условии, что ТВД и ОК на одном валу:

$$N_{ТВД} = 1,015 \cdot N_{OK}; \quad (22)$$

$$N_{ТВД} = 1,015 \cdot 13824 = 14031 \text{ кВт}$$

Температура продуктов сгорания за ТВД:

$$C_{P_{ПС}} = 0,9796 + 0,000283 \cdot \frac{T_S - T_C}{2}; \quad (23)$$

$$C_{P_{ПС}} = 0,9796 + 0,000283 \cdot \frac{743 - 480}{2} = 1,017$$

$$T_S = T_z - \frac{N_{ТВД}}{M_{ПС} \cdot C_{P_{ПС}}}; \quad (24)$$



$$T_S' = 1091 - \frac{14031}{68,589 \cdot 1,017} = 888 \text{ К}$$

Эффективная мощность ГПА:

$$N_e = M_{\text{ПС}} \cdot C_{P_{\text{ПС}}} \cdot (T_S' - T_S); \quad (25)$$

$$N_e = 68,589 \cdot 1,017 \cdot (888 - 743) = 10114,5 \text{ кВт}$$

Эффективный КПД ГПА:

$$\eta_e = \frac{N_e}{B \cdot Q_H^P}; \quad (26)$$

$$\eta_e = \frac{10114,5}{0,665 \cdot 49216,6} = 0,3090 \approx 31\%$$

В ходе исследования был произведен расчет термогазодинамических параметров (ТГДП) газотурбинной установки основанный на методике Зарицкого С.П., Лопатина А.С., Поршакова Б.П., Степанова О.А., Шабарова А.Б. с целью качественного сравнения существующих методик определения эффективной мощности  $N_e$ , КПД  $\eta_e$  и выявлению их применимости на практике в области диагностики газоперекачивающих агрегатов.

В результате расчетов был сделан вывод о том, что при данных исходных значениях эффективная мощность и КПД ГПА получилось равным 31 %, это свидетельствует о том, что промывка проточной части, предложенным мною методом, оказалась эффективной, так как паспортное значение КПД ГПА составляет 32 %.




#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

##### 4.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Основным продуктом для потенциальных потребителей, которые представлены нефтегазовыми компаниями, является оборудование для промывки проточной части центробежных машин. Строим карту сегментирования рынка услуг (таблица 4) для различных видов данного оборудования.

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка услуг

		Вид оборудования		
		Промывка проточной части с использованием моющего раствора	Промывка проточной части деминерализованной водой	Сухая очистка проточной части
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

 - «Томскгазпром»  - «Томскнефть»  - «Татнефть»

Вывод: Использование промывки проточной части компрессора с использованием моющего раствора выгодно только для крупных компаний, поскольку такой способ очистки используется при наличии нескольких газоперекачивающих агрегатов, и установка этой системы очистки для одного

агрегата нерациональна. Промывка проточной части компрессора на основе деминерализированной воды также важны крупным компаниям, поскольку помимо своей основной задачи, а именно промывке проточной части компрессора, за счет свойств деминерализированной воды время простоя оборудования будет минимальным. Внедрение сухой очистки проточной части также играет важную роль для любых компаний, поскольку при очистке сухим методом используется мелкий абразив, который легко доступный и не нужно использовать дополнительное оборудование, как например, при промывке жидкостными способами.

#### **4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Срок службы	0,1	3	4	2	0,3	0,4	0,2

2. Ремонтопригодность	0,13	2	2	4	0,26	0,26	0,52
3. Надежность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4. Простота ремонта	0,12	4	3	4	0,48	0,36	0,48
5. Удобство в эксплуатации	0,11	2	4	3	0,22	0,44	0,33
6. Уровень шума	0,08	4	5	2	0,32	0,4	0,16
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,02	4	4	4	0,08	0,08	0,08
2. Уровень проникновения на рынок	0,08	3	3	5	0,24	0,24	0,4
3. Цена	0,1	2	3	4	0,2	0,3	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	3	2	0,24	0,18	0,12
5. Послепродажное обслуживание	0,07	3	2	4	0,21	0,14	0,28
Итого	1	35	37	37	2,95	3,2	3,27

Б<sub>Ф</sub> – Промывка проточной части с использованием моющего раствора;

Б<sub>к1</sub> – Промывка проточной части деминерализированной водой;

Б<sub>к2</sub> – Сухая очистка проточной части.

По таблице 5 видно, что наиболее эффективно использовать сухую очистку проточной части, так же она является наиболее конкурентоспособным к другим видам, так как обладает рядом преимуществ. В частности, сухая промывка проточной части не требует дополнительного оборудования, так как используется измельченный абразив, что позволяет не делать дополнительных затрат на дорогостоящее оборудование.

$$k1 = \frac{Бф}{Бк1} = \frac{35}{37} = 0,945; k2 = \frac{Бк2}{Бк1} = \frac{37}{37} = 1$$

### **4.3 SWOT – анализ**

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены ниже.

#### **Сильные стороны научно-исследовательского проекта:**

С1: Отсутствие необходимости закупки материалов и комплектующих для исследования;

С2: Эффективная очистка, которая полностью восстанавливает характеристики компрессора после загрязнения;

С3: Использование 3D моделирования.

#### **Слабые стороны научно-исследовательского проекта:**

Сл1: Сложность при установке;

Сл2: Более сложная конструкция, соответственно более трудоемкие работы по ТО и Р, по сравнению с сухой очисткой и промывкой деминерализованной водой.

**Возможности:**

В1: Сотрудничество с изготовителями моющих растворов;

В2: Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;

В3: Повышение стоимости конкурентных разработок.

**Угрозы:**

У1: Отсутствие спроса на новые производства;

У2: Низкое финансирование;

У3: Высокая конкуренция в данной отрасли.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Вторым этапом является выявление 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. 6, табл. 7, табл. 8, табл. 9.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	-	+	-	0
	B2	-	-	-	+

	В3	0	-	0	-
--	----	---	---	---	---

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: В1С2, В2С3.

Таблица 7 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	+
	В2	0	+	-
	В3	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: В1Сл3.

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1С3, У2С2.

Таблица 9 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	0
	У2	+	0	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2Сл1, У2Сл3.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (табл. 10).

Таблица 10 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<p><b>научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1: Отсутствие необходимости закупки материалов и комплектующих для исследования;</p> <p>С2: Эффективная очистка, которая полностью восстанавливает характеристики</p>	<p><b>научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1: Сложность при установке;</p> <p>Сл2: Более сложная конструкция, соответственно более трудоемкие работы по ТО и Р, по сравнению с сухой очисткой и промывкой</p>



	<p>компрессора после загрязнения;</p> <p>С3: Использование 3D моделирования;</p> <p>С4: Использование других видов моющих растворов.</p>	<p>деминерализованной водой;</p> <p>Сл3: Время простоя агрегата.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1: Сотрудничество с изготовителями моющих растворов;</p> <p>В2: Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В3: Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1С2 – Эффективная очистка проточной части с использованием различных моющих растворов;</p> <p>В2С3 – развитие 3D моделирования при использовании инфраструктуры ТПУ.</p>	<p>В1Сл3 – Применение новых моющих растворов, уменьшающих время простоя оборудования;</p> <p>В2Сл2 – разработка новой упрощенной конструкции с помощью инновационной инфраструктуры ТПУ.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1: Низкое финансирование;</p> <p>У2: Высокая конкуренция в данной отрасли.</p>	<p>У1С3 – возможность получения гранта при развитии технологий 3D моделирования;</p> <p>У2С2 – возможность эффективного восстановления</p>	<p>У2Сл1 – применение более упрощенной схемы установки промышленного оборудования позволит повысить</p>

	характеристик компрессора после загрязнения повысит его конкурентоспособность.	конкурентоспособность товара; У2Сл3 – уменьшение времени простоя агрегата расширит потенциальный спектр потребителей.
--	--	--

#### 4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования: предложить новую эффективную конструкцию устройства для промывки проточной части компрессора – промывка с использованием моющего раствора.

2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица. Результаты морфологической матрицы для охлаждающей трубчатой системы приведены в табл. 11.

Таблица 11 - Морфологическая матрица для промывки проточной части компрессора

Элементы системы	1	2	3
А. Исполнение	Мобильные	Стационарные	

Б. Подключение к коллектору системы промывки	Шланги	Трубопроводы	
В. Колесная база	Есть	Нет	
Г. Резервуар для моющего вещества	Постоянный баллон	Отдельная емкость	Сменный баллон
Д. Приведение в рабочее состояние	Ручное включение	Автоматическое включение	
Е. Вид насоса	Центробежный	Шестеренчатый	Винтовой
Ж. Тип подачи раствора	Сезонный	Непрерывный	
З. Дополнительное оснащение	Трубопровод перемешивания	Датчик уровня жидкости	Барaban
И. Тип привода	Электрический	Гидравлический	Механический

Выбор наиболее желательных функционально конкретных решений. На этом этапе описываются возможные варианты решения поставленной проблемы с позиции ее функционального содержания и ресурсосбережения. Составляющие элементы оригинальной системы объекта исследования представлены в столбце под номером 1.

Также можно предложить следующие варианты:  
 А1Б2В1Г1Д2Е2Ж2З1И2; А2Б1В2Г2Д1Е1Ж1З2И1.

## **4.5 Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.5.1 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. Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка тех. задания	1	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследования	Исполнитель проекта
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта

	4	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель проекта, Исполнитель проекта
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Исследование загрязнений и методов очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров	Исполнитель проекта
	6	Расчет термогазодинамических параметров для оценки загрязненности компрессора	Исполнитель проекта
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, Исполнитель проекта
Оформление отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, Исполнитель проекта

#### 4.5.2 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  $t_{ожi}$  используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

$t_{\max i}$  – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

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.

### 4.5.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

$T_{\text{вых}} = 52$  – количество выходных дней в году;

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 13.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ Чел - дни	$t_{max}$ Чел - дни	$t_{ож}$ Чел - дни			
Составление и утверждение тех. задания	1	2	1,4	Руководитель	1,4	2
Выбор направления исследования	2	4	2,8	Руководитель	2,8	4
Календарное планирование работ по теме	2	4	2,8	Руководитель Исполнитель проекта	1,4	2
Подбор и изучение материалов по теме	6	10	7,6	Исполнитель проекта	7,6	10
Исследование загрязнений и методов очистки лопаточного	6	12	8,4	Исполнитель проекта	8,4	11



аппарата осевых компрессоров						
Расчет термогазодинамических параметров для оценки загрязненности компрессора	6	10	7,6	Исполнитель проекта	7,6	10
Оценка результатов исследования	5	7	5,8	Руководитель, Исполнитель проекта	2,9	4
Составление пояснительной записки	7	14	9,8	Руководитель, Исполнитель проекта	4,9	6

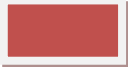

На основе таблицы 13 строим план график, представленный в таблице 14.

Таблица 14 - Календарный план график проведения НИР по теме

№ р	Вид работ	Испол-		Продолжительность выполнения работ
--------	-----------	--------	--	------------------------------------

		нители	T <sub>кi</sub> , кал. дни	Фев.		Март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение тех. задания	Р	2											
2	Выбор направления исследования	Р	4											
3	Календарное планирование работ по теме	Р,Д	2											
4	Подбор и изучение материалов по теме	Д	10											
5	Исследование загрязнений и методов очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров	Д	11											
6	Расчет термогазодинамических параметров для оценки загрязненности компрессора	Д	10											

7	Оценка результатов исследования	Р, Д	4											
8	Составление пояснительной записки	Р, Д	6											

 - руководитель (Р)  - дипломник (Д)

#### 4.5.4 Бюджет научно-технического исследования

Затраты на специальное оборудование и материальные затраты отсутствуют, поскольку настоящее исследование не требует закупки оборудования, сырья, материалов, запасных частей. В моем научно-техническом исследовании изготовление опытного образца не производится, поэтому затраты на его производство отсутствуют.

Для проведения научного исследования нам необходим компьютер, с установленным на него специальных программ и с нужным нам программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера:

$$Z = d_k + d_{по} = 24000 + 2000 = 26000 \text{ руб.}$$

где  $d_k$  – стоимость компьютера;

$d_{по}$  – стоимость программного обеспечения.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

#### 4.5.5 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости

выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Таблица 15 - Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящая на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу(окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель	1,4	1,839	2,574
2	Выбор направления исследования	Руководитель	2,8	1,839	5,149
3	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель проекта	2,8	0,908	2,542
4	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, Исполнитель проекта	7,6	2,747	20,877

5	Исследование загрязнений и методов очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров	Исполнитель проекта	8,4	0,908	7,627
6	Расчет термогазодинамических параметров для оценки загрязненности компрессора	Исполнитель проекта	7,6	0,908	6,901
7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Исполнитель проекта	5,8	2,747	15,932
8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Исполнитель проекта	9,8	2,747	26,921
Итого:					88,523

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

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:

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}},$$

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:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{42637 \cdot 10,4}{241} = 1839 \text{ руб.},$$

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 16 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель проекта
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные		
- праздничные	66	66

Потери рабочего времени:		
- отпуск	58	72
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	241	217

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 18221 \cdot (1 + 0,3 + 0,5) \cdot 1,3 = 42637 \text{ руб.},$$

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

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

$k_d$  – 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  $Z_{тс}$ );

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

Тарифная заработная плата  $Z_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Таблица 17 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , 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	18,221	0,3	0,5	1,3	42,637	1,839	18	33,118

Исполнитель проекта	14,584	0	0	1,3	18,959	0,908	40	36,32
Итого:								69,438

#### 4.5.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 33118 = 4305 \text{ руб};$$

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 36320 = 4721 \text{ руб},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

#### 4.5.7 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:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (33118 + 4305) = 10141 \text{ руб},$$



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 18 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс. руб
	Исп. 1	
Руководитель	33118	4305
Исполнитель проекта	36320	4721
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Исполнение 1	10141	

#### 4.5.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 \\ = (61180 + 7300 + 17196) \cdot 0,16 = 13708 \text{ руб,}$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### **4.5.9 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 19 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	69438	
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4305	
3. Отчисления во внебюджетные фонды	10141	

4. Затраты на покупку компьютера	26000	
5. Накладные расходы	13708	16% от суммы 1-2
6. Бюджет затрат НИИ	123592	Сумма ст. 1-5

#### 4.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{86114}{86114} = 1,$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 20 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэф.	Промывка проточной части с использованием моющего раствора	Промывка проточной части деминерализованной водой	Сухая очистка проточной части
1.Безопасность	0,15	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	2	4	3
3. Срок службы	0,2	3	4	2
4. Ремонтопригодность	0,15	2	2	4
5. Надёжность	0,25	4	4	3
6. Материалоёмкость	0,1	4	3	2
Итого:	1	3,35	3,6	2,85

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,35.$$

$$I_p = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 3,6.$$

$$I_p = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 = 2,85.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

По расчетам видно следующее, что самый наибольший коэффициент интегральности является упромывки проточной части деминерализированной водой.

Таким образом, данный способ очистки остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ равный 123592 руб. основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

## **5. Социальная ответственность**

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию и разработке методов очистки проточных частей центробежных машин, которая используется для промывки проточных частей газоперекачивающих агрегатов. И поэтому 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 технологических компрессоров является машинный зал газоперекачивающего агрегата. В обязанности которого входит обслуживание щитов управления агрегатного уровня, отдельных технологических компрессоров. Запуск и остановка газоперекачивающих агрегатов, регулирование технологического режима их работы, контроль за работой технологического оборудования. Ремонт компрессоров и их приводов, узлов газовых коммуникаций, аппаратов и вспомогательного оборудования цехов, выявление и устранение неисправностей в работе газоперекачивающих агрегатов. Ведение ремонтных журналов.

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.

### **5.1 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:

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

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

Наличие 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 такая энергетическая установка, которая использует 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.

## **5.2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

В зависимости от длительного и интенсивного воздействия шума происходит снижение чувствительности органов слуха, которое выражается временным смещением порога слышимости, исчезающим после прекращения воздействия шума. При большой интенсивности и длительности шума происходят такие необратимые потери слуха, как тугоухость, которая характеризуется постоянной изменой порога слышимости.

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

### **5.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

В газотурбинной установке основным рабочим органом является ротор, частота вращения которого достигает 7000 об/мин и более. 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.

## **5.4. Охрана окружающей среды**

### **5.4.1. 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.

### **5.4.2. Воздействие на атмосферу**

Газотурбинная установка использует в качестве топлива природный газ. В общем случае продукты сгорания данного топлива 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.

#### **5.4.3 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.

#### **5.4.4 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.

#### **5.4.5 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.

## **5.5. Защита в чрезвычайных ситуациях**

### **5.5.1 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.

### **5.5.2 Описание превентивных мер по предупреждению ЧС**

Для предупреждения проявления данной чрезвычайной ситуации необходимо изначально провести моделирование процесса работы лопатки в программном комплексе с целью изучения влияния рабочих условий на ее работоспособность. Одной из причин разрушения лопатки являются знакопеременные составляющие аэродинамической силы, возникающей при срыве потока на данном конструктивном элементе. Однако невозможно учесть всех нюансов и дополнительных факторов при работе компрессора. С этой целью необходимо после процессов моделирования провести исследования готовой лопатки осевого компрессора в стендовых условиях с целью обнаружения всех возможных факторов, влияющих на ее прочность в рабочих условиях. Проведение именно эмпирических испытаний является наиболее важной мерой на пути предупреждения чрезвычайной ситуации.

### **5.5.3 Описание мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС**

Как было сказано выше, одной из причин, приводящих к разрушению лопатки, являются знакопеременные нагрузки в результате срыва потока воздуха с нее. Для повышения устойчивости осевого компрессора к возможной ЧС необходимо не допускать проявления этого процесса, путем более тщательных расчетов в конструкторском бюро. 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.

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

## **5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Компрессорная станция является объектом повышенной опасности для всего персонала. Она также является объектом, на котором установлено дорогостоящее оборудование, эксплуатировать которое должны специалисты

предприятия, прошедшие обучение и имеющие допуск к работе оборудования, транспорта. Такие специалисты должны знать, как действовать в нештатных ситуациях и в случаях аварий.

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.

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).

## **Заключение**

Результатом проведения данной работы является исследование загрязнения и методов очистки лопаточного аппарата осевых компрессоров газотурбинной установки, которое показало, что загрязнение лопаточного аппарата осевого компрессора газотурбинных установок приводит к заметному снижению полезной мощности и КПД ГТУ. Загрязнение приводит к снижению КПД осевого компрессора на  $0,5 \div 3$  %, полезной мощности ГТУ на  $3 \div 10$  % и КПД ГТУ на  $2 \div 5$  %.

Также был проведен расчет термогазодинамических параметров газотурбинной установки, который выявил снижение полезной мощности и эффективного КПД газотурбинной установки.

Проведен экономический расчет бюджета исследования, а также в разделе социальная ответственность выявлены положения безопасности при работе с газотурбинной установкой.

#### **Список используемых источников:**

1. Щуровский В.А., Левыкин А.П. Загрязнение и очистка проточных частей осевых компрессоров газотурбинных установок. М., ВНИИЭГАЗПром. Серия – Транспорт и хранение газа. – 1986, вып.11, с.28;
2. Арсеньев Л.В., Тырышкин В.Г. и др. «Стационарные газотурбинные установки», Л., Машиностроение, ЛО, 1989;
3. Кашина В.Н., Стешко Н.Л. Защита от пыли оборудования компрессорных станций. – Недра, 1971, 52с.;
4. Горелов В.И. Эксплуатация корабельных газотурбинных установок. Воениздат, 1972, 312 с.;
5. Фишер А.В. Исследование влияния эрозионного износа лопаток осевых компрессоров на их аэродинамические и прочностные характеристики. 1980.;
6. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. М., Энергоатомиздат. 1985, 304 с.;
7. Ревзин Б.С. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом:



8. Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 269 с.;
9. Михайлов Е.И., Резник В.А., Кринский А.А. «Комплексные воздухоочистительные устройства для энергетических установок». «Машиностроение» Л. 1978, 144 стр.;
10. Шальман Ю.И. Износ и изменение параметров осевой и центробежной ступеней при работе на запыленном воздухе. Сборник статей. – М.: Машиностроение 1966, с. 163-198.;
11. Гофлин А.П., Иванов В.Д., Гольдберг Ф.И. Влияние загрязнения проточной части осевых компрессоров на запас устойчивой работы. – «Энергомашиностроение» №6, 1981.;
12. Быков Ю.В., Гольдберг Ф.И., Илькин К.М. и др. Очистка проточных частей компрессоров ГТУ. Машиностроение. Л., изд «Машиностроение», 1973.;
13. Огнев В.В., Образцов В.И., Гительман А.И., Хазов И.Н. Новое поколение турбокомпрессорных агрегатов различного назначения на базе осевых компрессоров. – СПб: Компрессорная техника и пневматика, вып. 1-2 (10-11), 1996.;
14. Временная инструкция по жидкостной очистке осевых компрессоров газотурбинных агрегатов типа ГТК-10, ГТ-750-6. ВНИИГАЗ, 1982, 9 с.;
15. Тарабин А.П., Щуровский В.А. Анализ влияния эксплуатационных факторов на характеристики осевых компрессоров и ГТУ нового поколения. – Отчет НПО ЦКТИ-ВНИИГАЗ, 1994, 45 с.;
16. Ревзин Б.С. Осевые компрессоры газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. Екатеринбург: УГТУ, 2000. 90 с.;
17. Рудаченко А.В., Чухарева Н.В., Байкин С.С. Газотурбинные установки: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 139 с.;
18. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский

политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского  
политехнического университета, 2014. – 36 с.;