



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
ООП/ОПОП «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»
Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]

УДК 622.691.5:66.078

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ12	Бек Валерий Геннадьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Брусник О.В.	к.п.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Шарф И.В.	Д.Э.Н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Сечин А.А.	к.т.н., доцент		

Консультант - лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОИЯ ШБИП	Айкина Т.Ю.	к.ф.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	Шадрина А.В.	Д.Т.Н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
21.04.01 «Нефтегазовое дело»

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями		
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ</i>
ОПК(У)-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарт: 01.004</i>
Специализация «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»		
ПК(У)-1	Способность разрабатывать учебно-методическое обеспечение программ профессионального обучения, а также реализовывать их	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарт: 01.004</i>
ПК(У)-2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
ПК(У)-3	Способность оценивать экономическую эффективность инновационных решений в области трубопроводного транспорта углеводородов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-4	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-5	Способность участвовать в управлении технологическими комплексами, принимать решения в условиях неопределенности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-6	Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>
ПК(У)-7	Способность применять современные программные комплексы для проектирования технических устройств, аппаратов и механизмов, технологических процессов в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ Профстандарты: 19.010, 19.026, 19.055</i>



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»

Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП ОНД ИШПР

Шадрина А.В.

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ12	Бек Валерию Геннадьевичу

Тема работы:

Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]

Утверждена приказом директора (дата, номер) №37-60/с от 06.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<p>Объект исследования – площадочный объект компрессорная станция [REDACTED]; Плотность продукта: 0,760 кг/м³; Производительность коммерческая: [REDACTED]; Давление номинальное абсолютное на выходе из компрессора: 9,91 МПа; Мощность привода ГПА: 25 МВт</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Литературный обзор источников по проблеме повышения качества монтажа и эффективности работы ГПА на компрессорной станции; Изучение объекта и сравнительный анализ методом повышения эффективности работы ГПА; Анализ основных методов повышения эффективности работы ГПА и определение достоинств и недостатков каждого; Выбор оптимального метода; Расчет динамических нагрузок от роторов ГПА в случае возникновения эксцентриситета; Анализ полученных результатов, разработка рекомендаций по применению технологии с целью повышения эффективности работы ГПА.</p>

Перечень графического материала	Рисунки, схемы, таблицы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Шарф И.В, профессор ОНД
«Социальная ответственность»	Сечин А.А., доцент ООД
Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШПИБ	Айкина Т.Ю., доцент ОИЯ ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: выполнен литературный обзор на базе англоязычных источников на тему – Surge phenomena in a centrifugal compressor	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Брусник О.В.	к.п.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ12	Бек Валерий Геннадьевич		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Уровень образования магистратура

Отделение нефтегазового дела

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2023	<i>Введение</i>	5
09.02.2023	<i>Обзор литературы</i>	10
21.02.2023	<i>Характеристика объекта исследования</i>	10
20.03.2023	<i>Выбор оптимального метода повышения качества монтажа и эффективности работы ГПА</i>	20
27.04.2023	<i>Расчеты и аналитика</i>	20
15.05.2023	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
22.05.2023	<i>Социальная ответственность</i>	5
28.05.2023	<i>Заключение</i>	5
04.06.2023	<i>Презентация</i>	15
	<i>Итого</i>	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	О.В. Брусник	к.п.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОНД	А.В. Шадрина	д.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 120 с, 26 рис., 33 табл., 33 источника.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, сварка, индикаторное сварное соединение, компрессорная станция, монтаж.

Объект исследования: компрессорная станция.

Цель работы: разработка комплекса предложений по эффективному и перспективному развитию качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции.

В процессе исследования: был проведен анализ методов повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА.

В результате исследования: был разработан комплекс предложений по эффективному и перспективному развитию качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции путем внедрения метода пооперационного контроля сварки индикаторных стыков патрубков центробежного компрессора.

Область применения: компрессорный станции и магистральный транспорт газа.

Практическая значимость работы: был внедрен метод пооперационного контроля сварки индикаторных стыков всасывающего и нагнетательного патрубков центробежного компрессора, который позволил исключить появления эксцентриситета нагнетателя и проведение повторной центровки роторов ГПА.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Реферат	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.					7	120
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2БМ12		

Сокращения и обозначения

В настоящей выпускной квалификационной работе применены следующие сокращения и обозначения:

- АВО – аппарат воздушного охлаждения;
- АПК – антипомпажный клапан;
- ГПА – газоперекачивающий агрегат;
- ГВТ – газово-воздушный тракт;
- ГТД – газотурбинный двигатель;
- ГТП – газотурбинный привод;
- ГТУ – газотурбинная установка;
- ДКС – дожимная компрессорная станция;
- ДКУ – дожимная компрессорная установка;
- ПЭБ – производственно-энергетический блок;
- ТЗ – техническое задание;
- КВД – компрессор высокого давления;
- КИП – контрольно-измерительные приборы;
- КНД – компрессор низкого давления;
- КС – компрессорная станция;
- КЦ – компрессорный цех;
- МГ – магистральный газопровод;
- МЗУ – мобильная заправочная установка;
- НКУ – низковольтное комплектное устройство;
- ОПО – опасный производственный объект;
- СТ – свободная (силовая) турбина;
- ТО – техническое обслуживание;
- ЦБК – центробежный компрессор.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Лит.		Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.				8	120	
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.			Сокращения и обозначения			
					НИ ТПУ гр. 2БМ12			

Содержание

Введение.....	13
1 Общая характеристика объекта исследования.....	15
1.1 Краткая физико-географическая характеристика района работ ..	15
1.2 Краткая климатическая характеристика района работ	15
1.3 Условия работы и характеристика компрессорной станции.....	16
1.4 Общие сведения о ГПА-25	20
1.4.1 Технические характеристики ГПА-25 «Урал».....	20
1.4.2 Состав ГПА-25 «Урал».....	22
1.4.3 Конструкция и системы ГТУ-25П.....	23
1.4.4 Центробежный компрессор НЦ-25ДКС-06 «Урал».....	27
2 Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	29
2.1 Замена ГПА.....	29
2.2 Своевременное обслуживание и ремонт ГПА	32
2.3 Повышение качества пооперационного контроля сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК	35
3 Монтаж центробежного компрессора.....	38
3.1 Подготовка блока ЦБК к монтажу.....	39
3.2 Монтаж блока ЦБК.....	41
3.3 Сварка индикаторных сварных соединений патрубков ЦБК.....	45
3.4 Испытание газовой обвязки агрегата.....	47

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	[Redacted]			
Разраб.		Бек В.Г.			Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Брусник О.В.			9	120		
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.			Содержание			
					НИ ТПУ гр. 2БМ12			

4	Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	50
4.1	Подготовительные работы перед началом сборки и сварки сварных соединений на объекте	50
4.2	Повышение качества пооперационного контроля процесса сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК	52
4.3	Дополнительные рекомендации по повышению качества сборки и сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК.....	55
4.3.1	Ужесточение проведения процедуры входного контроля материалов	55
4.3.2	Применение переходных колец при сварке разнотолщинных сварных соединений.....	56
5	Результаты внедрения метода пооперационного контроля процесса сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК.....	59
6	Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	62
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	74
7.1	Расчет амортизационных отчислений	74
7.2	Расчет стоимости материалов на выполнение монтажных работ	75
7.3	Расчет затрат на оплату труда	77
7.4	Отчисления во внебюджетные страховые фонд.....	78
7.5	Затраты на топливо	79
7.6	Оценка экономической эффективности проекта.....	80
8	Социальная ответственность	86

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
8.2 Производственная безопасность	88
8.2.1 Анализ вредных производственных факторов	89
8.2.2 Анализ опасных производственных факторов	95
8.3 Экологическая безопасность	98
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	99
Заключение	102
Список используемых источников.....	103

Термины и определения

В данной работе приведены следующие термины и определения:

Газоперекачивающий агрегат, ГПА – установка, включающая в себя газовый компрессор (нагнетатель), привод (газотурбинный, электрический, поршневой или другого типа) и оборудование, необходимое для их функционирования.

Газотурбинный двигатель, ГТД – Машина, предназначенная для преобразования тепловой энергии в механическую.

Газотурбинная установка, ГТУ – газотурбинный двигатель и все основное оборудование, необходимое для генерирования энергии в полезной форме.

Компрессорная станция, КС – комплекс сооружений и оборудования для повышения давления сжатия газа при его добыче, транспортировке и хранении.

Центробежный нагнетатель – гидравлическая машина, предназначенная для преобразования энергии внешнего источника (механической, электрической, химической и т.п.) в энергию потока жидкости или газа (потенциальную и (или) кинетическую).

Газопровод магистральный, МГ – комплекс производственных объектов, обеспечивающих транспорт природного или попутного нефтяного газа, в состав которого входят односточный газопровод, компрессорные станции, установки дополнительной подготовки газа (например, перед морским участком), участки с лупингами, переходы через водные преграды, запорная арматура, камеры приема и запуска очистных устройств, газораспределительные станции, газо-измерительные станции, станции охлаждения газа.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Бек В.Г.				Лит.	Лист
Руковод.		Брусник О.В.					Листов
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.					12
							120
					Термины и определения		
					НИ ТПУ гр. 2БМ12		

Введение

В настоящее время в связи с большими темпами строительства лупингов магистрального газопровода «Сила Сибири» и компрессорных цехов обеспечение надежного и безопасного ввода в эксплуатацию и будущего функционирования компрессорных станций (далее КС) с минимизацией отставаний от запланированных сроков строительства является актуальной проблемой.

Важнейшую роль в транспортировке газа по системе магистральных газопроводов играют КС, а газ является ключевым источником энергии в современном мире, к его конечным потребителям. Эффективность использования этих станций – главный критерий успешности работы систем транспортировки газа и конечной стоимости большого спектра продуктов.

Ключевые факторы, определяющие эффективность КС: энергопотребление и износ газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Данные показатели необходимо держать на высоком уровне, и для этого существуют методы, основными из которых являются: правильный монтаж, своевременная диагностика, ремонт агрегатов и последующая эксплуатация с учетом результатов диагностики.

Недооцененным и особо ответственным процессом при строительстве компрессорных цехов, которому уделяется недостаточно внимания является сборка и ручная дуговая сварка индикаторных сварных стыковых соединений. Несоблюдение всех требований при выполнении данных сварных соединений приводит к смещению ротора, соединяющего компрессор с приводной турбиной, после чего требуется дополнительная центровка, которая занимает достаточно большое количество времени в условиях сжатых сроков строительства.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Бек В.Г.				Лит.	Лист	Листов	
Руковод.		Брусник О.В.					13	120	
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.			Введение			НИ ТПУ гр. 2БМ12	

Также, следствием некачественной центровки является динамические нагрузки ГПА, вибрация машины и повышенный износ подшипников.

Для постоянного повышения уровня технологического и организационного развития ПАО «Газпром» была разработана Программа инновационного развития ПАО «Газпром» до 2025 года. Одной из основных целей инновационного развития является повышение надежности и безопасности производственного оборудования.

Первое место среди технологических приоритетов и их эффективности занимает следующее направление: технологии, обеспечивающие повышение эффективности магистрального транспорта газа диверсификацию способов поставок газа потребителям. Показателями эффективности данного направления являются снижение капитальных вложений в строительство компрессорных станций, снижение эксплуатационных затрат и затрат на реконструкцию.

Согласно докладу о перспективных планах развития по строительству новых объектов транспорта газа в зоне производственной ответственности ООО «Газпром трансгаз Томск», для реализации перспективных проектов планируется строительство 32 компрессорных станций.

Тема выпускной квалификационной работы соответствует требованиям профессионального стандарта 19.013 «Специалист по эксплуатации компрессорных станций и станций охлаждения газа газовой отрасли»

Целью работы является разработка комплекса предложений по эффективному и перспективному развитию качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED] [REDACTED] путем внедрения метода пооперационного контроля сварки индикаторных стыков патрубков центробежного компрессора.

					Введение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

1 Общая характеристика объекта исследования

1.1 Краткая физико-географическая характеристика района работ

В административном отношении участок производства работ расположен в Алданском районе Республики Саха Якутия.

Компрессорная станция «Амгинская» названа в честь реки Амги. Это самый длинный приток Алдана, который, в свою очередь, является крупнейшим притоком Лены.

Свое второе наименование, «Максим Перфильев», компрессорная станция «Амгинская» получила от русского землепроходца, происходившего из сибирских казаков. В начале XVII века Перфильев участвовал в походе в низовья Енисея для строительства Мангазеи, первого русского города в Заполярье.

Подводящая к станции трасса проложена как через заболоченные скальные районы, так и через сейсмоактивные участки, вечномерзлые грунты. Район расположен в зоне Западно-Алданской складчатой области, которая представляет собой сложный регион горных пород. Большая часть территории покрыта лесами сибирской лиственницы и кедра, а также тундровой растительностью.

1.2 Краткая климатическая характеристика района работ

Климат в районе работ резко континентальный с суровой зимой и жарким, но коротким летом. Самым теплым месяцем является июль с максимальной температурой до плюс 36 °С, самым холодным – январь, когда температура может понизиться до минус 62 °С. Среднегодовое количество осадков составляет около 400 мм. Климат очень сухой, особенно зимой, когда воздух очень холодный.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Бек В.Г.				Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Брусник О.В.					15	120
Рук-ль ООП	Шадрина А.В.				Общая характеристика объекта исследования		
					НИ ТПУ гр. 2БМ12		

В таких условиях может происходить образование дымки и метельной пыли, которые усложняют процесс строительства, движение на дорогах и приводят к ограничениям в авиасообщении.

1.3 Условия работы и характеристика компрессорной станции

Основными параметрами, контролируемыми на КС, являются количество транспортируемого газа, его состав, свойства, давление и температура на входе и выходе. Основные свойства транспортируемого газа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства транспортируемого газа

№, п/п	Параметр	Значение
1	Состав газа, мольные %	██████████
2	Содержание реагентов, вызывающих коррозию металла, мг/м ³	█
3	Плотность газа, кг/м ³ (при t=20°C, P=0,1013 МПа)	████
4	Теплотворная способность газа, ккал/м ³ (при t=20°C, P=0,1013 МПа)	████
5	Газовая постоянная, кДж/кг·К	████
6	Максимальный размер твердых частиц, мкм	██████████

Таблица 2 – Состав подаваемого газа

Год	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Метан	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Этан	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Пропан	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Бутан	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Пентан	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Гелий	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Азот	████	████	████	████	████	████	████	████	████
СО ₂	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Водород	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Метанол	████	████	████	████	████	████	████	████	████
Вода	████	████	████	████	████	████	████	████	████

Точка росы транспортируемого газа следующая:

- зимой точка росы – минус 23°C;
- летом точка росы – минус 12°C.

Концентрационные пределы взрываемости в смеси с воздухом при 20°C и 0,0101325 МПа 15-17%.

Содержание примесей, мг/м³, на входе в ПУ:

- жидких: до 1000 мг/м³ (кратковременное увеличение до 2000 мг/м³ продолжительностью не более 100 часов в год);
- твердых: до 20 мг/м³ (кратковременное увеличение до 50 мг/м³ продолжительностью не более 100 часов в год).

При остановке КС без стравливания газа температура рабочей среды может изменяться в пределах +38...-39°C. В таблице 3 представлена информация по подготовке буферного газа «сухих уплотнений».

Таблица 3 – Подготовка буферного газа «сухих» уплотнений

№, п/п	Параметр	Значение
1	Обеспечение барьерным воздухом (агрегатными средствами или системами КС)	
2	Обеспечение требуемого давления буферного газа при пуске первого агрегата на КС (агрегатными средствами или системами КС)	
3	Обеспечение требуемого давления буферного газа при работе агрегата	

Характеристика антипомпажной защиты представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Антипомпажная защита

№, п/п	Параметр	Значение
1	2	3
1	Тип системы противопомпажной защиты компрессора	Автоматический регулирующий клапан с осесимметричным направлением (течением) потока газа
2	Рабочая среда, используемая для управления АПК (сухой воздух или очищенный газ из трубопровода)	Импульсный азот от стационарных азотных установок КС
3	Давление рабочей среды, используемой для управления АПК (минимальное и максимальное), МПа	1,0...2,5
4	Диаметр антипомпажного трубопровода и толщина стенки, мм	720x18
5	Материал антипомпажного трубопровода	К60

Ветровые и снеговые нагрузки:

- Средняя скорость ветра за зимний период составляет 2 м/с по СП 20.13330.2011;
- Среднемесячная температура января составляет -35°C;
- Нормативное значение ветрового давления равно 0,17 кПа, Ia ветровой район по СП 20.13330.2011;
- Расчетное значение веса снегового покрова составляет 1.2 кПа, II снеговой район по СП 20.13330.2011.

Среднемесячная температура атмосферного воздуха:

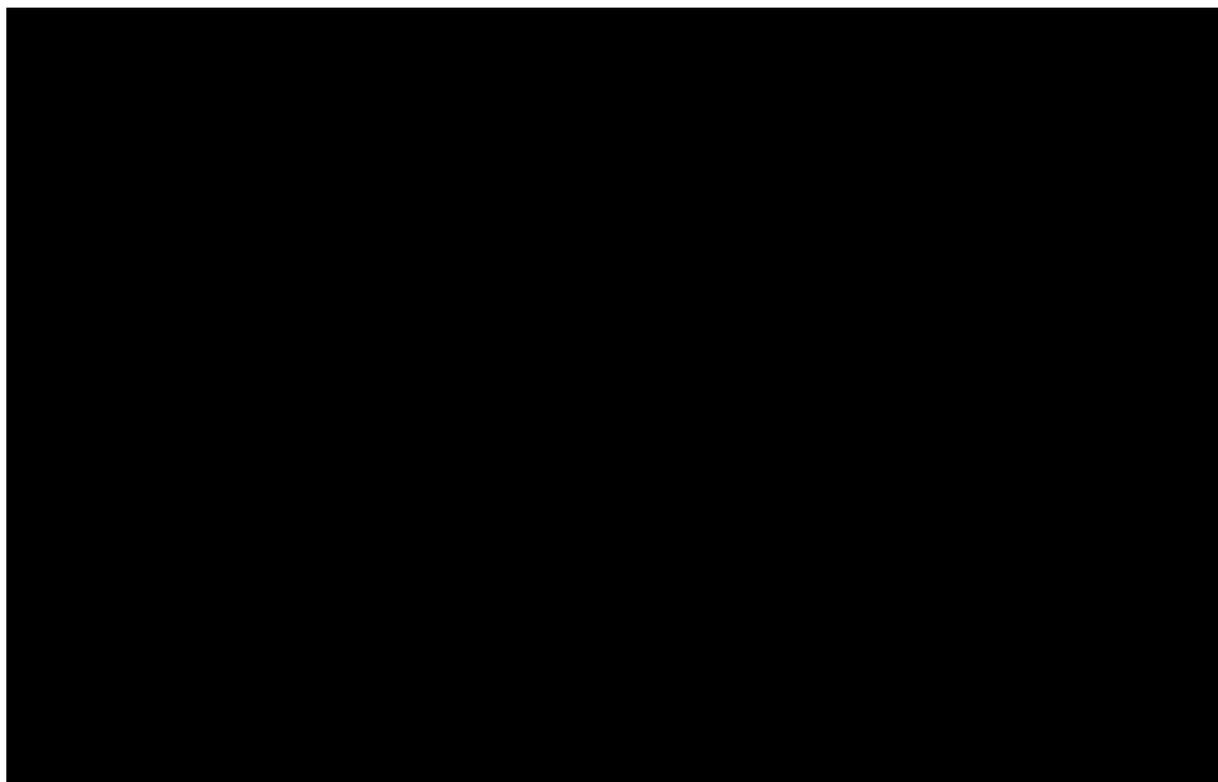
- в январе -26,7 °С;
- в июле 22,5 °С;
- наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 составляет -52°C;

АВО газа предусмотрен распределительный двухсекционный щит с автоматическими выключателями и АВР между секциями.

Источником электроснабжения ГПА и агрегатных АВО газа на напряжении ~400 В, 50 Гц предусмотрена индивидуальная комплектная двухтрансформаторная подстанция с шкафом аварийного ввода, к которому предусматривается подключение аварийной дизельной электростанции.

В таблице 6 представлены расчетные параметры работы КС «Максим Порфильев» на 2023 год при среднемесячных температурах наружного воздуха.

Таблица 6 – Расчетные параметры работы КС «Максим Порфильев» на 2023 год при среднемесячных температурах наружного воздуха



1.4 Общие сведения о ГПА-25

1.4.1 Технические характеристики ГПА-25 «Урал»

ГПА-25 «Урал» производства ООО НПО «Искра» г. Пермь состоит из блоков и узлов максимальной заводской готовности, монтаж которых производится на месте эксплуатации. Элементы систем жизнеобеспечения ГПА установлены в блоках.

					Общая характеристика объекта исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

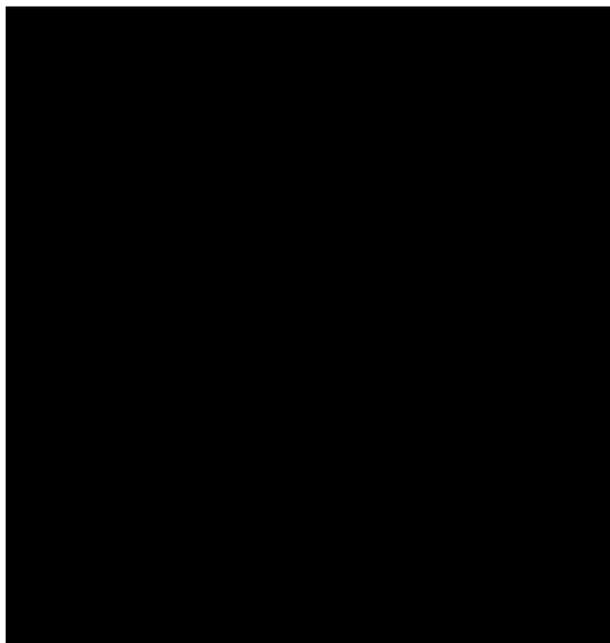


Рисунок 1 – ГПА-25 «Урал» ангарного исполнения

Газотурбинный газоперекачивающий агрегат включает в себя газотурбинную установку, центробежный нагнетатель природного газа, выхлопное устройство, системы топливную и пусковые, масляную, автоматического управления, регулирования и защиты, охлаждения масла, гидравлического уплотнения нагнетателя.

Технические характеристики ГПА-25 «Урал» представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Техническая характеристика ГПА-25 «Урал»

Наименование параметра	Значение
Тип привода компрессора	■
Мощность привода компрессора, МВт	■
Коэффициент полезного действия привода, %	■
Частота вращения ротора силовой турбины, об/мин	■
Тип компрессора	■
Производительность коммерческая, млн.м ³ /сут	■
давление номинальное абсолютное на выходе из компрессора, МПа	■
Степень сжатия, не менее	■

1.4.2 Состав ГПА-25 «Урал»

Конструкция ГПА должна обеспечить целый ряд требований, соответствующих действующим стандартам и нормам взрывобезопасности, взрывопредупреждения и взрывозащиты, пожарной безопасности, к вибрации, шумовым показателям и тепловыделениям на рабочих местах и в окружающей среде, к температуре, влажности и подвижности воздуха рабочей зоны в зданиях для ГПА.

ГПА-25 «Урал» состоит из:

1. Турбоблок (блок силовой с газотурбинной установкой ГТУ-25П и центробежный газовый компрессор).
2. Блок управления (МСКУ).
3. Система воздухозаборная.
4. Система подогрева циклового воздуха.
5. Система выхлопа.
6. Система маслообеспечения ГТУ.
7. Система топливного газа.
8. Система «сухих» газодинамических уплотнений.
9. Система обеспечения барьерным воздухом компрессора
10. Трубопроводы системы очистки ГВТ двигателя.
11. Электропроводка электроприемников и КИП.
12. Система вентиляции.
13. Система охлаждения ГТУ и трансмиссии.
14. Система пожаротушения.

Характеристика газовой обвязки ГПА представлена в таблице 8.

					Общая характеристика объекта исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Таблица 8 – Характеристика газовой обвязки ГПА

№, п/п	Параметр	Значение
1	Тип газовой обвязки ГПА	Модульная
2	Диаметр трубопровода и толщина трубопровода, мм	1020x22
3	Марка материала	К60
4	Расположение всасывающего и нагнетательного патрубков компрессора (при взгляде со стороны привода)	всасывание – левый, нагнетание – правый

1.4.3 Конструкция и системы ГТУ-25П

Газотурбинная установка ГТУ-25П мощностью 25 МВт предназначена для привода компрессора, сжимающего газ.

Газотурбинная установка ГТУ-25П представляет собой комплекс, включающий в себя:

- газотурбинный двигатель ПС-90ГП-25 на подmotorной раме;
- трансмиссию с кожухами;
- входное устройство (улитку);
- агрегаты;
- трубопроводные и электрические коммуникации систем;
- шкаф для размещения агрегатов и датчиков топливной системы.

Двигатель ПС-90ГП-25 оборудован следующими системами:

- системой смазки и суфлирования;
- системой автоматического управления;
- системой топливопитания;
- системой запуска;
- системой отборов воздуха.

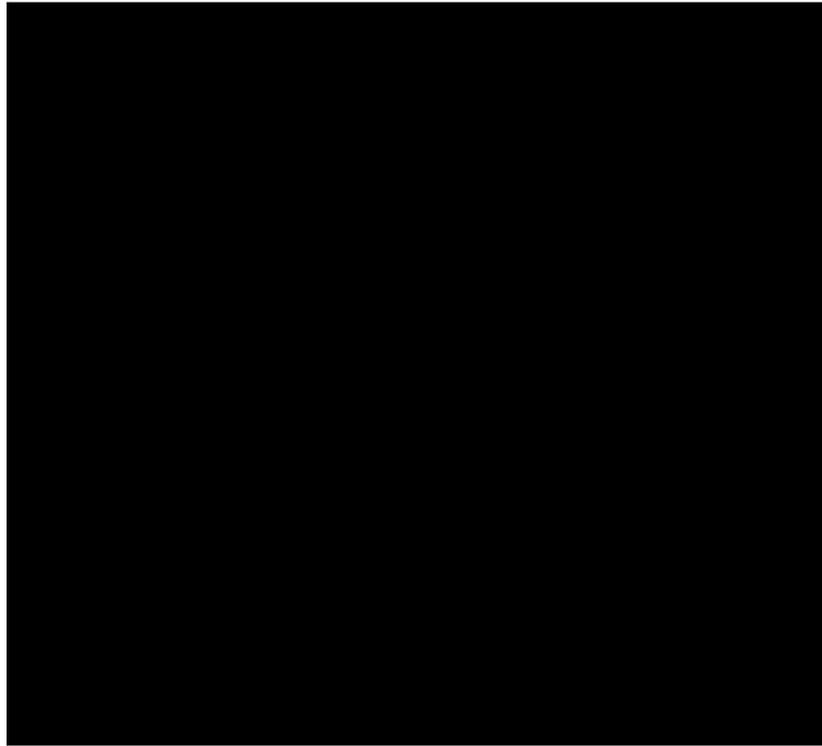


Рисунок 2 – Газотурбинная установка ГТУ-25П

Двигатель ПС-90ГП-25 — газотурбинный, трехвальный, со свободной турбиной, предназначен для привода нагнетателя в составе ГПА.

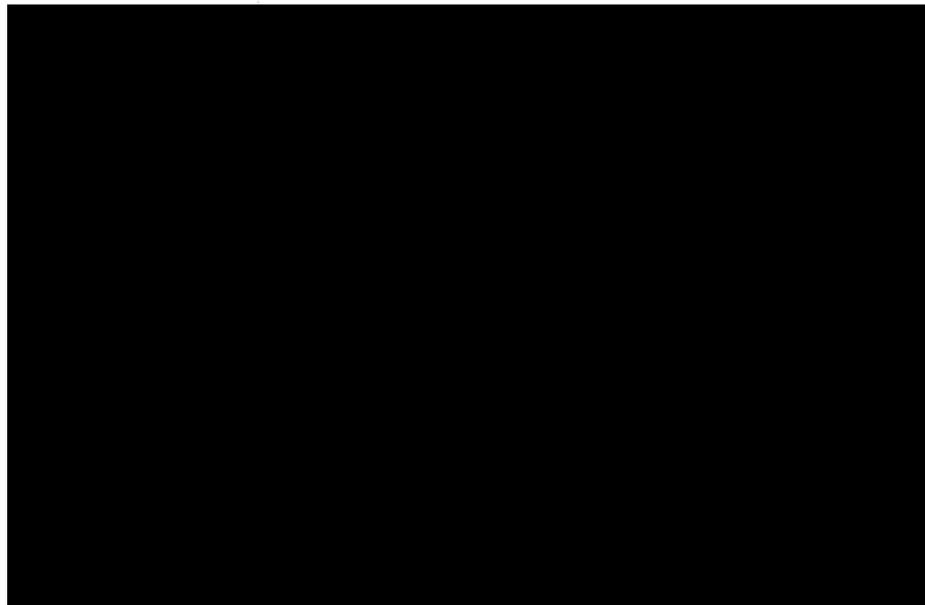


Рисунок 3 – Силовая схема и узлы крепления двигателя ПС-90ГП-25

Основные узлы двигателя ПС-90ГП-25:

- корпус промывки;
- входной корпус компрессора с центральным приводом;
- коробка приводов;

					Общая характеристика объекта исследования	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- компрессор низкого давления;
- компрессор высокого давления;
- камера сгорания;
- турбина высокого давления;
- турбина низкого давления;
- свободная турбина;
- рама двигателя;
- теплозащитные экраны;
- трубопроводные коммуникации;
- электропроводка.



Рисунок 4 – Общий вид двигателя ПС-90ГП-25

Конструкция двигателя позволяет проводить визуально-оптический и специальные виды контроля деталей газоздушного тракта, что дает возможность эксплуатировать двигатель по техническому состоянию.

В процессе эксплуатации предусмотрена возможность замены всех покупных комплектующих агрегатов, отдельных деталей и сборочных единиц двигателя.

Основные параметры ГТУ-25П представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные параметры ГТУ-25П

№, п/п	Наименование параметр	Значение параметра
1	Мощность на валу СТ, Ne, МВт	■
2	Эффективный КПД на валу СТ, ηе	■
3	Частота вращения ротора КВД, пквд, об/мин	■
4	Частота вращения ротора КНД, пквд, об/мин	■
5	Частота вращения ротора СТ, пквд, об/мин	■
6	Температура газа за турбиной ТВД, t*т, °С	■
7	Расход топливного газа, Gт, кг/ч	■

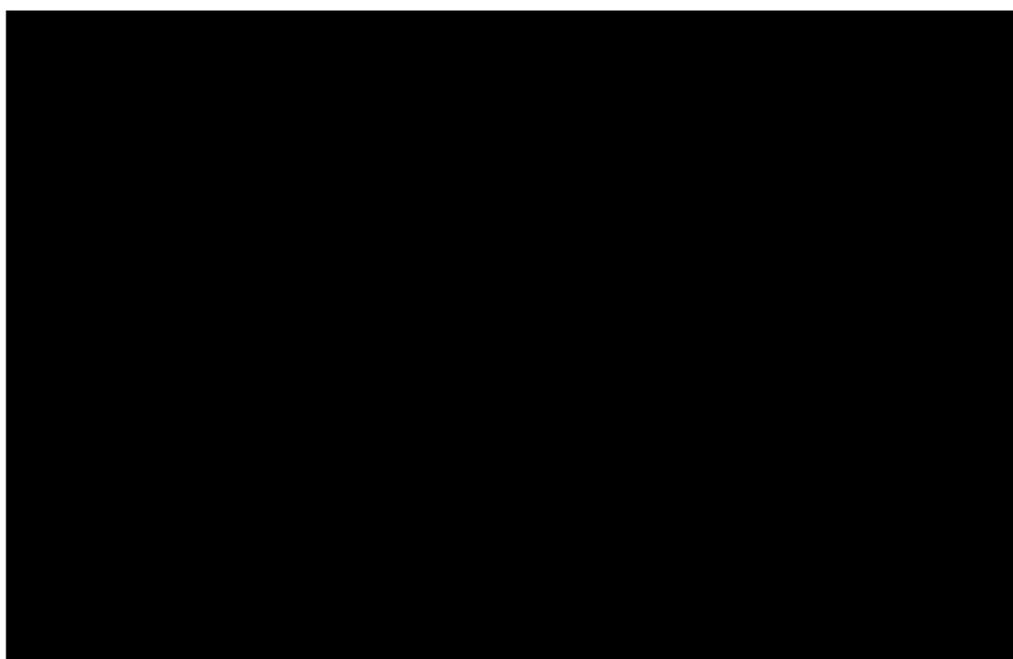


Рисунок 5 – Газотурбинный двигатель ПС-90ГП-25 (продольный разрез)

Входное устройство представляет собой спрофилированный канал, обеспечивающий подвод воздуха в компрессор с минимальными потерями.

Трансмиссия предназначена для передачи крутящего момента ротору нагнетателя, через упругие муфты соединяет вал ротора СТ с валом ротора нагнетателя, для исключения доступа к вращающимся узлам и деталям трансмиссия закрыта защитными вентилируемыми кожухами, которые смонтированы на выходном устройстве.

Для снижения уровня звукового давления (шума), создаваемого при работе ГТУ двигатель закрыт кожухом шумотеплоизолирующий (КШТ).

Двигатель ПС-90ГП-25 оборудован следующими системами: системой топливопитания; системой запуска двигателя; системой смазки и суфлирования; системой отборов воздуха; противообледенительной системой.

1.4.4 Центробежный компрессор НЦ-25ДКС-06 «Урал»

Центробежные компрессоры предназначены для сжатия природного газа до требуемых параметров и транспортирования газа по магистральным газопроводам в составе ГПА. Степень сжатия не превышает 1,7, температура газа на выходе на штатных режимах эксплуатации не превышает 80°С, промежуточное охлаждение газа и теплозащита свободных поверхностей не требуется. Максимальное рабочее давление находящихся в эксплуатации линейных компрессоров 12 МПа.

Маркировка центробежного компрессора НЦ-25ДКС-06 «Урал» (рисунок 6):

- НЦ – торговая марка;
- 25 – класс мощности, МВт;
- С – СГУ и масляные подшипники;
- ДКС – исполнение в корпусе с 3 и более ступенями;
- 06 – модификация.

Центробежный компрессор представляет собой герметичный сосуд (корпус сжатия) состоящий из корпуса с окнами для входного и выходного патрубков, закрытого коваными крышкой всаса и крышкой нагнетателя. Внутренний корпус центрируется в корпусе компрессора по посадочным поверхностям на крышках. Уплотнение крышек осуществляется кольцами резиновыми уплотнительными. Фиксация внутреннего корпуса в осевом направлении осуществляется за счет подогнанными «по месту» кольцами разрезными через держатели, устанавливаемые на шпильки с гайками и болты. Фиксация внутреннего корпуса от проворота в корпусе – стопором.

					Общая характеристика объекта исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

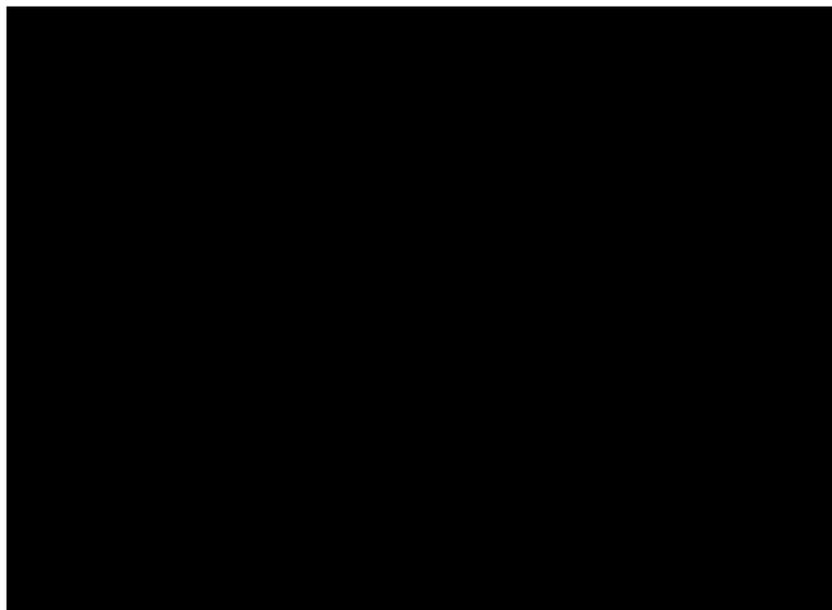


Рисунок 6 – Центробежный компрессор НЦ-25ДКС-06 «Урал»

Корпус устанавливается на раму и крепится к ней на лапах, приваренных на уровне горизонтальной оси корпуса, шпильками и гайками.

Для замера вибрации ротора применяются первичные преобразователи виброперемещений. Контролируется осевое перемещение и вибрации вала ротора относительно подшипника. Принцип работы заключается в параметрах тока, изменяющихся при уменьшении или увеличении зазора между валом и катушкой.

Для контроля температуры на каждом подшипнике установлен датчик температуры.

					Общая характеристика объекта исследования	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

2 Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА

Как было отмечено выше, эффективность эксплуатации КС определяется рядом показателей, среди которых первостепенными являются энергопотребление и износ ГПА. Данные показатели достигаются различными средствами, среди которых правильный монтаж, своевременная диагностика, ремонт ГПА и его последующая эксплуатация с учетом результатов диагностики.

2.1 Замена ГПА

Современный фонд ГПА примерно на 86 % состоит из агрегатов, имеющих газотурбинный привод. Газотурбинный привод (ГТП). Коэффициент полезного действия газотурбинных установок (ГТУ) сегодня составляет в среднем 28...30 % [3,4]. Причем на собственные нужды расходуется порядка 10 % природного газа, перекачиваемого ГПА с ГТП (по отдельным агрегатам ~ 20 %). Также это приводит к снижению надежности газотранспортной системы (ГТС) и, как следствие, увеличивается риск возникновения экологических проблем [4].

Согласно работе [2], на сегодняшний день ГТС России содержит также парк электроприводных ГПА (ЭГПА), доля которых во всем парке ГПА составляет ~ 14 %. В электроприводе ГПА, как правило, используются синхронные двигатели большой мощности. Более 70 % парка ЭГПА имеет срок службы ~ 20 лет, а отдельные 30...40 лет. Практически все элементы ЭГПА (синхронные двигатели, возбуждители, щиты) выработали свой ресурс. Большинство ЭГПА не имеет возможности регулировать скорость (нерегулируемые). Характерной чертой для некоторых газопроводов является работа в режиме падающих газоподдачи и газопотребления.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.					29	120
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ12		

Это приводит к изменению режимов и энергетических свойств ЭГПА, что в итоге выражается в повышенном энергопотреблении [4].

Таким образом, важной задачей дальнейшего развития приводов для ГПА является повышение их экономичности, т. е. увеличение КПД.

Основным из решений данной проблемы является [3, 6] замена устаревших ГТУ с низким КПД на ГТУ нового поколения с высокими параметрами рабочего тела и высокими КПД, а также на установки, выполненные по усложненному циклу: с промежуточным охлаждением при сжатии, промежуточным подогревом при расширении и регенерацией — в различных сочетаниях; в ряде случаев — когенерационных ГТУ (ГТУ «Надежда» конструкции НМЗ с промежуточным охлаждением при сжатии и регенерацией теплоты мощностью 16,3 МВт и КПД 42...43 %).

Для перспективных ГТУ коэффициент эффективного использования теплоты сгорания топлива должен достигать величины порядка 80 % и более, в том числе на уровне 34...36 % для выработки мощности на валу нагнетателя, а остальное за счет рационального использования теплоты отходящих газов. Решению задачи по наиболее полному использованию теплоты отходящих газов ГТУ посвящено много работ, но и в настоящее время эта задача остается для отрасли весьма актуальной и требует своего дальнейшего комплексного решения [7].

Согласно работе [2], конструктивно-функциональный облик современного газотурбинного ГПА включает в себя следующие основные особенности:

- применение ГТП, имеющих «резерв конструктивного развития»;
- применение высокоэффективных газовых центробежных компрессоров (ЦБК) (с магнитными подшипниками и сухими газовыми уплотнениями);
- возможность комплектования ГПА разными ГТУ и ЦБК в рамках одного класса мощности;

					Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

- ангарная (преимущественно) и контейнерно-блочная компоновка ГПА;
- агрегатная установка воздушного охлаждения газа (АВО-газа);
- электрозапуск ГТУ.

Номинальный КПД проектируемых приводных ГТУ должен соответствовать современному техническому уровню или быть выше. Значения КПД современных серийных газотурбинных двигателей (ГТД) различных классов мощности для привода центробежного нагнетателя (ЦБН) на компрессорной станции приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Современный уровень КПД для приводных ГТУ [6]

Класс мощности, МВт	КПД, % (в стационарных условиях)		
	Конвертированные из авиационных ГТУ простого цикла	Стационарные	
		ГТУ простого цикла	ГТУ с регенерацией
2–4	27–28	26–27,5	–
4–8	29–33,5	28–32,5	32–34
10–12,5	31–34,5	29–33	32–35
16–25	34–38	32–35	34,5–36,5

Стоимость жизненного цикла газотурбинных ГПА нового поколения уменьшается на 15...20 % по сравнению с применением ГПА старого поколения. Текущие цены ГПА будут постепенно приближаться к мировым. До 2010 г. стоимость отечественных ГПА прогнозировалась на уровне 70...80 % мировых цен, т. е. в диапазоне 370...460 долл./кВт [7].

В самом общем виде ГПА нового поколения должны обеспечивать высокий уровень основных эксплуатационных показателей, включая высокую экономичность (КПД на уровне 34...36 % в зависимости от мощности агрегата), высокую надежность и готовность (наработка на отказ не менее 3,5 тыс. ч, межремонтный цикл на уровне 8–25–50 тыс. ч с общим ресурсом более 100 тыс. ч, коэффициентом готовности на уровне 0,98 при коэффициенте технического использования на уровне 0,93–0,95 [2].

Технической базой перевооружения должно стать новое поколение создаваемых газотурбинных ГПА [11], в конструкции которых заложена возможность для улучшения показателей (экономичность, экологические характеристики, надежность, стоимость производства и установки). Дальнейшее развитие проекта по повышению эффективности ГПА включает в себя ряд конкретных конструктивных мероприятий [12], обеспечивающих повышение КПД каждого из существующих типов ГТУ до 46 %.

2.2 Своевременное обслуживание и ремонт ГПА

Под понятием техническое обслуживание агрегата следует понимать всю совокупность мероприятий, которые служат для поддержания и восстановления рабочих характеристик газоперекачивающего агрегата и включающего текущее обслуживание ГПА, контроль за его работоспособностью и диагностикой отказов, а также проведение ремонтно-восстановительных работ.

Основными причинами ухудшения технического состояния нагнетателя (уменьшение КПД и увеличение потребляемой мощности) являются следующие:

- эрозионный износ рабочих колес (70%);
- увеличение зазоров в уплотнениях покрывающего диска (20%);
- эрозионный износ лопаточных диффузоров и загрязнение проточной части (10%).

В настоящее время в эксплуатационных условиях в той или иной мере применяют следующие виды диагностики: параметрическую, вибрационную, по анализу отработанного масла, оптические и акустические методы для обследования узлов и деталей ГТУ и др.

На компрессорных станциях действует регламент технического обслуживания (РТМ 108.022.105-77), предусматривающий проведение комплекса работ по поддержанию газотурбинного газоперекачивающего

					Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

агрегата в работоспособном состоянии в течение установленного заводом-изготовителем моторесурса.

Регламент предусматривает проведение следующих видов работ:

- техническое обслуживание работающего (ТО 1-3) или находящегося в резерве (ТО 1-5) агрегата, включающего технические осмотры, проверки состояния, контроль и измерение рабочих параметров и другие виды работ в зависимости от времени наработки или нахождения ГППА в резерве;
- ревизию камеры сгорания и нагнетателя (ТО-4);
- средний и капитальный ремонты.

Согласно [9], средний ремонт - комплекс профилактических работ на отдельных узлах ГПА, выполняемых для восстановления эксплуатационных характеристик агрегата при падении номинальной мощности агрегата не более чем на 15% и обеспечение его надежной эксплуатации до ближайшего капитального ремонта.

При среднем ремонте обязательна дефектоскопия отработавших эксплуатационных узлов и деталей ГПА с заменой или ремонтом изношенных или поврежденных.

Средний ремонт проводят между капитальными ремонтами для устранения утечек масла (через торцевое уплотнение, разъемы корпусов, фланцы маслопроводов и т.д.) и газа, причин повышенной вибрации и других, явно выраженных неисправностей. Кроме того, необходимость в среднем ремонте возникает для предупреждения скрытых отказов, вызванных износом и усталостью, возникновение которых может привести к разрушению многих деталей и узлов, т.е. к длительным аварийным ремонтам.

Объем работ при среднем ремонте окончательно определяется только после вскрытия и проведения дефектоскопии. Вполне возможно, что агрегат, остановленный для проведения среднего ремонта, будет ремонтироваться в объеме капитального.

					Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Капитальный ремонт - комплекс ремонтных работ, включающий в себя полную разборку и дефектоскопию основного и вспомогательного оборудования ГПА, замену отработавших заводской ресурс или ремонт отработавших по техническим условиям составных частей, в том числе и базовых, регулировку и испытание систем, выполнение работ по восстановлению эксплуатационных характеристик агрегата при падении номинальной мощности более 25%.

При промежуточных значениях потерь мощности вид ремонта определяют по фактическим трудозатратам в соответствии с нормами времени.

Трудоемкость ремонтных работ определяется видом (уровнем) планового ремонта. Трудоемкость может быть изменена в зависимости от фактического технического состояния узлов и систем ГПА, условий проведения работ, объема работ согласно уточненной ведомости дефектов. Отдельные виды работ (операций) в зависимости от фактического состояния и обнаруженных дефектов оборудования допускается выполнять в объеме, превышающем типовой для этого вида ремонта. При этом трудоемкость отдельных работ (операций), выполняемых в большем объеме, оценивается по-другому, более высокому, виду ремонта.

В программу обследования входят: осмотр агрегата и систем подготовки масла, циклового воздуха; измерение рабочих параметров ГПА; определение располагаемой мощности; удельного расхода масла; виброобследование агрегата; измерение температуры корпусов. Предремонтное обследование на работающем агрегате позволяет выявить также неисправности, обнаружить которые трудно или вообще невозможно после остановки и вскрытия агрегата. Кроме того, результаты обследования необходимы в дальнейшем для оценки качества ремонта.

					Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

2.3 Повышение качества пооперационного контроля сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК

При пооперационном контроле проверяют качество подготовки деталей и узлов под сварку, качество сборки под сварку, режимы предварительного и сопутствующего подогрева, технологию сварки (режимы сварки, порядок наложения швов, форму и размеры отдельных слоев шва, зачистку шлака между слоями, наличие подрезов, пор, трещин и других внешних дефектов), качество термической обработки сварных соединений путем замера твердости металла.

Перед началом сварочно-монтажных работ должна быть разработана и согласована в установленном порядке операционно-технологическая карта сборки и сварки стыковых сварных соединений используемым способом сварки. В нашем случае используется ручной дуговой (РД) способ сварки.

Сборка и ручная дуговая сварка электродами с основным видом покрытия кольцевых стыковых разнотолщинных индикаторных соединений является особо ответственным процессом.

Толщина стенки свариваемых элементов указана в таблице 11. Согласно операционно-технологической карте ТК-СГК-КС-РД-31, при толщине стенки СДТ больше 27,0 мм предварительный подогрев должен быть до температуры $+150^{+30}^{\circ}\text{C}$ независимо от температуры окружающей среды.

Таблица 11 – Характеристика свариваемых элементов

Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Класс прочности	Нормативное значение временного сопротивления, МПа
1020	22,0	К60	590
1020	40,0	К60	590

Сварку замыкающих стыков выполняют одновременно на всасывающем и нагнетательном трубопроводах при соблюдении непрерывного контроля

положения корпуса нагнетателя и центровки роторов нагнетателя и силовой турбины по торцу и окружности.

Направление сварки всех слоев шва – «на подъем». Сварку всех слоев шва выполняют на постоянном токе обратной полярности.

Электроды перед использованием должны быть прокалены согласно рекомендаций завода-изготовителя, при отсутствии рекомендаций прокалить при температуре 350-380°C в течении 1-2 час.

Электроды с основным видом покрытия после прокалки должны храниться: в термостатах (термопечнах), сушильных шкафах, прокалочных печах при температуре от +100°C до +150°; в герметичных емкостях в сухих отапливаемых помещениях при температуре воздуха не ниже +15°C и относительной влажности не более 60% в течение не более 2-х суток; после истечения 2-х суток перед использованием электродов требуется повторная прокалка. В таблице 12 представлены параметры режимов сварки индикаторных сварных соединений.

Таблица 12 – Параметры режимов сварки

Слои шва	Марка электрода	Диаметр, мм	Сварочный ток, А		
			нижнее	вертикальное	потолочное
Корневой и подварочный (прихватки)	LB-52U/OK53/70	2,5/2,6	80-90	70-90	70-80
		3,2	80-120	80-110	80-110
Первый заполняющий	OK 74.70	3,2	80-120	80-110	80-110
Последующие заполняющие		3,2	100-120	80-110	80-110
		4,0	130-180	110-170	110-150
Облицовочный		3,2	100-120	80-110	80-110
		4,0	130-180	110-170	110-150

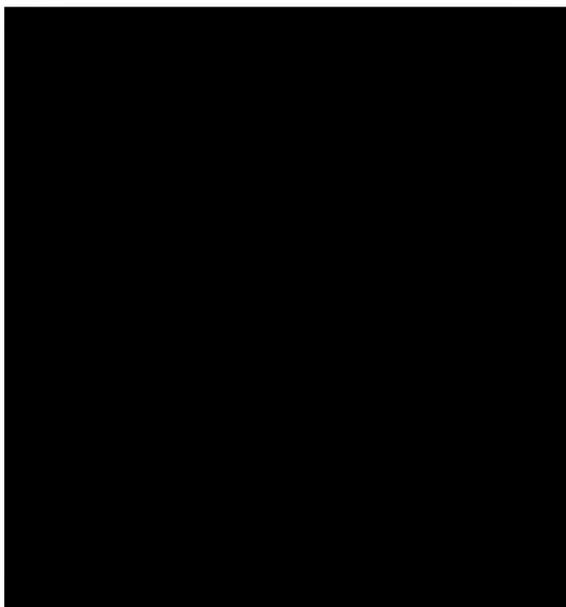


Рисунок 7 – Выполнение заполняющих слоев индикаторного сварного соединения
Контроль смещения положения корпуса нагнетателя ведется специальным приспособлением - индикатором часового типа (рисунок 8) с ценой деления не более 0,01 мм.

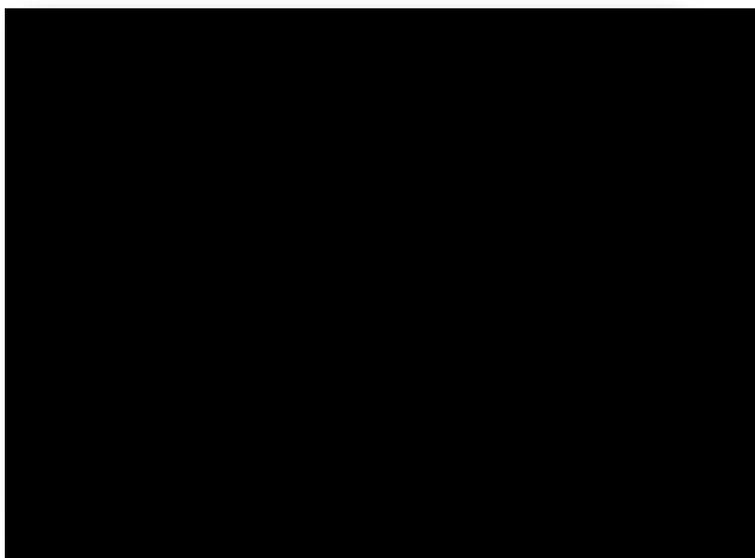


Рисунок 8 – Индикаторы часового типа

При отклонении положения корпуса нагнетателя или его центровке с турбиной более чем на $\pm 0,02$ мм, сварку продолжают с противоположной точки окружности стыка.

					Анализ технических решений, направленных на повышение качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

3 Монтаж центробежного компрессора

Блок ЦБК (рисунок 9) в составе агрегата газоперекачивающего ГПА-25 предназначен для использования на компрессорной станции «Максим Парфильев» магистрального газопровода «Сила Сибири» для повышения давления газа до давления, необходимого для его транспортировки по системе линейных магистральных газопроводов.

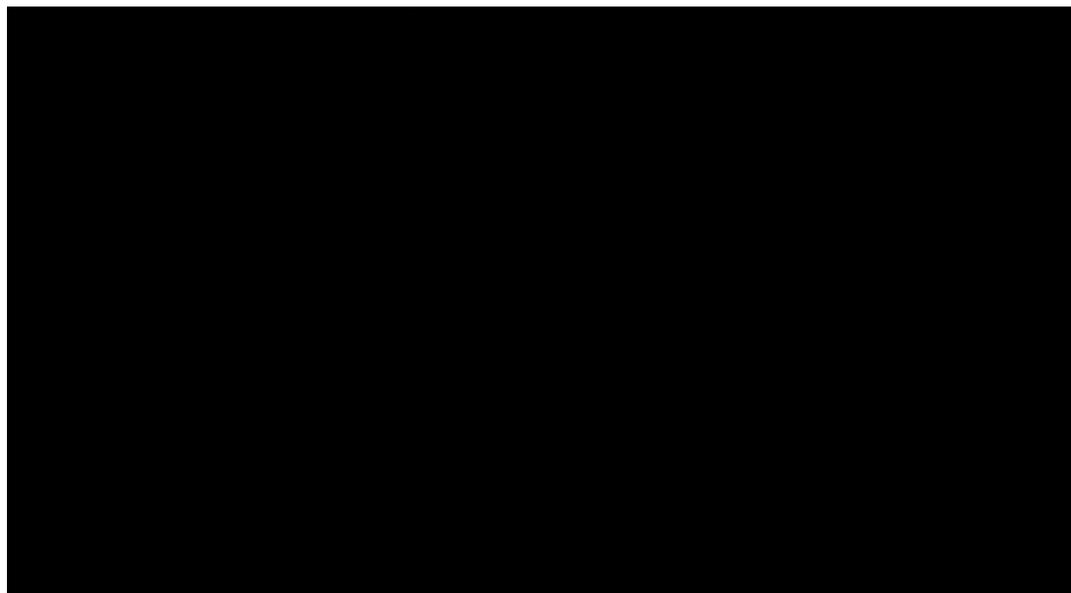


Рисунок 9 – Блок ЦБК [8]

Блок ЦБК изготавливается в климатическом исполнении УХЛ категории 1 по ГОСТ 15150 и обеспечивает нормальную работоспособность при температуре окружающего воздуха от 212 до 318 К (от минус 61 до плюс 45°С) при относительной влажности до 100%, а также при наличии осадков в виде дождя, тумана, снега в соответствие с техническими требованиями к проектированию и изготовлению блока ЦБК для компрессорной станции «Максим Парфильев» магистрального газопровода «Сила Сибири» №10.1-07/6-ГТЗ7КО-064/21ТТ [8].

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [8]			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Монтаж центробежные компрессора	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.					38	120
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ12		

Особое внимание должно быть обращено на чистоту монтажной площадки и подходов к ней, исправность грузоподъемных механизмов, исправность строп и правильность их выбора, правильность закрепления поднимаемого оборудования, исправность электрифицированного инструмента.

Таблица 13 – Размеры и масса блока компрессора [8]

Наименование	Значение
длина без рамы, м	■
длина с рабой, м	■
ширина без рамы без патрубков, м	■
ширина с рамой без патрубков, м	■
ширина с патрубками, м	■
высота без рамы, м	■
высота с рамой, м	■
масса изделия в объеме поставки, кг, не более	■

Перед испытанием смонтированного блока ЦБК в составе агрегата, проверяется крепление фланцевых соединений и заглушек. При этом на всех соединениях должен быть установлен полный комплект болтов и шпилек.

3.1 Подготовка блока ЦБК к монтажу

Оборудование блока ЦБК подают на монтажную площадку железнодорожным или автомобильным транспортом без вскрытия упаковки. Для погрузки и разгрузки оборудования применяется передвижные или стационарные грузоподъемные механизмы соответствующей грузоподъемности.

Приемку оборудования в монтаж производится внешним осмотром, без разборки, при этом проверяется:

- комплектность оборудования по товаросопроводительной документации или упаковочным листам, включая комплектность технической документации, а также наличие специального

инструмента и приспособлений, поставляемых комплектно с оборудованием;

- отсутствие наружных повреждений, поломок, трещин и прочих дефектов оборудования, которые могут возникнуть при его транспортировании;
- отсутствие наружных повреждений, поломок, трещин и прочих дефектов оборудования, которые могут возникнуть при его транспортировании;
- поверхности труб, фасонных деталей, фланцев, прокладок на отсутствие трещин, раковин, плен, заусенцев и других дефектов. Допускаются незначительные вмятины, продольные риски, следы зачистки дефектов при условии, что они не находятся на уплотняющих поверхностях и толщина деталей в этих местах не выходит за пределы размеров, установленных чертежами;
- комплектность внутриблочной кабельной проводки. Обнаруженные неисправности устранить, при необходимости произвести замену кабеля. Проверить комплектность штатных бирок маркировки кабеля.

До начала монтажа блока ЦБК проверяют:

- готовность и размеры фундамента, освобождение его от опалубки и очистку, установку на фундаменте реперов, определяющих расположение его осей и высотных отметок;
- устройство каналов, лотков, проемов и эстакад вокруг фундамента;
- подачу энергии на освещение и на оснащение электроинструмента;
- подачу воды, сжатого воздуха

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Далее проверяется монолитность бетона фундамента. В массе бетона не должно быть наружных дефектов, раковин, пустот, трещин, обнаженной арматуры.

На рисунке 10 представлены элементы крепления рамы ЦБК на фундаменте, согласно которому проверяют комплектность анкерных болтов из состава металлоконструкций фундамента и набора платиков из состава рамы ЦБК.

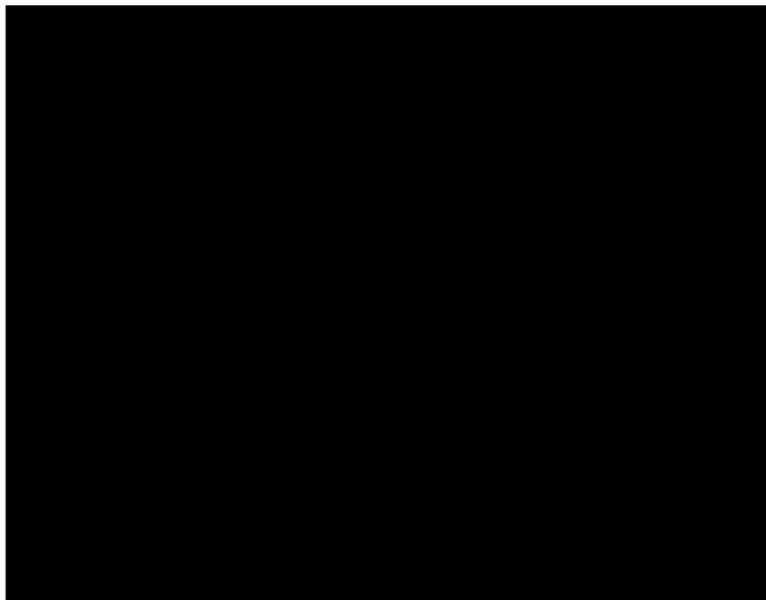


Рисунок 10 – Элементы крепления рамы ЦБК на фундаменте [8]

Контроль соответствия фактических размеров производится по исполнительным чертежам с проведением контрольных размеров. Особое внимание обращают на межцентровые расстояния между колодцами под фундаментные болты. Отклонения от проектных размеров не должно превышать:

- по осям колодцев под фундаментные болты ± 5 мм;
- разность по высотным отметкам платиков и отклонение платиков от горизонтальности в соответствии со СНиП 3.03.01-87.

3.2 Монтаж блока ЦБК

Монтаж блока ЦБК производится с соблюдением требований СНиП 3.03.01-87, ВСН 394-78, ВСН 361-85. При стыковке узлов блока и элементов

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

систем руководствуются маркировкой взаимного расположения узлов и составных частей.

Установку на фундамент рамы блока компрессора производится в следующем порядке:

Производят демонтаж транспортировочного кожуха и расконсервацию частей блока (сборочных единиц) и подготовку к монтажу согласно ГОСТ 9.014-7.

Полную расконсервацию блока производится непосредственно в процессе подготовки к пуску. Перед монтажом производят только вскрытие монтажных единиц, упаковки крепежных деталей и расконсервацию узлов, необходимых для монтажа.

Устанавливают на очищенные анкерные плиты фундамента под блок компрессора пластики согласно рисунку 10. Опалубка должна быть надежно закреплена на фундаменте во избежание возможного смещения. Высоту опалубки обеспечивают около 70-75 мм.

При помощи траверса устанавливается рама из комплекта запасных частей для монтажа и пусконаладки. На расстоянии 1200 ± 150 м от нижней поверхности рамы до отметки фундамента 0,000 устанавливают болты в соответствующие отверстия рамы. Далее монтируют раму, используя винты М48х180 из состава рамы и устанавливают на пластики толкатели.

При установке рамы контролируется отклонение полумуфты центробежного компрессора от вертикальности не более 0,3 мм на длине 1000 мм.

Следующим этапом проводят выверку камеры воздухоприемной и улитки в ось ГПА согласно монтажному чертежу на ГПА. Далее выполняется подливка колодцев под рамой до отметки 0,000, после чего дожидаются набора бетоном требуемой прочности не менее 70% и производят затяжку гаек.

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

После успешного выполнения предыдущего этапа необходимо обеспечить наличие уклона рельсов из состава галерей. Согласно рисунку 11 перепад поверхностей Г2 и Д2 в каждом поперечном сечении рельса относительно друг друга не более 4 мм.

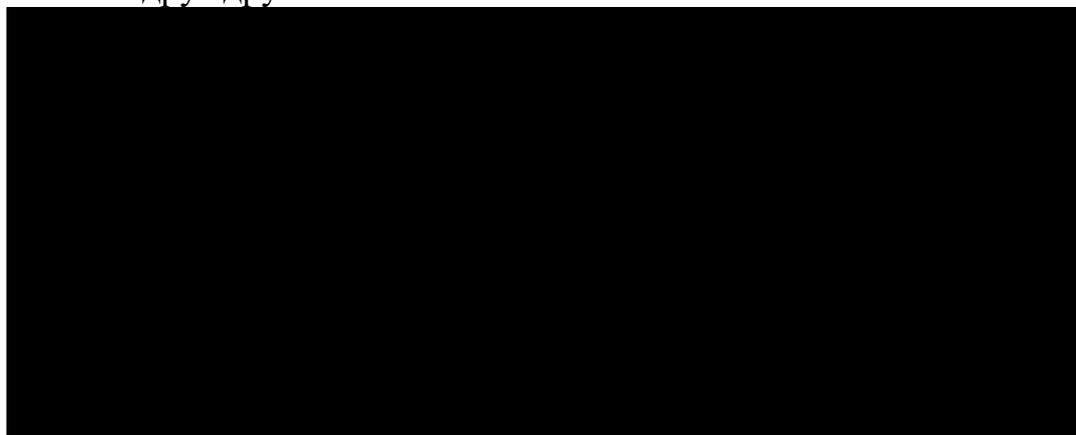


Рисунок 11 – Рельсы кранового пути [8]

Затем проверяется плавность хода (отсутствие заеданий) колес перемещением крана опорного на всём протяжении рельсов. На всём протяжении перемещения крана опорного все колёса (4 шт.) должны касаться рельсов из состава галерей.

Подвод бетонной смеси для подливки выполнять в указанных ниже местах:

- внутри блока ЦБК между рамой и галереей по всей длине;
- внутри блока ЦБК между рамой и галереей по всей длине;
- внутри блока ЦБК через съёмные люки (8 шт.) под центробежным компрессором из состава рамы;
- снаружи блока ЦБК.

Произвести установку патрубка входного с конфузуром и патрубка выходного в соответствии с документацией на компрессор НЦ-25ДКС-06 «Урал».

Перед установкой патрубка входного с конфузуром и патрубка выходного, устанавливаются заглушки (из комплекта поставки компрессора) между компрессором и патрубком входным с конфузуром и патрубком

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

выходным, предварительно установив в проточку заглушки, соответствующие прокладки (рисунок 12).

Стыковку стационарной газовой обвязки с блоком ЦБК, центровку газопровода с патрубками компрессора (патрубок входной с конфузуром и патрубок выходной), а также установку и регулировку опор стационарных газопроводов производят согласно документации проектировщика компрессорной станции.

При сварке замыкающих стыков контролируется перемещение компрессора и перекос по передним лапам при помощи индикаторных часов из комплекта инструмента и приспособлений ГПА.

Монтаж наружной обвязки производится без применения при стыковке дополнительных усилий.

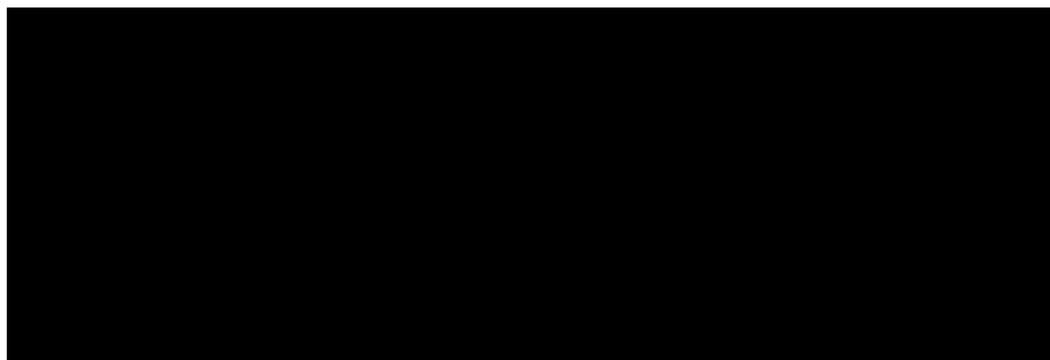


Рисунок 12 – Установка патрубков: 1 – заглушка; 2 – патрубок входной с конфузуром или патрубок выходной; 3 – проставка [8]

Далее производят ослабление гаек над задними лапами центробежного компрессора в соответствии с ППР, разработанным монтажной организацией. Задние лапы центробежного компрессора расположены со стороны выкатки СПЧ.

Согласно рисунку 13 обеспечивают зазор L3. Выполнение зазора L3 осуществляется после выдержки ослабленных гаек Н2, П2 при положительной температуре в блоке ЦБК, но не менее, чем через 24 ч после ослабления гаек Н2, П2.

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

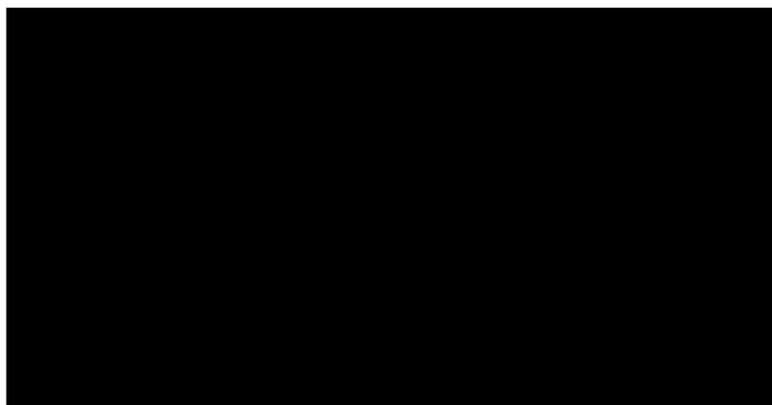


Рисунок 13 – Задняя лапа центробежного компрессора [8]

Следующим пунктом производится монтаж обвязки («гитары») компрессора, включая стыковку ее со стационарным коллектором, при этом:

- «гитара» должна быть полностью смонтирована согласно документации на ДКС и без зазоров лежать на скользящих опорах;
- разгрузочные опоры выставить на одной оси с патрубками компрессора в свободном состоянии (без прихваток и подставок);
- фиксирующие и регулирующие болты должны стоять с зазором 1-2 мм от корпуса компрессора;
- выполнить на трубе «гитары» кромки под сварку «красного» стыка;
- смещение кромок трубопровода «гитары» относительно патрубков компрессора выполнить в соответствии со СНиП III 42-80.

Затем заливается «гитара» и стационарный коллектор водой с выдержкой не менее 48 часов. Согласно требованиям проектной организации, производят сварку индикаторных стыков – патрубков компрессора с «гитарой». При сварке температура стенки трубопроводов «гитары» должна быть не ниже минус 10°C.

3.3 Сварка индикаторных сварных соединений патрубков ЦБК

При отсутствии требований проектной организации по сварке индикаторных стыков сварку вести обратноступенчатым швом двумя

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

электродами, расположенными под 180° одновременно со стороны всасывания и нагнетания. Сварку вести без перерыва.



Рисунок 14 – Допустимые нагрузки на фланцы компрессора

Во время сварки необходимо вести постоянный контроль центровки по индикаторам, установленным на передние лапы ЦБК. Центровку сохраняют за счет изменения процесса сварки. Отклонение центровки по индикатору часового типа более чем 0,04 мм после окончания монтажа «гитары» не допускается.

Проверку центровки во всех случаях выполняют с помощью специального приспособления. Центровка принимается, если несоосность осей роторов не превышает 0,1 мм и перекося осей роторов не более 0,03 мм на диаметре тарелки приспособления.

Окончательно центровку проверяют после присоединения технологических трубопроводов. Приспособление для центровки снимают только после завершения сварки замыкающих стыков.

После окончания всех сварочных работ на трубопроводах технологического газа обвязки компрессора, непараллельность фланцев патрубков и корпуса компрессора после демонтажа заглушек, перед установкой проставочных колец должна быть не более 0,3 мм, а смещение оси не более 0,1 мм.

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.4 Испытание газовой обвязки агрегата

Производят гидроиспытания стационарной газовой обвязки агрегата.

На первом этапе производится монтаж и подключение трубопроводов блока к системам ГПА и КЦ в соответствии с требованиями проекта обвязки ГПА. Монтаж трубопроводных систем производить в соответствии с требованиями к ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные.

Внутренняя поверхность трубопроводов должна быть очищена от сварочного грата, брызг, окалины, шлака, ржавчины. Монтаж трубопроводов начинается с их крепления на опорах. Сварные стыки трубопроводов должны находиться на расстоянии не менее 50 мм от опор для труб диаметром менее 50 мм и не менее 200 мм от опор для труб диаметром свыше 50 мм. Подвешивать трубопроводы на фланцах корпусов и трубопроводной арматуры не допускается.

Установка трубопроводной арматуры должна производиться с учетом направления рабочей среды в ней, указанной на корпусе арматуры или сопроводительной документации на нее.

Трубопроводная арматура должна иметь маркировку и отличительную окраску в соответствии с рабочей средой в трубопроводе согласно ГОСТ14202-69. Стальные задвижки независимо от условного прохода должны иметь на корпусе заводской номер.

При отсутствии указаний в чертежах сварка трубопроводов может осуществляться всеми промышленными способами, обеспечивающими качество сварных соединений. Применение газовой сварки допускается для труб условным диаметром до 80 мм и с толщиной стенки не более 3,5 мм.

Кромки труб, фасонных деталей и арматуры перед сваркой должны быть очищены от защитного лакокрасочного покрытия, а в случае наличия от ржавчины, окислов и других загрязнений с внутренних и наружных сторон на длину 20-30 мм.

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Разделка кромок и размеры зазоров между деталями трубопроводов, систем обеспечения, разностенность и смещение кромок при стыковке их под сварку должны соответствовать требованиям чертежей и ГОСТ 16037-80.

Сборку фланцевых трубопроводов осуществлять с соблюдением следующих требований:

- внутренний диаметр прокладки должен соответствовать внутреннему диаметру уплотнительной поверхности фланца и должен быть не менее внутреннего диаметра трубы;
- шпильки (болты) должны свободно входить в отверстия фланцев;
- гайки болтов должны быть расположены на одной стороне фланцевого соединения;
- затяжка должна производиться равномерно с поочередным заворачиванием гаек крест – накрест и соблюдением параллельности фланцев.

Запрещается выравнивать перекос фланцев неравномерным натяжением болтов (шпилек) и устранять зазор между фланцами при помощи клиновых прокладок.

Сборку, сварку и контроль качества и испытания сварных швов согласно ГОСТ 32569-2013. Допуск параллельности фланцевых соединений не должен превышать значений, приведенных в таблице 14.

Таблица 14 – Допуск параллельности фланцевых соединений

Наружный диаметр трубы, мм	Допуск параллельности, мм		
	Рабочее давление, МПа (кгс/см ²)		
	до 1,6 (16)	св. 1,6 (16) до 6,0 (60)	св. 6,0 (60)
До 80	0,2	0,1	0,05
Свыше 80	0,3	0,1	0,05*
*На каждые 100 м условного диаметра			

Устранение зазоров между торцами труб, нахлестов или несовпадения осей труб, возникших при укладке трубопроводов, путем нагрева или искривления осей трубопроводов категорически запрещается.

После подгонки и сварки трубопроводы в местах разъемных соединений, разбираются для очистки. Все трубопроводы подвергаются очистке от шлака, окалины, сварочных брызг, ржавчины.

Испытания трубопроводов производят согласно с требованиями ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные. При гидравлических испытаниях водой температура окружающего воздуха, а также температура воды для испытаний должна быть не ниже 278 К (5°C). Допускается в холодный период года заменить гидравлические испытания на пневматические.

Результаты гидравлических испытаний признаются удовлетворительными, если во время испытаний не произошло падения давления по манометру, а в сварных швах, фланцевых соединениях и сальниках не обнаружено течи и отпотевания. Пневматическое испытание производить рабочим давлением воздухом или инертным газом.

Испытания на плотность с определением падения давления производятся согласно п. 3.40, 3.41 СНиП П1-Г.9-62 Технологические трубопроводы.

При необходимости на основании требований рабочих чертежей на трубопроводы с монтажными сварными швами выполнить контроль данных швов неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 32569-2013 Трубопроводы технологические стальные.

					Монтаж центробежного компрессора	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА

4.1 Подготовительные работы перед началом сборки и сварки сварных соединений на объекте

Перед началом производства сварочно-монтажных работ индикаторных сварных соединений патрубков ЦБК необходимо проверить корректно оформленного комплекта разрешительной документации.

Требования к процедурам аттестации и допускных испытаний сварщиков приведены в правилах и методических документах СРО «Ассоциация «НАКС», действующей нормативной документации ПАО «Газпром» по технологиям сварки и Положения об аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства, проверки готовности организаций к применению сварочных технологий, аттестации сварочного оборудования и сварочных материалов на объектах ПАО «Газпром» [10].

Основной разрешительной документацией является:

1. свидетельство НАКС о готовности организации-заявителя к использованию аттестованной технологии сварки;
2. утвержденная и согласованная в установленном порядке операционно-технологическая карта сборки и сварки;
3. допускные листы на сварщиков подтверждающие прохождение допускных испытаний и возможность выполнения аттестованной технологии сварки;
4. акт допуска технологии сварки и неразрушающего контроля сварных соединений, подтверждающий проведение процедуры допуска технологии сварки перед началом сварочно-монтажных работ на новом объекте.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.					50	120
Рук-ль ООП		Шадрин А.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ12		

Аттестация технологии сварки

На первом этапе необходимо проверить наличие у организации аттестации технологии сварки в НАКС. Аттестация технологии сварки – процедура проверки, подтверждающая соответствие новой технологии сварки требованиям действующей в ПАО «Газпром» нормативной документации в области диагностики, технического обслуживания и ремонта объектов ПАО «Газпром». Аттестации подлежат технологии выполнения сварки, используемые при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств, оборудования и сооружений опасных производственных объектов.

Допускные испытания сварщиков

Все сварщики, задействованные подрядчиком для выполнения работ на объекте, должны быть аттестованы в соответствии с действующими Правилами аттестации. После проверки наличия всех необходимых удостоверений сварщиков следует провести процедуру допускных испытаний сварщиков, целью которых является определение способности сварщика выполнить качественное сварное соединение при использовании технологического процесса сварки.

Допускные испытания сварщиков проводятся путём сварки контрольных сварных соединений непосредственно перед началом сварочных работ на объекте.

В процессе допускных испытаний сварщик должен выполнять все требования технологической инструкции и операционной технологической карты, использовать оборудование, соблюдать технику сварки и скорость выполнения всех операций, которые будут использоваться в дальнейшем при сварке или ремонте сварных стыков.

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Производственная аттестация технологии сварки и неразрушающего контроля

Аттестации подлежат технологии выполнения сварки, используемые при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств, оборудования и сооружений опасных производственных объектов.

Проверка готовности организаций к применению сварочных технологий – процедура, подтверждающая, что организация-заявитель обладает техническими, организационными и квалификационными возможностями для выполнения сварочных работ по применяемым им аттестованным технологиям, а качество выполненных при аттестации контрольных сварных соединений соответствует требованиям, указанным в проектно-конструкторской и нормативной документации на сварные конструкции.

После проведения всех перечисленных процедур подрядная организация и сварщики могут быть допущены к сварочно-монтажным работам на новом объекте.

4.2 Повышение качества пооперационного контроля процесса сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК

В специальной литературе и инструкциях по монтажу ГПА не уделяют должного внимания сварке индикаторных стыков всасывающего и нагнетательного патрубков ЦБК. Несоблюдение всех требований при выполнении данных сварных соединений приводит к смещению ротора, соединяющего компрессор с приводной турбиной, после чего требуется дополнительная центровка, которая занимает достаточно большое количество времени в условии сжатых сроков строительства. Также, следствием некачественной центровки является динамические нагрузки ГПА, вибрация машины и повышенный износ подшипников.

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Основной причиной смещения ЦБК в процессе сварке является расширение и сжатие металла вследствие термической деформации. При нагреве до температуры сварки и последующем охлаждении детали испытывают деформации, что в конечном итоге приводит к физическому изменению их размеров и формы. Это изменение может быть заметно или незаметно невооруженному глазу.

Термические деформации – это следствие возникновения внутренних структурных напряженностей металла, которые возникают из-за неравномерного распределения температуры и, соответственно, не одинакового изменения объема в различных сечениях детали в процессе ее охлаждения.

Во время сварки индикаторных стыков необходимо вести постоянный контроль центровки по индикаторам, которые устанавливаются на передние лапы ЦБК. Отклонение центровки по индикатору часового типа более чем 0,04 мм после окончания монтажа «гитары» не допускается (рисунок 15).

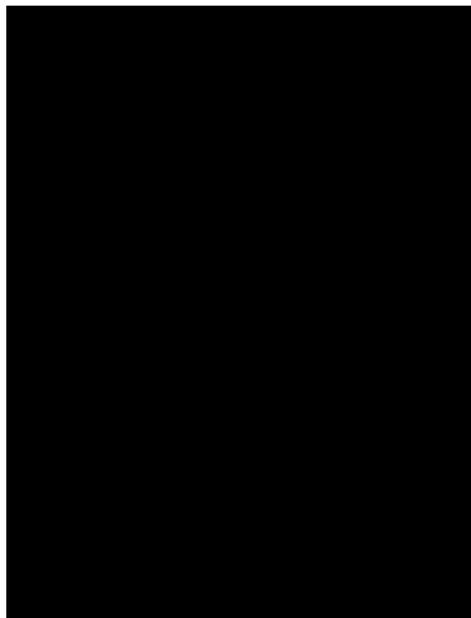


Рисунок 15 – Индикатор часового типа, установленный на передние лапки ЦБК

Проверку центровки во всех случаях выполняют с помощью специального приспособления, индикаторов часового типа.

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Центровка принимается, если несоосность осей роторов не превышает 0,1 мм и перекос осей роторов не более 0,03 мм на диаметре тарелки приспособления.

Для того, чтобы исключить отклонение центровки в процессе сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК, были внедрены дополнительные требования к пооперационному контролю, указанные на рисунке 16.

Дополнительные требования к сварке индикаторных стыков основываются на том, чтобы сохранить центровку за счет изменения процесса сварки. В случае сварки одного патрубка ЦБК, вследствие термической деформации произойдет смещение осей компрессора. Одновременная сварка обоих патрубков ЦБК позволит компенсировать расширение металла с одной из сторон компрессора за счет остановки процесса сварки одной из бригад и продолжением сварки другой.

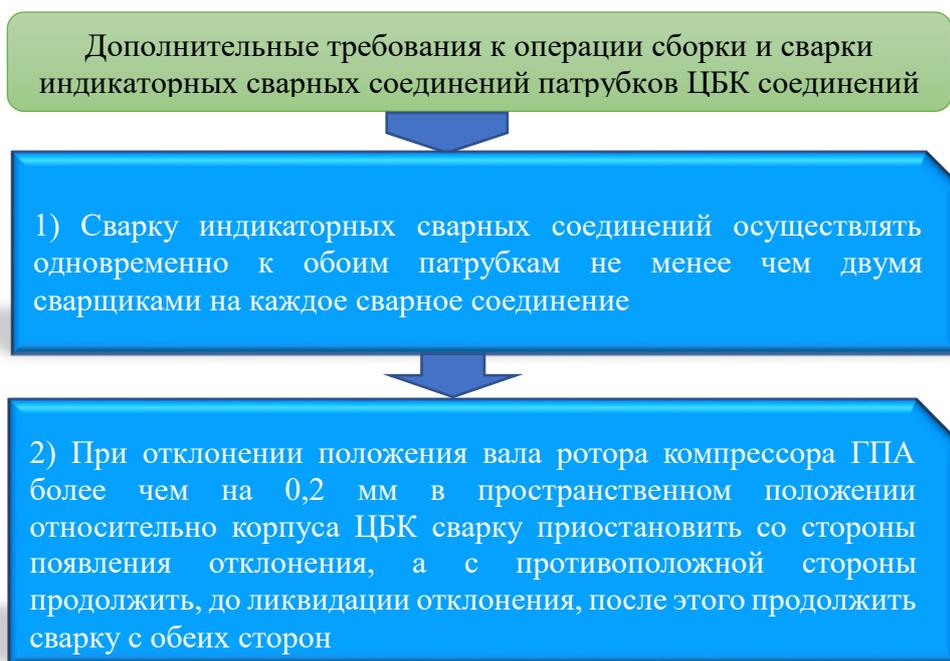


Рисунок 16 – Дополнительные требования к пооперационному контролю сварки индикаторных сварных соединений патрубков ЦБК

Дополнительные требования к сварке индикаторных стыков основываются на том, чтобы сохранить центровку за счет изменения процесса сварки.

В случае сварки одного патрубка ЦБК, вследствие термической деформации произойдет смещение осей компрессора. Одновременная сварка обоих патрубков ЦБК позволит компенсировать расширение металла с одной из сторон компрессора за счет остановки процесса сварки одной из бригад и продолжением сварки другой.

Индикаторные сварные соединения после окончания сварки независимо от температуры окружающего воздуха и наличия осадков следует накрыть термоизолирующим поясом до полного остывания.

Значения индикаторных часов фиксируются после остывания сварных соединений. При необходимости провести повторную центровку компрессора с валом турбины.

4.3 Дополнительные рекомендации по повышению качества сборки и сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК

Процедуры, проводимые перед сваркой сварного соединения не менее важны, чем сам процесс сварки. Помимо проверки уровня и подготовки сварщиков к выполнению работ, необходимо также проверить используемые детали на соответствие проекту, провести процедуру входного контроля материалов и подписать акт о результатах проверки изделий.

4.3.1 Ужесточение проведения процедуры входного контроля материалов

На участке производства работ перед началом сборки сварного соединения выяснилось, что [REDACTED]. Это влияет на качество сборки сварного соединения, а именно:

- увеличивает время сборки сварного соединения;
- сварное соединения будет иметь дефект в виде смещения кромок.

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

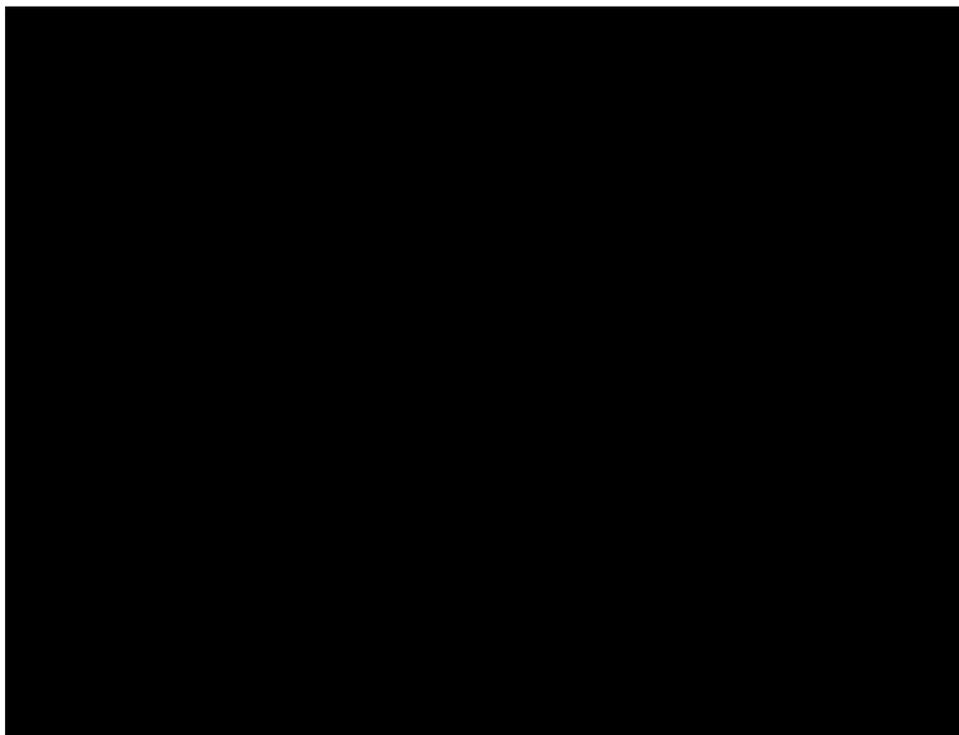


Рисунок 17 – Всасывающий патрубок ЦБК

Максимально допустимое смещение кромок согласно п.7.14.7 [13] составляет не более 4,0 мм, при условии, что сварное соединение подварено изнутри трубы и не имеет других недопустимых дефектов. Кольцевые сварные соединения со смещениями кромок превышающими предельные значения, указанные в п. 7.14.7, должны быть вырезаны.

Для того, чтобы не допускать подобных ситуаций необходимо усилить проведение процедуры входного контроля материалов как при получении, так и при отгрузке с завода изготовителя.

4.3.2 Применение переходных колец при сварке разнотолщинных сварных соединений

Характеристика свариваемых элементов на объекте производства работ представлена в таблице 15.

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Таблица 15 – Характеристика свариваемых элементов

Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Класс прочности	Нормативное значение временного сопротивления, МПа
1020	22,0	K60	590
1020	40,0	K60	590

Из таблицы 15 видно, что сварное соединение является разнотолщинным. При разнотолщинности свариваемых элементов $2S$ при различных типах разделки кромок между трубой и деталью, где S – номинальная толщина детали с меньшей толщиной стенки, рекомендуется применение переходных колец, представленных на рисунке 18.

Используемое переходное кольцо должно иметь идентичный класс прочности, как и свариваемые элементы. Согласно таблице 15, класс прочности элементов равен K60.

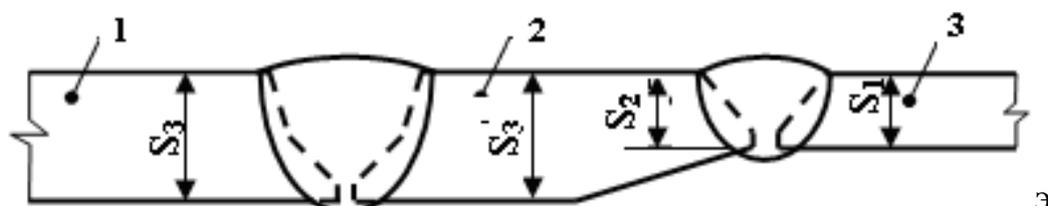


Рисунок 18 – Схема разнотолщинного сварного соединения труба+переходное кольцо: 1-труба, 2-переходное кольцо, 3-труба; S_1 -толщина стенки тонкостенного элемента, S_2 -толщина свариваемого торца толстостенного элемента, S_3 -толщина стенки толстостенного элемента

Преимуществом переходных колец заключается в том, что их применение позволит уменьшить смещение кромок свариваемых элементов и повысить технологические свойства сварного соединения.

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57



Рисунок 19 – Переходные кольца

					Комплекс предложений по повышению качества монтажа и эффективности работы ГПА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

5 Результаты внедрения метода пооперационного контроля процесса сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК

На объекте производился монтаж трех ГПА. При монтаже компресса первой машины не применялся разработанный в данной работе комплекс предложений по повышению качества монтажа ГПА. Результаты эксцентриситета при сварке индикаторных сварных соединений представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Значение показателей часов индикаторного типа до применения предложений по повышению качества пооперационного контроля

<i>Смещение ЦБК в горизонтальной плоскости, мм</i>	<i>Смещение ЦБК в вертикальной плоскости, мм</i>	<i>Смещение ЦБК в наклонной плоскости, мм</i>
■	■	■

По завершении процесса сварки были получены результаты эксцентриситета, превышающие допустимые значения, следствием чего появилась необходимость в повторной центровке компрессора с ротором турбины (рисунок 20). Повторная центровка занимает достаточно большое количество времени, что неприемлемо при сжатых сроках строительства и запуска компрессорной станции. Также при повторной центровке компрессора возрастает риск сохранения перекоса осей роторов.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции ■■■■■					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Результаты внедрения метода пооперационного контроля процесса сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК			Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Бек В.Г.							59	120	
Руковод.	Брусник О.В.							НИ ТПУ гр. 2БМ12		
Рук-ль ООП	Шадрин А.В.									

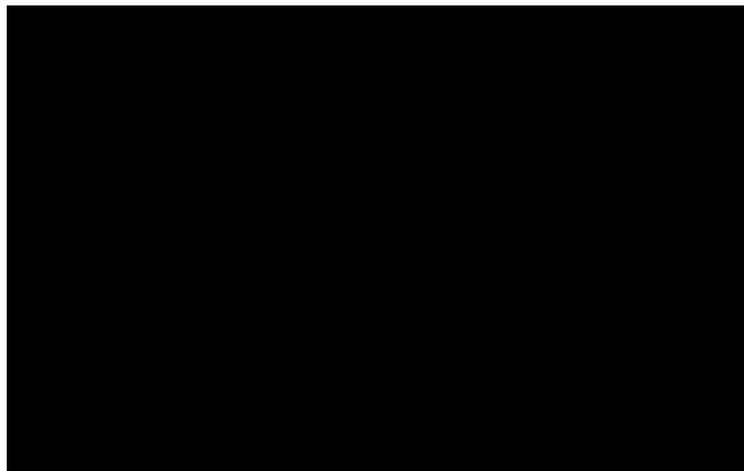


Рисунок 20 – Индикатор часового типа с недопустимым значением эксцентриситета

При сварке индикаторных стыков патрубков ЦБК на второй машине был применен разработанный комплекс предложений, который позволил достичь следующих результатов, показанных в таблице 17.

Таблица 17 – Значение показателей часов индикаторного типа после применения предложений по повышению качества пооперационного контроля

<i>Смещение ЦБК в горизонтальной плоскости, мм</i>	<i>Смещение ЦБК в вертикальной плоскости, мм</i>	<i>Смещение ЦБК в наклонной плоскости, мм</i>
■	■	■

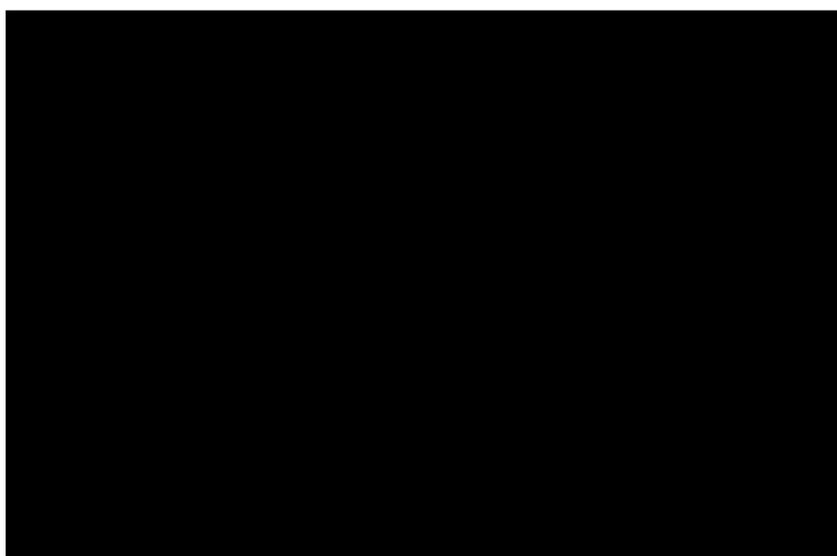


Рисунок 20 – Индикатор часового типа с допустимым значением эксцентриситета

Результаты исследования показывают, что эксцентриситет не превысил допустимые значения, что подтверждает действенность разработанных

предложений по повышению качества монтажа ГПА. Повторная центровка компрессора не потребовалась, вследствие чего потребовалось меньше времени для подготовки ГПА к запуску.

					Результаты внедрения метода пооперационного контроля процесса сварки индикаторных стыков патрубков ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

В таблице 18 приведены нормативные и расчетные статические нагрузки от оборудования ГПА-25 «Урал» в соответствии с строительными нормами.

Таблица 18 – Статические нагрузки от оборудования ГПА-25 «Урал» [1]

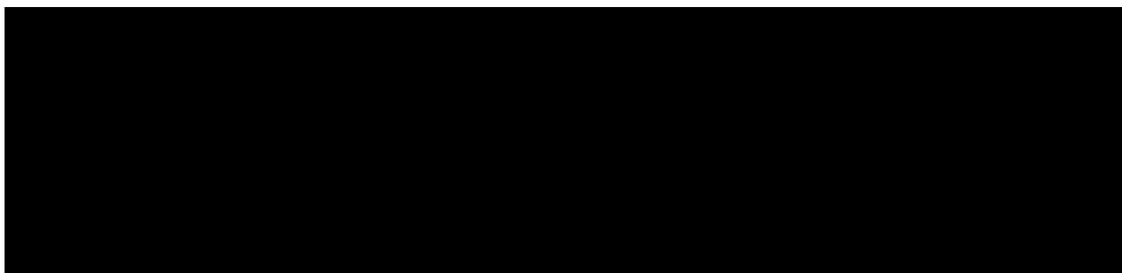
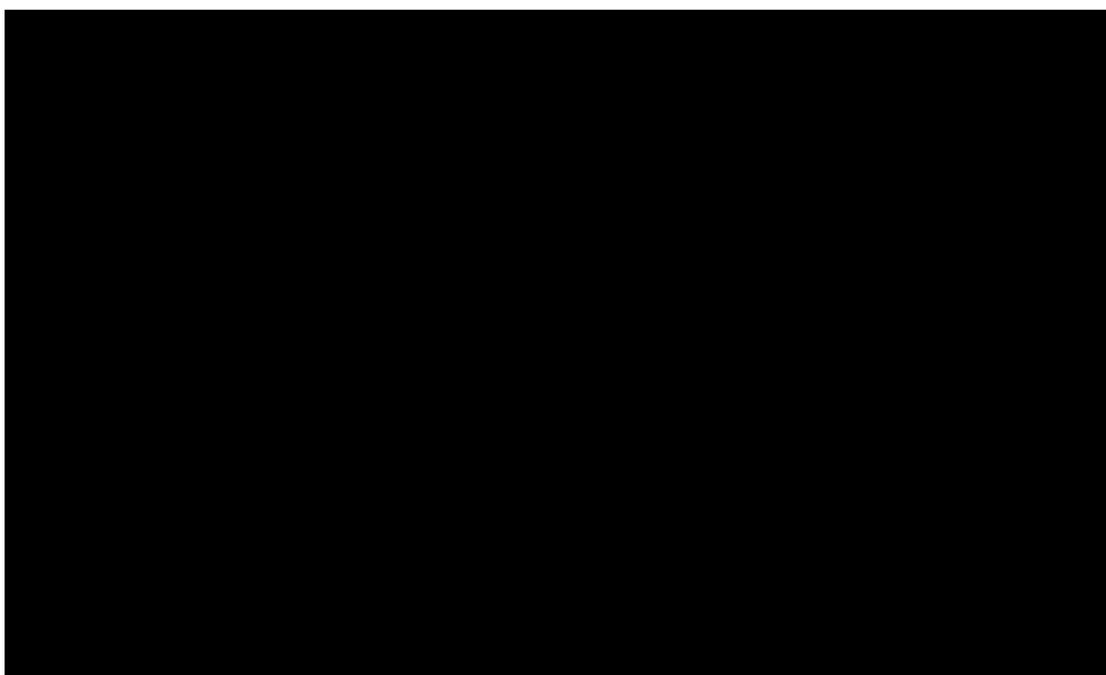


Таблица 19 – Наименования, массы и частоты вращения вращающихся частей газотурбинного двигателя мощностью 25МВт



В работе [1] вертикальные $F_{n,v}$ и горизонтальные $F_{n,h}$ нормативные динамические нагрузки [15], кН, от машин с вращающимися частями определяются по формуле:

$$F_{n,v} = F_{n,h} = \mu \sum_{i=1}^s G_i, \quad (6.1)$$

$\mu = 0,2$ коэффициент пропорциональности по [70],

G_i – вес каждого ротора машины.

					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Расчетные динамические нагрузки F_d от динамического воздействия движущихся частей машины определяются при расчете колебаний по формуле:

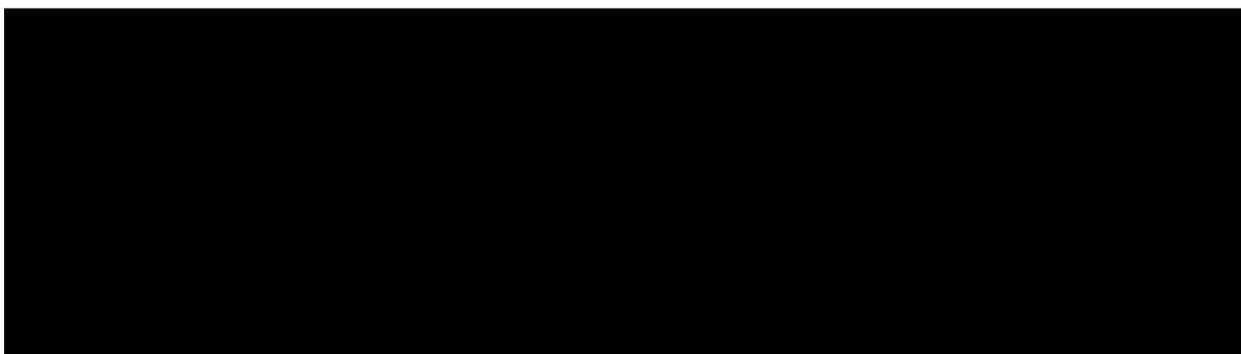
$$F_d = \gamma_f \cdot F_n, \quad (6.2)$$

где γ_f - коэффициенты надежности по нагрузке, принимаемые по [15];

F_n - нормативное значение динамической нагрузки, соответствующее нормальному эксплуатационному режиму работы машины [15].

В таблице 20 приведены исходные данные для определения динамических нагрузок от работы ГПА-25 «Урал» при расчете колебаний элементов конструкции фундамента по строительным нормам [15].

Таблица 20 – Динамические нагрузки для расчета амплитуд колебаний фундамента по [15]



Расчет колебаний фундаментов по [15] сводится к определению амплитуды горизонтальных колебаний верхней части фундамента.

Амплитуда горизонтально-крутильных колебаний относительно вертикальной оси верхней части рамных фундаментов $a_{h,\psi}$, определяется по формуле:

$$a_{h,\psi} = a_x + a_\psi \cdot l_b, \quad (6.3)$$

где a_x – амплитуда горизонтальных колебаний центра тяжести верхней плиты, м, рисунок 23, б, определяется по формуле:

$$a_x = \frac{a_{x,st}}{\sqrt{[1 + (\omega/\lambda_x)^2]^2 + 4(\varepsilon'_x)^2 \cdot (\omega/\lambda_x)^2}}, \quad (6.4)$$

a_ψ – амплитуда (угол поворота), рад, крутильных колебаний верхней плиты относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, рисунок 23, в.

					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

$$a_x = \frac{a_{\psi,st}}{\sqrt{[1 + (\omega/\lambda_{\psi})^2]^2 + 4(\varepsilon'_{\psi})^2 \cdot (\omega/\lambda_{\psi})^2}}, \quad (6.5)$$

где ω – частота вращения машины, c^{-1} , $\omega = 0,105 \cdot n_r$,

n_r – частота вращения машины, об/мин,

$a_{x,st}$, $a_{\psi,st}$ – соответственно перемещение, м, и угол поворота, рад, центра тяжести верхней плиты при статическом действии силы F_h и момента M_z

где F_h – горизонтальная составляющей динамической нагрузки по [15].

Схема приложения нагрузок F_h , M_z и форм колебаний приведена на рисунке 23.

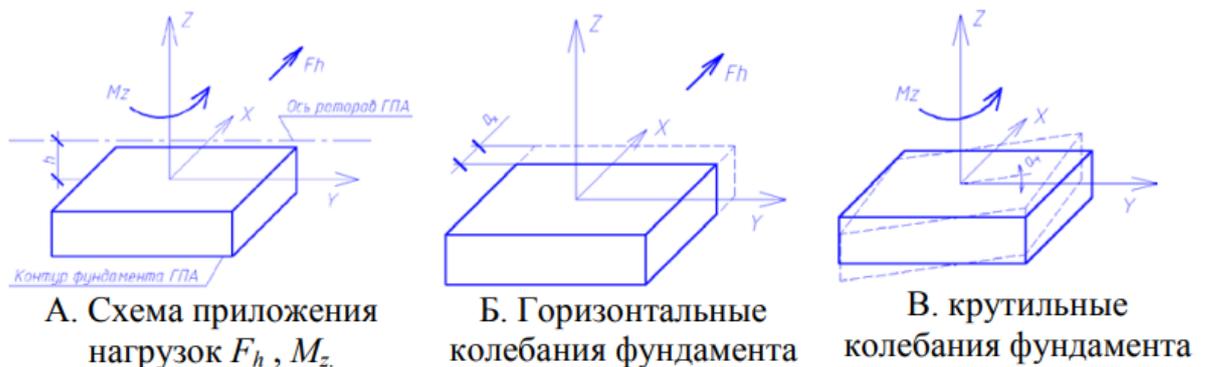


Рисунок 23 – Схема приложения нагрузок F_h , M_z , направление горизонтальных и крутильных форм колебаний фундамента [1]

Для расчета амплитуд колебаний фундамента по [15] определяется нормативная динамическая нагрузка по формуле (6.1):

$$F_{n,v} = F_{n,h} = \mu \sum_{i=1}^s G_i = 0,2 \cdot (6,7 + 7,53 + 4,1 + 1,6 + 13,5) = 6,686 \text{ кН},$$

Перемещение, м, и угол поворота, рад, центра тяжести верхней плиты при статическом действии силы F_h и момента M_z , определяются по формулам:

$$a_{x,st} = \frac{F_h}{S_x}, \quad (6.6)$$

$$a_{\psi,st} = \frac{M_z}{S_{\psi}}, \quad (6.7)$$

					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

где M_z – расчетное значение возмущающего момента относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты, для машин с вращающимися частями, Н·м,

$$M_z = F_h \cdot \frac{l_b}{2} = 6,686 \cdot \frac{6,5}{2} = 21,729 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

S_x, S_ψ – коэффициенты жесткости системы фундамент – основание соответственно в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси вала машины, Н/м, и при повороте в горизонтальной плоскости, Н·м,

λ_x, λ_ψ – угловые частоты горизонтальных и крутильных колебаний фундамента относительно вертикальной оси, с⁻¹,

$l_b = 6,5$ м – расстояние от центра тяжести верхней плиты до оси наиболее удаленного подшипника машины, м.

Частота собственных колебаний фундамента:

Угловая частота собственных колебаний фундамента в горизонтальном направлении, перпендикулярном оси вала машины:

$$\lambda_x = \sqrt{\frac{S_x}{m}} = 177,3 = 177,3 \text{ 1/с}$$

Угловая частота крутильных собственных колебаний фундамента в горизонтальной плоскости:

$$\lambda_\psi = \sqrt{\frac{S_\psi}{\Theta_\psi}} = 386,6 \text{ 1/с}$$

где: $m = 49000$ кг – масса системы фундамент-ГПА; $\Theta_\psi = 1,342 \cdot 10^6$ кг·м² – момент инерции массы m относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести верхней плиты горизонтальной рамы.

Результаты расчетов показали, что амплитуда колебаний фундамента отлична от нуля, то есть имеются статические нагрузки от веса оборудования. Это может привести к тому, что динамические нагрузки могут возрасти многократно. Необходимо отметить, что в рассматриваемом случае скорости вращения роторов ГПА различаются, в момент разгона роторы ГПА проходят

					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

через «резонансную частоту» не одновременно. В момент прохождения через резонансную частоту роторами с массами m_1, m_4, m_5 выполняется условие:

$$\omega_1 = \omega_4 = \omega_5 = \lambda, \omega_2 < \lambda, \omega_3 > \lambda,$$

где: λ – частота собственных колебаний фундамента.

То есть ротор силовой турбины, трансмиссия и ротор нагнетателя вращаются с частотой равной собственной частоте колебаний фундамента $\omega_1 = \omega_4 = \omega_5 = \lambda$, частота вращения ротора турбины низкого давления – меньше $\omega_2 < \lambda$, а частота вращения компрессора высокого давления – больше частоты собственных колебаний фундамента $\omega_3 > \lambda$.

6.2 Расчет периодических нагрузок от вращения роторов ГПА

В машинах с номинально уравновешенными движущимися частями, к которым относится двигатель ГПА, динамические нагрузки определяются как центробежная сила, по формуле:

$$P = m \cdot e \cdot \omega^2 = U \cdot \omega^2, \quad (6.8)$$

где: m – масса движущихся частей машины (масса роторов), кг; ω – круговая частота вращения, 1/сек.; e – амплитуда перемещения центра масс ротора от оси его вращения (эксцентриситет ротора), м, U – дисбаланс ротора, кг·м.

В некоторый момент времени t центробежная сила действует под углом $\alpha = \omega \cdot t$, таким образом на опоры ротора действует две силы направленные в вертикальном P_z и горизонтальном направлении P_y .

$$P_z = m \cdot e \cdot \omega^2 \sin(\omega t) = U \cdot \omega^2 \sin(\omega t), \quad (6.9)$$

$$P_y = m \cdot e \cdot \omega^2 \cos(\omega t) = U \cdot \omega^2 \cos(\omega t), \quad (6.10)$$

где: P_z – амплитуда динамической силы, изменяющаяся по закону $\sin \omega t$, Н; P_y – амплитуда динамической силы, изменяющаяся по закону $\cos \omega t$, Н.

Центробежная сила от вращения роторов ГПА передается от корпуса двигателя на раму в виде вертикальных и горизонтальных периодических нагрузок $P_z(\omega)$ и $P_y(\omega)$ в точках крепления опор двигателя к раме ГТД, рисунок 23. Далее нагрузки передаются на фундаментную конструкцию через точки крепления рамы к фундаменту.

					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

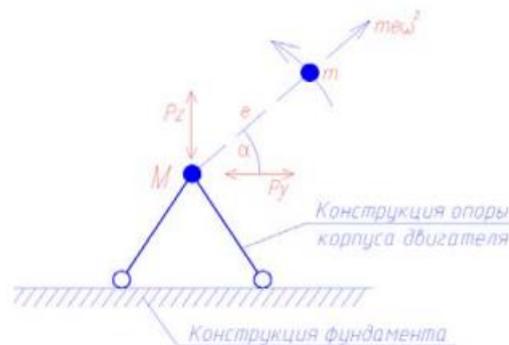


Рисунок 23 – Схема передачи центробежной силы на опоры ротора ГПА [1]

В работе [1] был проведен эксперимент на примере ГПА-25 по определению периодических нагрузок $P_z(\omega)$ и $P_y(\omega)$, действующих на раму газотурбинного двигателя и раму компрессора в точках крепления опор к раме. Центробежные силы, возникающие от вращения роторов ГПА, приложены в точках расположения центров масс, указанных на рисунке 25, где: m_3 – масса ротора СТ, m_1 – масса ротора ТНД, m_2 – масса ротора КВД, m_4 – масса трансмиссии, m_5 – масса ротора нагнетателя.

Исходные данные для расчета действия центробежных сил от вращения роторов ГПА представлены в таблице 21. В ней фигурируют такие параметры как частоты вращения ω и массы m роторов приведены. Эксцентриситет всех роторов e приняли равным 0,0015мм.

Таблица 21 – Данные для определения динамической нагрузки от ГПА-25 «Урал»

--	--	--	--	--

Схема расположения центров масс роторов двигателя ПС-90ГП-25 и нагнетателя ГПА-25 «Урал» на рисунке 25.

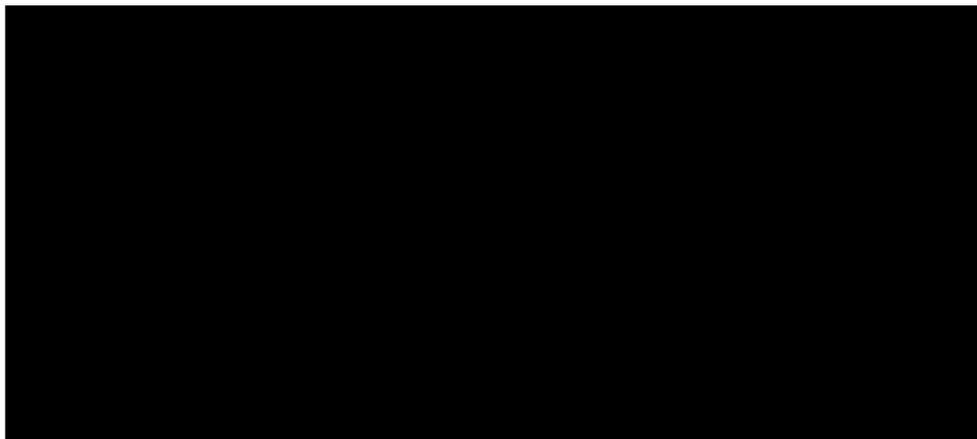


Рисунок 25 – Расположение центра масс роторов двигателя ПС-90ГП-25 и нагнетателя ГПА-25 «Урал»

Расчетная динамическая нагрузка от газотурбинных ГПА вычисляется как центробежная сила по формуле:

$$P = U_{per} \cdot \omega^2 \cdot k_{\bar{r}} \quad (6.11)$$

где: U_{per} – допустимое значение остаточного дисбаланса для данного типа машины, кг·м; $U_{res} = m \cdot e$ - остаточный дисбаланс ротора по результатам испытаний на стенде, кг·м; $k_n = U_{res} / U_{per}$ – поправочный коэффициент равный отношению остаточного дисбаланса ротора U_{res} к допустимому U_{per} значению для данного типа машины по данным производителей ГПА.

Периодическая нагрузка от роторов с массами m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 распределяется между опорами двигателя №1, №2 и нагнетателя №3, №4. В расчетной модели, центробежная сила от роторов распределяется между опорами обратно пропорционально расстоянию центра тяжести ротора до опоры. Приведена схема передачи вертикальных и горизонтальных центробежных сил $P_{z1}(t) = U_{per1} \cdot \omega_1 \cdot 2 \cdot k_{1T} \cdot \sin(\omega_1 t)$, $P_{y1}(t) = U_{per1} \cdot \omega_1 \cdot 2 \cdot k_{1T} \cdot \sin(\omega_1 t)$, от ротора массой m_1 , аналогично $P_{z2}, P_{y2}, P_{z3}, P_{y3}, P_{z4}, P_{y4}, P_{z5}, P_{y5}$ от ротора массой $m_2 \dots m_5$ на опоры двигателя №1...№4. Здесь $\omega_1 \dots \omega_5$ – соответственно частоты вращения роторов с массами $m_1 \dots m_5$, k_{1T} – коэффициент пропорциональный расстоянию ротора массой m_1 до опоры №n.

					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Суммарная центробежная сила, действующая на опоры №1...№4 от роторов с массами $m_1...m_5$ в момент времени t , определяется по формулам:

- в вертикальном направлении, на опоры №1,2,3 и 4 соответственно

$$Z_1(t) = P_{z1}(t) \cdot k_{11} + P_{z2}(t) \cdot k_{21} + P_{z3}(t) \cdot k_{31},$$

$$Z_2(t) = P_{z1}(t) \cdot k_{12} + P_{z2}(t) \cdot k_{22} + P_{z3}(t) \cdot k_{32} + P_{z4}(t) \cdot k_{42},$$

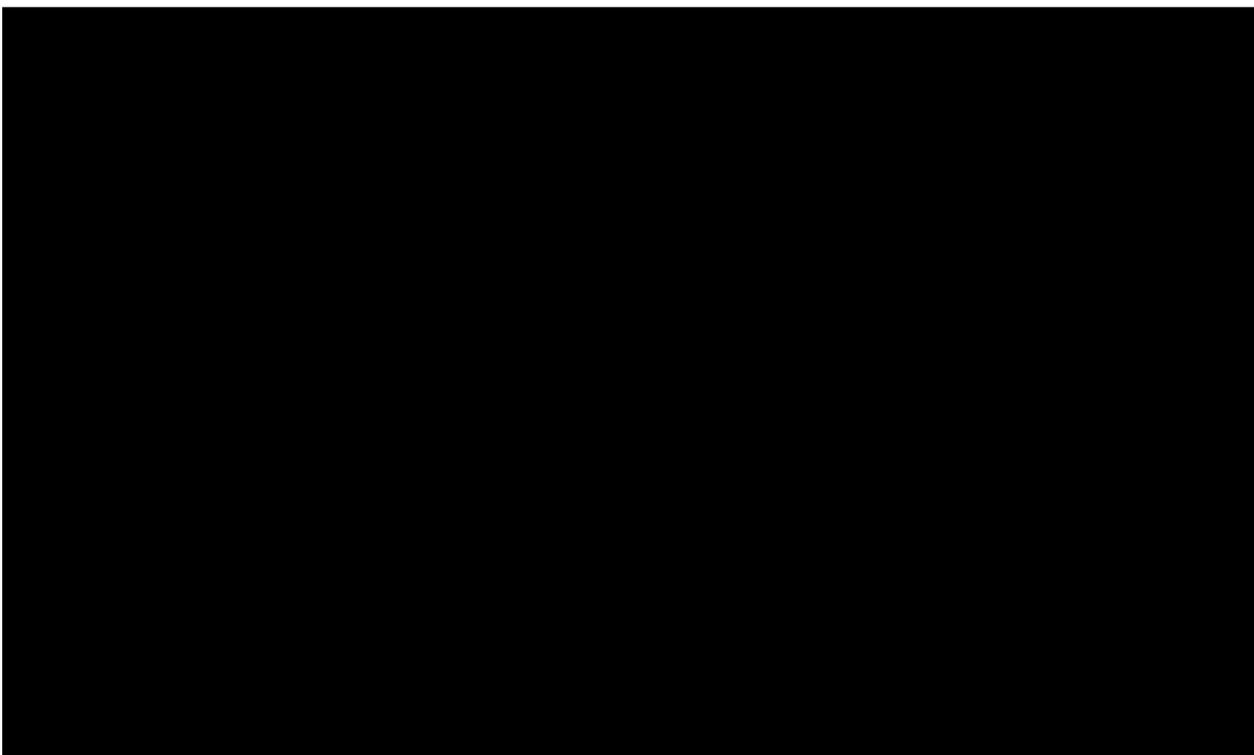
$$Z_3(t) = P_{z4}(t) \cdot k_{43} + P_{z5}(t) \cdot k_{53},$$

$$Z_4(t) = P_{z5}(t) \cdot k_{54},$$

- в горизонтальном направлении, на опоры №1,2,3 и 4 соответственно $Y_1(t), Y_2(t), Y_3(t), Y_4(t)$ – отличаются только направлением по оси Y .

В таблице 22 приведены значения центробежной силы на опоры №1, 2, 3, 4.

Таблица 22 – Вертикальные и горизонтальные центробежные силы, действующей на опоры газотурбинного двигателя №1, 2 и нагнетателя №3,4



На рисунке 25 [1] представлены графики зависимости центробежных сил от скорости вращения и остаточного эксцентриситета роторов на примере ГПА «Урал» мощностью 25,0 МВт. Так было проведено сравнение центробежных сил, вычисленных для численного значения эксцентриситета



					Расчет динамических нагрузок ГПА в случае смещения пространственного положения ЦБК	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

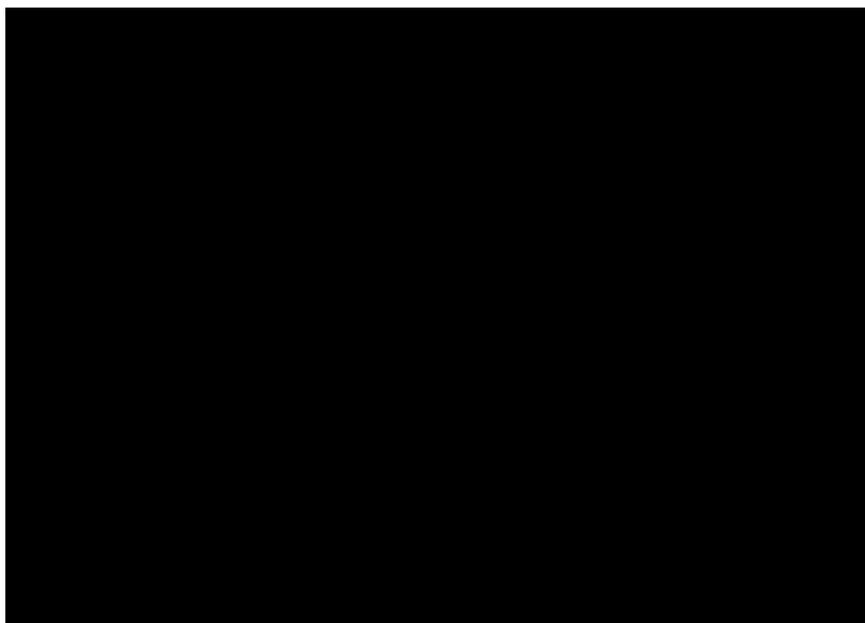
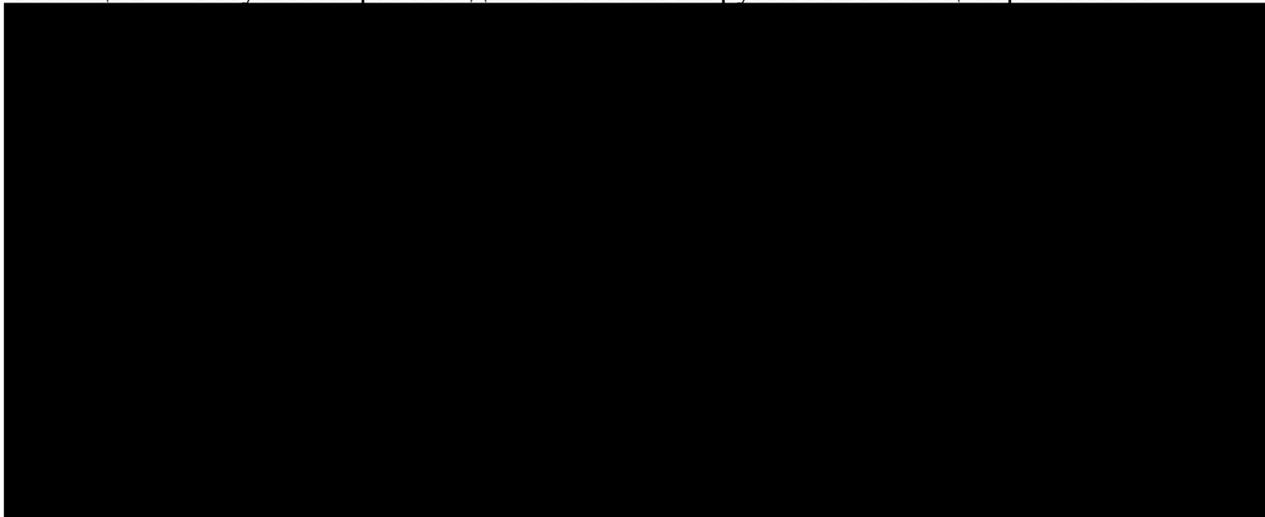


Рисунок 25 – График зависимости центробежных сил от скорости вращения ротора и расчетного эксцентриситета, где: $P1(\omega)$, $P2(\omega)$, $P3(\omega)$, $P4(\omega)$, $P5(\omega)$ – динамические нагрузки с эксцентриситетом $e_1=0,0015$ мм; $P1^*(\omega)$, $P2^*(\omega)$, $P3^*(\omega)$, $P4^*(\omega)$, $P5^*(\omega)$ – динамические нагрузки с эксцентриситетом $e_2=0,003$ мм. [1]

Из графика видно, что значения центробежной силы с большим эксцентриситетом e_2 выше, чем при эксцентриситете e_1 . К тому же есть зависимость и от частоты вращения роторов. Так, при 300 об/мин значение центробежной силы при эксцентриситете [REDACTED] составляет [REDACTED], а при эксцентриситете [REDACTED]

Результаты расчета динамических нагрузок ГПА с эксцентриситетом представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты расчета динамических нагрузок ГПА с эксцентриситетом



Из полученных результатов расчета можно сделать вывод, что динамические нагрузки с эксцентриситетом [REDACTED] мм превышают динамические нагрузки с меньшим эксцентриситетом [REDACTED]. Наибольшее значение динамических нагрузок составило [REDACTED], источником которого является ротор центробежного компрессора. Следовательно, перекос осей ротора, возникающий в следствии сварки индикаторных сварных соединений патрубков ЦБК приводит к увеличению динамических нагрузок от вращения роторов ГПА, что в свою очередь приводит к появлению вибрации оборудования. Вибрация повышает скорость изнашивания важных узлов и деталей, уменьшая надежность и ресурс оборудования.

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
2БМ12	Бек Валерий Геннадьевич

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделения нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально – технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение монтажа аппарата воздушного охлаждения «Айсберг»
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Общая часть от 5 декабря 1986 г. №43/512/29-50
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации (1 часть) ФЗ №146 от 31.07.1998 в ред. от 28.03.2023 Налоговый кодекс Российской Федерации (2 часть) ФЗ №117 от 05.08.2000 в ред от 28.04.2023
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	Обоснование эффективности применения аппарата воздушного охлаждения «Айсберг» на компрессорной станции
<i>2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат при проведении монтажа аппарата воздушного охлаждения «Айсберг»
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности применения аппарата воздушного охлаждения «Айсберг»

Дата выдачи задания для раздела в соответствии с календарным учебным графиком	
---	--

Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Шарф И.В.	д.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ12	Бек Валерий Геннадьевич		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В магистерской диссертации описываются пути повышения энергоэффективности компрессорных станций. Аппараты воздушного охлаждения (АВО) устанавливаются после каждого газоперекачивающего агрегата, в зависимости от компоновки компрессорной станции. Скомпримированный газ охлаждается потоками воздуха от лопастей АВО. Одним из путей повышения энергоэффективности является замена АВО старого поколения и низким КПД на АВО нового поколения или его модернизация. Так как на исследуемом объекте АВО исчерпал свой резерв конструктивного развития было решено внедрить АВО нового поколения.

Необходимо рассчитать эффективность использования данной конструкции для рассматриваемой компрессорной станции «Максим Порфильев». С этой целью необходимо рассчитать единовременные (приобретение оборудования и его монтажа) и эксплуатационные затраты для того, чтобы сравнить экономическую эффективность предлагаемой конструкции.

7.1 Расчет амортизационных отчислений

Затраты определяются исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов, и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части.

Расчет амортизационных отчислений для оборудования АВО газа представлен в таблице 24. Он проведен согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 18.11.2022) «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.					74	120
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ12		

Таблица 24 – Расчет амортизационных отчислений

Объект	Стоимость (руб.)	Норма амортизации (%)	Норма амортизации в год (руб.)	Норма амортизации в час (руб.)	Кол-во	Сумма амортизации, руб.
Кран на автомобильном ходу, грузоподъемность 16т.	16 000 000	33,33	5 333 333	617,28	3	1 486 111
Кран на автомобильном ходу, грузоподъемность 25т.	25 000 000	33,33	8 333 333	964,51	3	2 322 049
Автомобили бортовые, грузоподъемность 5т	9 500 000	25,00	2 375 000	274,88	2	382 364
Установки для сварки ручной дуговой	1 575 000	33,33	525 000	60,76	10	520 138
Прессы гидравлические с электроприводом	2 488 000	25,00	622 000	71,99	2	115 545
Итого						4 826 200

Таким образом, сумма амортизационных отчислений для оборудования АВО газа получилось равным 4 826 200 руб.

7.2 Расчет стоимости материалов на выполнение монтажных работ

Материальные затраты рассчитываются путем учета стоимости материалов, используемых в процессе производства или предоставления услуги. Расчет материальных затрат включает в себя:

- определение необходимых материалов;
- определение необходимого количества каждого материала для выполнения процесса;
- определение стоимости материала;
- суммирование общей стоимости каждого материала для получения общей стоимости материальных затрат.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно - заготовительные расходы;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.)

В таблице 25 приведен расчет стоимости материалов для монтажа АВО газа.

Таблица 25 – Расчет стоимости материалов на проведение мероприятия

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу	Стоимость
Прокладки паронитовые	шт	3	13 200	39600
Электроды сварочные Э42, диаметр 5 мм	шт	12	48 000	576000
Электроды УОНИ 13/55	шт	12	65 000	780000
Болты с шестигранной головкой, диаметр 12 (14) мм	шт	25	6 300	157500
Подкладки металлические	шт	5	58 000	290000
Поковки простые строительные (скобы, закрепы, хомуты), масса до 1,6 кг	шт	3	40 000	120000
Прокат листовой горячекатанный в листах с обрезными кромками, улучшенной плоскостности и повышенной точности прокатки из углеродистой стали Ст0, толщина 9-12 мм	шт	2	1500	3000
Шпалы непропитанные для железных дорог	шт	10	25 000	250000
Итого				2 221 100

Таким образом, прочие затраты на материалы составили 2 221 100 руб.

7.3 Расчет затрат на оплату труда

К расходам на оплату труда относятся:

– суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;

– надбавки по районным коэффициентам, за работу в районах Крайнего Севера и др., представленные в таблице 26.

Таблица 26 – Надбавки к заработной плате сотрудников

Надбавка	Коэффициент
Районный коэффициент	1,6
Северная коэффициент	1,7

Далее определим затраты на оплату труда работников за период монтажа АВО газа, представленные в таблице 27.

Производством работ по балластировке газопровода занимается бригада в следующем составе:

- мастер (2 человека);
- монтажник (4 человека);
- электросварщик (5 человек);
- слесарь (5 человек);
- водитель (2 человека);
- крановщик 5 разряда (3 человека);
- крановщик 6 разряда (3 человека).

Таблица 27 – Расчет затрат на заработную плату работников

Профессия	Кол-во	Тариф. ставка, руб./час	Время на проведение, ч.	Тарифный фонд ЗП, руб.	Сев. и рай. коэф. 70%+60%	ЗП с учетом надбавок, руб.
Мастер	2	210	44,36	18631,2	19860,86	38492
Монтажник	4	135	32,1	17334	19622,09	36956
Электросварщик	5	125	44,36	27725	32299,63	60025
Слесарь	5	110	31	17050	19863,25	36913
Крановщик 5 разряда	3	165	345,64	171091,8	188029,9	359122
Крановщик 6 разряда	3	195	345,64	202199,4	222217,1	424417
Водитель	2	150	31	9300	9913,8	19214
Итого	24			463 331,40	511 189	974 520

Таким образом, затраты на оплату труда работников на период проведения работ составляют **974 520** рублей.

7.4 Отчисления во внебюджетные страховые фонд

Затраты на страховые взносы в фонд пенсионного и социального страхования, фонд обязательного медицинского страхования, в том числе от несчастных случаев на производстве монтаже АВО газа представлены в таблице 5.

Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем класс I с тарифом 0,2% для транспортирования по трубопроводам газа (код по ОКВЭД – 49.50.21 Приказ от 30 декабря 2016 г. N 851н «Об утверждении классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска»).

Зная общий фонд заработной платы, рассчитаем величину отчислений на социальные нужды.

Таблица 28 – Затраты на страховые отчисления

Профессия	Кол-во работников	ЗП, руб.	Страховые взносы 30%	Страхование от несчастных случаев (тариф 0,2%)	Всего страховых взносов, руб.
Мастер	2	38492	11547,6	77,0	11624,6
Монтажник	4	36956	11086,8	73,9	11160,7
Электросварщик	5	60025	18007,5	120,1	18127,6
Слесарь	5	36913	11073,9	73,8	11147,7
Крановщик 5 разряда	3	359122	107736,6	718,2	108454,8
Крановщик 6 разряда	3	424417	127325,1	848,8	128173,9
Водитель	2	19214	5764,2	38,4	5802,6
Итого:					294 310

Таким образом, общая сумма страховых взносов составила 294 310 руб.

7.5 Затраты на топливо

В данном пункте мы рассчитываем затраты на дизельное топливо для рабочей техники. Для монтажа АВО газа необходима следующая техника:

- Кран на автомобильном ходу грузоподъемностью 16т;
- Кран на автомобильном ходу грузоподъемностью 25т;
- Автомобили бортовые грузоподъемностью 5т.

В таблице 29 приведено количество топлива, необходимого для производства работ, затраты на топливо для каждого из видов техники, а также общие затраты на топливо.

Затраты на дизельное топливо рассчитаны по формуле:

$$Z_T = Q_T \cdot t_T \cdot C_T, \text{ руб.}$$

где Q_T – расход топлива оборудования, л/ч;

t_T – время работы оборудования, ч;

C_T – стоимость дизельного топлива, руб.

Таблица 29 – Необходимое количество топлива для техники и затраты на нее

	Кран на автомобильном ходу, грузоподъемность 16 т.	Кран на автомобильном ходу, грузоподъемность 25 т.	Автомобили бортовые, грузоподъемность 5т
Кол-во	3	3	2
Расход топлива, л/час	15	15	12
Стоимость 1л ДТ	67,20		
Необходимо топлива, л	6195	6195	4260
Затраты на ДТ, руб.	416 304	418 320	286 272
Итого, руб.	1 120 700		

Таким образом, затраты на топливо для производства работ по монтажу АВО газа составили 1 120 700 рублей.

7.6 Оценка экономической эффективности проекта

Оценка экономической эффективности проекта является важным этапом в расчете и включает в себя анализ финансовых показателей, таких как чистый внутренняя норма доходности, срок окупаемости, чистый дисконтированный доход и индекс доходности капитальных вложений.

В настоящее время популярность набрали частотно-регулируемые приводы (ЧРП), которые позволяют изменять частоту вращения лопастей вентиляторов АВО, тем самым плавно регулируя температуру скопимированного газа в зависимости от требуемых параметров транспортируемого продукта, что позволит сократить энергопотребление на 35%. Так же применение ЧРП позволит уменьшить число запусков каждого отдельно взятого вентилятора, что позволит увеличить ресурс двигателей.

Таблица 30 – Эксплуатационные показатели

Показатели	Ед. из	Год				
		2023	2024	2025	2026	2027
Среднегодовая транспортировка газа	млн. т	0	19,1	19,1	19,1	19,1
Накопленная транспортировка газа	млн. т	0	19,14	38,28	57,42	76,56
Эксплуатационные затраты без налогов	млн. руб.	0	50,9433	50,8371	50,7310	50,6248
Амортизационные отчисления	млн. руб.	0	4,8	4,8	4,8	4,8
Капитальные вложения	млн. руб.	120,656	0	0	0	0
Тариф на транспортировку газа	руб./тыс. т км	778	778	778	778	778

Выручка от применяемой технологии за 4,5 года составит 893,46 млн. руб., при этом отчисления в федеральный бюджет составят 138,06 млн. руб., а чистая прибыль достигнет 552,26 млн. руб.

Таблица 31 – Экономические показатели

Показатели	Ед. изм.	Σ	Значения по годам				
			2023	2024	2025	2026	2027
Выручка	млн. руб.	893,46	0	223,36	223,36	223,36	223,36
Текущие затраты	млн. руб.	203,14	0	50,94	50,84	50,73	50,62
Валовая прибыль	млн. руб.	690,32	0	172,42	172,53	172,63	172,74
Налог на имущество	млн. руб.	9,56	0	2,55	2,44	2,34	2,23
Налог на прибыль (20 %)	млн. руб.	138,06	0	34,48	34,51	34,53	34,55
Итого налоги	млн. руб.	147,62	0	37,03	36,95	36,86	36,78
Чистая прибыль	млн. руб.	552,26	0	137,94	138,02	138,11	138,19
Денежный поток	млн. руб.	450,90	-120,65	142,76	142,85	142,93	143,02
Накопленный денежный поток	млн. руб.	825,19	-120,65	22,11	164,95	307,89	450,90

Показатели	Ед. изм.	Σ	Значения по годам				
			2023	2024	2025	2026	2027
Чистый дисконтированный доход (ЧДД)	млн. руб.	296,49	-120,65	3,49	111,50	205,48	287,25
Суммарный дисконтированный доход			млн. руб.		296,49		
Внутренняя норма доходности (ВНД)			%		112,79		
Срок окупаемости (простой)			лет		1,9		
Срок окупаемости (дисконтированный)			лет		2,0		
Индекс доходности капитальных вложений			доли ед.		2,46		

Исходя из данных таблицы, рассчитанные показатели указывают на высокую экономическую эффективность проекта. Оценим каждый показатель отдельно:

1. Короткий срок окупаемости говорит о том, что изначальные инвестиции в проект будут полностью погашены в течение короткого периода времени. Это положительный фактор, свидетельствующий о быстром возврате вложенных средств.

2. Чистый дисконтированный доход положительный, что указывает на то, что приведенные доходы превышают приведенные затраты проекта. Это означает, что проект в целом приносит финансовую прибыль.

3. Внутренняя норма доходности равна 112,79%: Высокий уровень внутренней нормы доходности указывает на то, что доходность проекта значительно превышает требуемую ставку дисконтирования. Это свидетельствует о экономической эффективности проекта.

4. Индекс доходности капитальных вложений равен 2,46: Значение индекса доходности капитальных вложений больше 1, что говорит о том, что приведенные доходы в 2,46 раз превышают приведенные затраты. Это свидетельствует о высокой эффективности проекта.

Вследствие выше указанных факторов целесообразно воспользоваться частотно-регулируемым электроприводом, который позволит сократить расходы на электроэнергию, уменьшить затраты на текущий ремонт электродвигателей, повысить срок службы привода АВО газа, уменьшить

размер пускового тока, а также возможность регулировать частоту вращения вентиляторов.

Выводы по разделу

В результате выполнения работы были определены основные экономические показатели, необходимые для монтажа АВО газа с частотно-регулируемым приводом.

Данное решение продемонстрировало локальную выгоду со сроком окупаемости – 1,9 года. Выручка от задумки полностью зависит от цен на газ, от курса валют, поэтому сложно делать длительные предсказания. По нынешним ценам и курсу – выручка за 4,5 года составила порядка 1 млрд. руб.

Также по заключительным таблицам можно сделать вывод о том, что короткий срок окупаемости, положительный чистый дисконтированный доход, высокая внутренняя норма доходности и высокий индекс доходности капитальных вложений указывают на то, что проект будет приносить значительную финансовую прибыль и является привлекательным для инвесторов.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа 2БМ12		ФИО Бек Валерий Геннадьевич	
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль «Надежность и безопасность объектов транспорта и хранения углеводородов»

Тема: «Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: компрессорная станция</p> <p>Область применения: газодобывающая промышленность, транспорт газа в системе магистральных газопроводов</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение, полевые условия</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2011 №197-ФЗ (ред. от 09.03.2021); 2. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты 3. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. 4. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
--	--

<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – недостаточная освещенность на рабочем месте; – загазованность рабочей зоны; – повышенный уровень шума и вибрации; <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – движущиеся машины и механизмы; – электрический ток; – оборудование и трубопроводы, работающие под давлением; – пожароопасность. <p>Средства индивидуальной и коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Искусственное освещение; – Спецодежда, спецобувь с повышенным тепловым сопротивлением, защитные маски для лица; – Переносные газоанализаторы; – Защитные беруши, звуко- и виброизолирующие кожухи; – Порошковые и углекислотные огнетушители, пожарные щиты и стенды.
---	---

	Расчет: В работе произведен расчет системы общего люминесцентного освещения.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<p>Воздействие на селитебную зону: инженерные работы на КС осуществляется в отдаленных от жилых зон регионах, влияние отсутствует.</p> <p>Воздействие на литосферу: уничтожение и повреждение почвенного слоя, сельхозугодий и других земель</p> <p>Воздействие на гидросферу: попадание в гидросферу загрязняющих веществ, такие как хозяйственно-бытовые сточные воды</p> <p>Воздействие на атмосферу: выброс в атмосферу выхлопных газов от автомобилей, а также от стационарных источников</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС: возникновение пожара в цеху КС, взрыв газа в цеху КС</p> <p>Наиболее типичная ЧС: взрыв газа в цеху КС</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ12	Бек Валерий Геннадьевич		

8 Социальная ответственность

Компрессорная станция магистрального газопровода является комплексом инженерных сооружений, обеспечивающих основные технологические процессы – транспортировку, очистку, охлаждение газа.

Важнейшей задачей при производстве работ по повышению эксплуатационной надежности газотурбинного газоперекачивающего агрегата является соблюдение правил и требований производственной и экологической безопасности.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов, которые могут повлиять на инженерных работников при проектировании энергосистемы компрессорной станции «Максим Порфирьев». Также поднимаются вопросы пожарной профилактики, техники безопасности и защиты окружающей среды. По тематике даются рекомендации по повышению оптимальных условий труда.

Участок производства работ расположен в Алданском районе Республики Саха (Якутия). Подводящая к станции трасса проложена как через заболоченные скальные районы, так и через сейсмоактивные участки, вечномёрзлые грунты. Климат района работ резко континентальный с суровой зимой и жарким, но коротким летом.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К производственным работам допускаются те, кто достиг 18-летнего возраста, прошел обучение и проверку знаний, а также имеет квалификацию, соответствующую установленным нормам охраны труда.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции [REDACTED]			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Бек В.Г.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.					86	120
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.				НИ ТПУ гр. 2БМ12		

Работники должны иметь необходимые навыки и группу по электробезопасности, а также медицинское разрешение на выполнение задач, связанных с данной работой [22].

Работы по эксплуатации ГПА компрессорной станции проводятся лицами, работающими вахтовым методом. Данный вид работ регулируется Трудовым Кодексом РФ. Вахтовый метод – особая форма осуществления трудового процесса вне места постоянного проживания работников, когда не может быть обеспечено ежедневное их возвращение к месту постоянного проживания. Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха. Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. Рабочее время и время отдыха в пределах 77 учетного периода регламентируются графиком работы на вахте, который утверждается работодателем [23].

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др. Нормальная продолжительность рабочего времени на месторождениях полезных ископаемых и участках их разработки – 40 часов в неделю, а на работах с вредными условиями труда – 36 часов в неделю.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться, перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается.

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ТК РФ ст. 137. В 113 случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательно предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации [23]:

- уменьшение количества рабочих часов (36 часов в неделю и меньше),
- оплачиваемый отпуск, являющийся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней),
- происходит рост оплаты труда (не меньше 4% от оклада),
- льготы для пенсионного обеспечения,
- бесплатное лечение и оздоровление,
- выдача расходных материалов – спецодежды, обеззараживающих средств.

Находясь на территории производственной площадки, в производственных и бытовых помещениях, на участках работ и рабочих местах, работники, а также представители других организаций обязаны выполнять правила внутреннего трудового распорядка, принятые в данной организации. Территориально обособленные помещения, площадки, участки работ, рабочие места должны быть обеспечены телефонной связью или радиосвязью.

Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождение рабочих мест, проходов, доступа к противопожарному оборудованию.

8.2 Производственная безопасность

Рассмотрим основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по

										Лист
										88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность					

повышению эксплуатационной надежности газотурбинного газоперекачивающего агрегата, которые представлены в таблице 32.

8.2.1 Анализ вредных производственных факторов

При проектировании энергосистемы КС на газовом месторождении инженеры подвергаются следующим вредным производственным факторам:

1. Отклонения показателей микроклимата.

Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе возможно при неблагоприятных погодных условиях (слишком низкая/высокая температура воздуха, дождь, снег, сильный ветер и т.п.).

Так как ремонт резервуара может проводиться как в теплый период времени года, так и в холодный, то рассмотрим требования к организации работ на открытой территории в зимний и летний период года. Работы ведутся от минус 45°С до плюс 40°С.

Таблица 32 - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении работ по повышению эксплуатационной надежности газотурбинного газоперекачивающего агрегата

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	разработка	изготовление	эксплуатация	
Вредные факторы: Отклонения показателей микроклимата		+	+	СанПиН 2.2.4.548-96
Недостаточная освещенность на рабочем месте		+	+	СНиП 23-05-2010 СП 52.13330.2016 (акт. редакция СНиП 23-05-95*
Загазованность рабочей зоны			+	ГН 2.2.5.686-98 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ
Повышенный уровень шума и вибрации	+	+	+	СП 51.13330.2011 ГОСТ 31192.1-2004
Опасные факторы: Движущиеся машины и механизмы	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015
Электрический ток		+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 ГОСТ 12.1.019-2017
Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением	+	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ
Пожароопасность	+	+	+	ФЗ от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ

Постоянное отклонение метеоусловий на рабочем месте от нормальных параметров приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма и связанным с ними негативным последствиям:

- при перегреве – к обильному потоотделению, учащению пульса и дыхания, резкой слабости, головокружению, появлению судорог, а в тяжелых случаях – возникновению теплового удара;

- при переохлаждении возникают простудные заболевания, хронические воспаления суставов, мышц и др.

Работающие на открытой территории в зимний период года должны быть обеспечены СИЗ, а именно специальной теплой одеждой, обувью, средствами защиты рук, средствами защиты головы, лица и глаз. Работа должна быть организована таким образом, чтобы рабочие имели возможность периодически находиться в теплом помещении.

Работающие на открытой территории в летний период года должны иметь свободный доступ к устройствам питьевого водоснабжения [27].

2 Недостаточная освещенность на рабочем месте

Для освещения зданий используются искусственные и естественные источники света.

Рациональное производственное освещение имеет большое значение для создания благоприятных условий труда на предприятиях. Неудовлетворительное освещение затрудняет работу, снижает производительность труда, приводит к заболеваниям органов зрения и несчастным случаям. Световое излучение оказывает воздействие на органы зрения и весь организм, изменяя частоту пульса, нарушая процессы обмена и нервно-психическое состояние [28].

Для производственных площадок и участков работ необходимо предусматривать общее равномерное освещение. При этом освещенность должна быть не менее 2 лк независимо от применяемых источников света, за исключением автодорог. При подъеме или перемещении грузов должна быть

									Лист
									90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность				

освещенность места работ не менее 5 лк при работе вручную и не менее 10 лк при работе с помощью машин и механизмов.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Параметры	Единицы измерения	Значение
Высота рабочей поверхности $h_{рп}$	м	0,8
Требуемая норма освещенности	лк	300
Коэффициент отражения стен R_c	%	50
Коэффициент отражения пола $R_{п}$	%	50
Расстояние светильников от перекрытия h_c	м	0,5
Коэффициент запаса k , учитывающий запыление светильников и износ источника света в процессе эксплуатации		1,5
поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения		0,9
Светильник типа ОД, интегральный критерий оптимальности расположения светильников $\lambda = 1,15$		

Определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{рп}$$

где $h_{рп}$ – высота рабочей поверхности над полом, м;

h_c – расстояние светильников от перекрытия, м

$$h = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Рассчитаем расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2,2 = 3,3 \text{ м}$$

где λ – интегральный критерий оптимальности расположения светильников

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L_{св} = \frac{L}{3} = \frac{3,3}{3} = 1,1 \text{ м}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{ряд} = \frac{\left(B - \frac{2}{3} \cdot L\right)}{L} + 1 = \frac{\left(3 - \frac{2}{3} \cdot 1,1\right)}{1,1} + 1 = 3 \text{ ряда}$$

$$n_{св} = \frac{\left(A - \frac{2}{3} \cdot L\right)}{L_{св} + 0,5} = n_{ряд} = \frac{\left(6 - \frac{2}{3} \cdot 1,1\right)}{1,1 + 0,5} = 4 \text{ шт}$$

					Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

Необходимо найти общее количество светильников с люминесцентными лампами в помещении определяется по формуле:

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 3 \cdot 4 = 12 \text{ шт}$$

где N – общее количество светильников;

$n_{\text{ряд}}$ – количество рядов;

$n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду.

Вычисляем индекс помещения и по справочным таблицам находим коэффициент использования светового потока для выбранного типа светильника [29]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 3}{2.2 \cdot (6 + 3)} = 0.9$$

где A и B – длина и ширина помещения, м

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

Для заданных условий коэффициенты отражения стен $R_c = 30 \%$, потолка $R_n = 50 \%$. Находим коэффициент использования светового потока $\eta_{\text{и}} = 0,6$.

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta}$$

где $E_{\text{н}} = 200$ лк – нормируемая освещенность, установили исходя из заданных данных по СНиП 23.05.95;

S – площадь помещения, м²;

k – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источника света в процессе эксплуатации;

Z – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения;

$N_{\text{л}}$ – количество светильников, лм;

η – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi = \frac{200 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 0,9}{16 \cdot 0,6} = 675 \text{ лм}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность				92

По таблице И.1 СНиП 23.05.95 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД – 15 со световым потоком 700 лм и мощностью 15 Вт.

Размещаем светильники в 4 ряда. В каждом ряду можно установить 2 светильника типа ШОД – 2-30 мощностью 15 Вт с длиной 0.9 м, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 26). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 96$.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{700 - 675}{700} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 3,6\% \leq +20\%$$

Из данного условия видно, что освещения достаточно, так как условия выполняются.

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = p \cdot N = 15 \cdot 12 = 180 \text{ Вт}$$

где p – мощность лампы, Вт;

N – число светильников, шт.

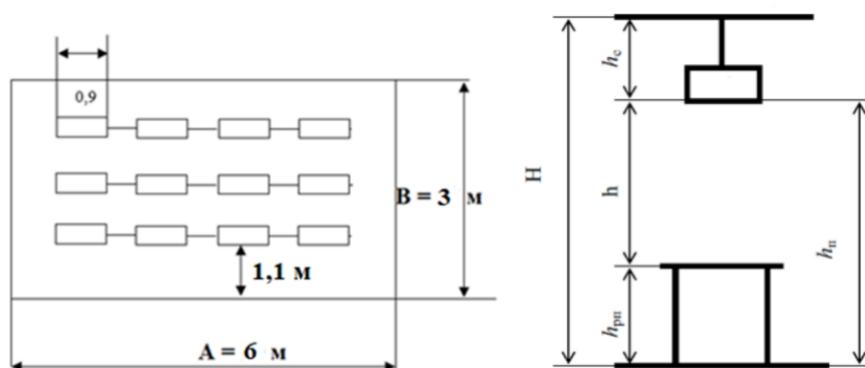


Рисунок 26 – Схема освещения рабочей зоны

3 Загазованность воздуха рабочей зоны

Загазованность на территории КС газодобывающего предприятия способствует появлению взрывоопасных смесей при достижении высокой концентрации.

Природный газ не имеет цвета, запаха, вкуса легче воздуха имеет различную токсичность в зависимости от примесей.

Природный газ является по классу опасности: малоопасные вещества со значением предела допустимой концентрации 300 мг/м³. Предел концентрации для воспламенения составляет 10-15% объема воздушной среды. Температура вспышки составляет 645 0С. Энергия необходимая для воспламенения составляет 0,15 мДж [30].

Газовый конденсат в газопроводах нестабилен. Упругость паров газоконденсата при определенной температуре напрямую зависит от давления в газопроводе. При выходе газоконденсата в первую очередь выходят вещества легких углеводородов, то есть происходит его стабилизация.

Пары газоконденсата содержащие непредельные углеводороды, относят к четвертому классу опасности для человека, это класс малоопасных веществ.

4. Повышенный уровень шума и вибрации

Повышенный уровень шума может исходить от технологического оборудования – газотурбинных установок, электродвигателей, спец техники. Исследования показывают, что повышенный уровень шума отрицательно сказывается на условия труда, а также оказывает вредное воздействие на организм человека. Повышается утомляемость, а также влечет необратимые изменения в органах слуха. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха, нарушает координацию движений, а также негативно сказывается на сердечно-сосудистую и нервную систему [31].

Вибрация в процессе работы КС возникает при спускоподъемных операциях от работающих электродвигателей, компрессоров, турбин, лебедок. Под действием вибрации у человека возникает вибрационная болезнь.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность				94

При всех видах вибрационной болезни нередко наблюдаются изменения со стороны центральной нервной системы. У рабочих виброопасных профессий с большим стажем возникают невриты слуховых нервов и даже понижение слуха [32].

8.2.2 Анализ опасных производственных факторов

При проектировании строительных работ на газовом месторождении инженеры подвергаются следующим опасным производственным факторам:

1. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Все движущиеся машины и механизмы на производстве нефтегазовой промышленности, могут стать причиной различного рода телесных повреждений работника отрасли. Так как машины, оборудования представляют собой достаточно небезопасные устройства, в которых участвуют различные подвижные элементы, можно предположить, что повреждения, которые влекут за собой, могут быть достаточно серьезными для человека. При автоматизированном производстве, т.е. без участия человека, возникает риск неожиданных движений оборудования без ведома работника.

Ситуации, связанные с такими несчастными случаями, влекут за собой летальные исходы(смерть), серьезные телесные повреждения (переломы, ушибы), а также материальные убытки (поломка устройства, механизмов, приборов).

Меры по предупреждению таких ситуаций выполняются в виде [24]:

- установок ограждений на периметре работающих установок, оборудования;
- использование работниками средств индивидуальной защиты;
- использование оборудования, находящихся в списке реестра используемых устройств организации.

Также необходимо соблюдать технику безопасности при работе оборудования, машин и механизмов, а их эксплуатацию должны выполнять только лица, имеющие на это право.

										Лист
										95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность					

2. Электрический ток

ГЩУ по степени опасности поражения персонала электрическим током относится по ГОСТ 12.1.019-79 [25] к помещениям с повышенной опасностью:

- повышенная влажность (более 75 %) или высокая температура (выше 35 °С);
- возможность одновременного соприкосновения человека с имеющими соединение с землей металлоконструкциями здания, механизмами с одной стороны и металлическим корпусом оборудования с другой стороны;
- токопроводящие полы.

Для питания производственного оборудования ГЩУ применяется напряжение 220 В. Потребителями электроэнергии на ГЩУ являются:

- компьютер;
- пульт управления;
- шкафы управления.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током, от действия электрической дуги и т. п. все электроустановки должны быть снабжены средствами защиты, а также средствами оказания первой помощи в соответствии с Правилами применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках.

Защитное заземление или зануление, в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81, должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

В соответствии с правилами устройства электроустановок выполнена защита электрооборудования, электропроводки (в том числе заземления) от механических воздействий, проникновения растворителей. При этом все ограждающие и закрывающие устройства обладают в соответствии с местными условиями достаточной механической прочностью. Устройства, предназначенные для защиты проводов и кабелей от механических повреждений, по возможности должны быть введены в машины, аппараты и приборы.

									Лист
									96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность				

Источниками энергии на КС являются:

- высоковольтные подстанции энергетических систем, расположенных в районе КС;
- малые электростанции собственных нужд, приводом электрогенератора на которых является один из ГПА или специальная энергетическая ГТУ;
- аварийные аккумуляторы, используемые в случае аварии.

Исключение возникновения опасных ситуаций при полном или частичном прекращении энергоснабжения достигается аварийных дизельных генераторов или передвижных автоматических электростанций. Станционная автоматика, осуществляет автоматическое переключать источники электроснабжения [25].

3. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При несоблюдении правил безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации оборудование, работающее под высоким давлением, обладает повышенной опасностью.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала.

Основным требованием к конструкции оборудования работающего под высоким давлением является надежность обеспечения безопасности при эксплуатации и возможности осмотра и ремонта. Специальные требования предъявляются к сварным швам. Они должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации, располагаться вне опор сосудов. Сварные швы делаются только стыковыми [26].

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность				97

Ответственность за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосудов должна быть возложена на специалиста, которому подчинен персонал, обслуживающий сосуды (начальник компрессорной, начальник участка, старший мастер участка и т. д.).

4. Пожароопасность

Пожарная опасность обусловлена высокой горючестью газов и турбинного масла, наличием большого количества потенциальных источников загорания.

Ответственность за соблюдение пожарной безопасности в организации, за своевременное выполнение противопожарных мероприятий и исправное содержание средств пожаротушения несет начальник КС по производственной безопасности и его заместитель по хозяйственной части.

8.3 Экологическая безопасность

Для организации охраны окружающей среды от негативного воздействия при проектировании и эксплуатации КС первоочередной задачей является определение конкретных источников негативного воздействия на основной элемент окружающей природной среды рассматриваемой территории – на земельные и лесные ресурсы.

В таблице 33 представлены источники негативного воздействия и природоохранные мероприятия.

Таблица 33 – Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия при геологоразведочных работах

природные ресурсы и компоненты ОС (+нормы ПДК)	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
<p><u>Атмосфера</u></p> <p>ПДК диоксида азота – 0,04 мг/м³</p> <p>ПДК пыли – 0,15 мг/м³</p> <p>ПДК диоксида серы – 0,04 мг/м³</p> <p>ПДК оксида углерода – 3 мг/м³</p>	<p>выбросы природного газа, сжигание отходов производства выбросы пыли и токсичных газов из используемых машин и оборудования;</p> <p>выбросы выхлопных газов ГТУ, а также от стационарных источников, такие как дизельная электростанция, склад ГСМ.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • оснащение системой контроля загазованности • соблюдать оптимальный режим горения в камере сгорания, а также контролировать скорость прохождения через зону горения • поддержание всего транспортного парка в исправном состоянии, осуществление постоянного контроля на соответствие с требованиями нормативов уровня выбросов в атмосферу оксидов азота и окиси углерода в составе выхлопных газов [13]

- контролировать правильность действий персонала, проверять уровень знаний и повышать квалификацию персонала.

Для ликвидации пожаров на территории КС имеется пожарная часть.

На каждом производственном участке, на видном месте вывешена табличка с указанием фамилии, имени, отчества и должности лица, ответственного за пожарную безопасность.

Производственная территория и помещения не должны загрязняться легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, а также мусором и отходами производства.

При всех возникших ЧС персонал, не участвующий в ликвидации последствий должен эвакуироваться согласно утвержденному плану. Эвакуация людей в соответствии с планом эвакуации при чрезвычайных ситуациях происходит согласно [33] через ближайший безопасный, с точки зрения места возникновения пожара, лестничный пролет на улицу. Кроме того, для снижения последствий той или иной аварии должно быть организовано систематическое обучение персонала КС действиям во время чрезвычайных ситуаций.

Выводы по разделу

При выполнении работ по обслуживанию и ремонту газоперекачивающего оборудования, вопрос социальной ответственности играет важную и актуальную роль. В этом контексте рассматриваются ключевые аспекты, такие как обеспечение безопасности и защита здоровья работников в процессе трудовой деятельности, а также сохранение окружающей среды от негативных воздействий.

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности, а также производственной и экологической безопасности. Были выделены вредные и опасные производственные факторы и обоснованы мероприятия по их устранению.

						Социальная ответственность	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			100

Изучив нормативную документацию, выявил, что главной из возможных ЧС являются пожары. Для обеспечения пожаробезопасности работники должны быть оснащены спецодеждой, обувью и другими средствами индивидуальной защиты.

									Лист
									101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Социальная ответственность				

Список используемых источников

1. Тюрин, Михаил Александрович. Разработка расчетной модели колебаний фундаментов газоперекачивающих агрегатов магистральных газопроводов в условиях грунтов Ямала и Восточной Сибири: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.19 / Тюрин Михаил Александрович; [Место защиты: Газпром ВНИИГАЗ]. - Москва, 2018. - 24 с.
2. Комаров Е.М., Кокуева Ж.М. Повышение эффективности газоперекачивающих агрегатов: проблемы и решения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2019. №5 (128). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-gazoperekachivayuschih-agregatov-problemy-i-resheniya> (дата обращения: 23.05.2023).
3. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2003 № 1234-р.
4. Васильев Б.Ю. Исследование эффективности современных электроприводных газоперекачивающих агрегатов. Нефтегазовое дело, 2012, № 4, с. 104–110.
5. СТО Газпром 2-2.1-435-2010. Проектирование оснований, фундаментов, инженерной защиты и мониторинга объектов ОАО «Газпром» в условиях крайнего севера; введ. 9.03.2010. – М.: 2010. – 224 с.
6. Вараксин А.Ю., ред. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.
7. Дяченко А.И. Эффективность использования различных типов энергопривода на компрессорных станциях. Дис. ... канд. техн. наук. М., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004.

					Разработка и контроль мероприятий, направленных на повышение качества монтажа газоперекачивающего агрегата на компрессорной станции		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Бек В.Г.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Брусник О.В.				103	120
Рук-ль ООП		Шадрина А.В.			НИ ТПУ гр. 2БМ12		
					Список используемых источников		

20. Временные требования к организации сварочно-монтажных работ, применяемым технологиям сварки, неразрушающему контролю качества сварных соединений и оснащенности подрядных организаций при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте магистральных газопроводов ОАО «Газпром».
21. СТО Газпром 2-3.5-138-2007 Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам.
22. Газотранспортные системы: настоящее и будущее. Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции GTS-2015 (28–29 октября 2015 г.). – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – 174 с. 2. Гостева А.В., Глебова Е.В., Черноплеков А.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводах на основе результатов анализа риска // Нефть, газ и бизнес. – 2009. – № 9. – С. 68–70.
23. Аристов М. Воздействие геологических и других природных процессов на магистральные газопроводы. Результаты исследований с применением мультиспектральных аэрокосмических съемок // Электронный научный журнал «Геопрофиль». – 2008, ноябрь–декабрь. – №3. – С.44–50.
URL: <http://internetgeo.ru/uploads/journals/geoprofile0308/pipeline.pdf>
(дата обращения: 04.02.2023).
24. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: дата введения 2017 – 03 – 01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> (дата обращения: 16.05.2023).
25. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/70055/> (дата обращения: 16.05.2023).

										Лист
										105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список используемых источников					

- 26.ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/574> (дата обращения: 16.05.2023).
- 27.ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/1583> (дата обращения: 16.05.2023).
- 28.ГОСТ 12.1.046-85 Система стандартов безопасности труда. Строительство. Нормы освещения строительных площадок. дата введения 1986-01-01. URL: <https://www.dokipedia.ru/document/1723450> (дата обращения: 16.05.2023).
- 29.СП 52.3330.2016. Естественное и искусственное освещение (актуальная редакция СНиП 23.05.95*). Дата введения 2017-05-08. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 16.05.2023).
- 30.М.В. Николаева, Р.А. Атласов, М.Д. Филиппова. Анализ причин аварийных ситуаций газопроводов, проложенных в многолетнемерзлых грунтах// Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле». – 2017 - №4(08). – С. 47 – 53.
- 31.ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности: дата введения 2015 – 11 - 01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 16.05.2023).
- 32.ГОСТ 31192.1-2004. Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/44137/> (дата обращения: 16.05.2023).
- 33.СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (взамен СНиП 2.01.02-85*). URL <https://kmdrus.ru/uploads/32.21-01-97.pdf>

										Лист
										106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Список используемых источников					

1 Modelling of surge phenomena in a centrifugal compressor: experimental analysis for control

The first article [1] related to the topic of my qualification paper I examined is devoted to modelling of surge phenomena in a centrifugal compressor: experimental analysis for controlling. The reviewed article discusses the surge phenomenon in industrial compressors, focusing on a centrifugal compressor in a gas compression system. This occurrence leads to pulsations that pose a risk to the mechanical integrity of the compressor, potentially causing axial thrust reversal and compressor vibration. Such phenomenon arises in regions associated with low flow rates during suction. This instability significantly reduces compressor performance and gives rise to vibration phenomena, which can lead to premature fatigue and potential blade failure in the compressor. The authors aim to understand the mechanisms involved in the surge phenomenon and present a model for surge prediction and control. The article also includes experimental validation of the proposed surge model.

Overall, the article provides a comprehensive overview of the surge phenomenon and its impact on compressor performance. Numerous studies (Cunha, de Souza, Barreto, & de Souza, 2009; Galindo, Arnau, Tiseira, & Piqueras, 2010; Hafaifa, Guemana, & Daoudi, 2013a; Halimi, Hafaifa, Bouali, & Guemana, 2014; Utamura, Fukuda, & Aritomi, 2012) have attempted to assess the risk and operational implications of surge using empirical or analytical models to varying degrees. However, the underlying mechanisms responsible for this instability and its nature have not been thoroughly identified. Investigating these phenomena is challenging due to the destructive nature of the instabilities involved.

The objective of research is to gain a deeper understanding of the mechanisms occurring in a centrifugal compressor during unstable conditions. To achieve this, a surge model is utilized to identify precursor phenomena instabilities. In addition to the numerical analysis, study places emphasis on experimental investigation of the surge phenomenon. By comparing the simulation results with the experimental data obtained from the examined compression system, valuable insights can be derived.

					Приложение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

However, the introduction could benefit from providing more context on previous research and the current state of knowledge in the field.

The description of the gas compression system and the centrifugal compressor studied is clear and adequately supports the subsequent discussion. Including a figure of the compressor and the overall industrial plant helps readers visualize the system under consideration.

Thus, the centrifugal compressor SC3 of the DJELFA station of Sonatrach, Algeria, manufactured with a SOLAR turbine, was investigated in this paper; an industrial plant using this compressor is shown in Figure 1 [1]. Each compressor stage consists of a coverless impeller with main vanes and spacer vanes lying behind, followed by a radial diffuser with an axial diffuser for both vanes. The crossed vanes are located in the inter-bladed centre of the duct.



Figure 1 – Centrifugal compressor SOLAR C45 of the SC3 station Sonatrach, Algeria [1]

The control room and computer equipment at the SC3 Sonatrach station have facilitated the recording of input and output measurements of the analyzed compression system. This data has been utilized in real-time to develop a model of the system through the on-site data station implementation.

The assessment of a compressor's performance is typically conducted across multiple operating points, as indicated by the characteristics shown in Figure 2 [1]. Within this domain of compressor operation, the compression ratio is determined by

the corrected speed constant and corrected rotational speed, which are commonly used to overlay the performance contours.

The lower flow limit is defined by the occurrence of surge, which is characterized by flow instability, including possible flow reversal, along with significant pressure oscillations that can potentially cause damage to the equipment. On the other hand, at high speeds, the limit is reached when a sonic section of the compressor stage emerges, resulting in blockage.

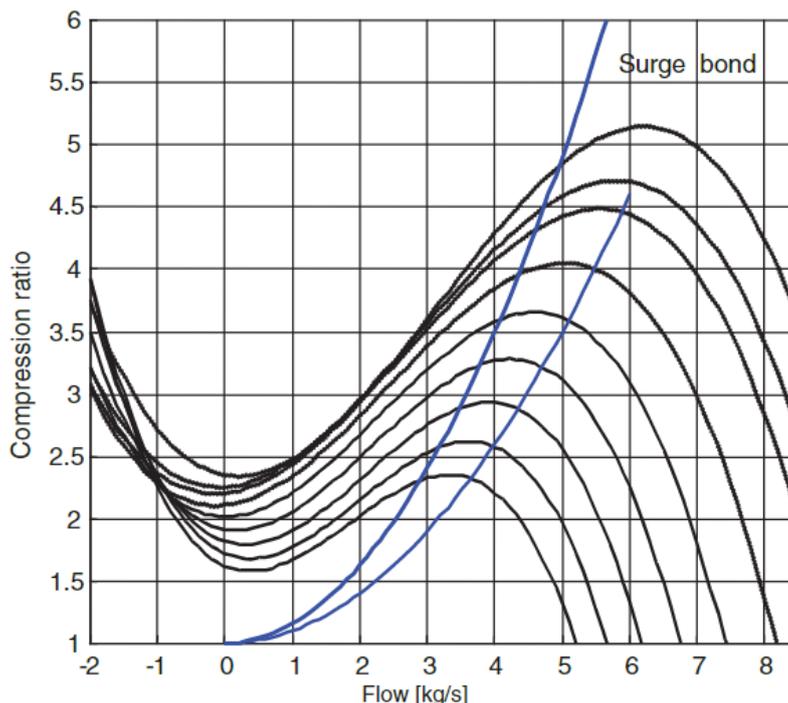


Figure 2 – Centrifugal compressor performances of operating field [1]

The authors pointed out that the range of the compressor decreases as the compression ratio increases.

The area over which this phenomenon occurs is clearly defined in the characteristic diagram shown in Figure 2 [1]; the operation of the machine must remain below a “surge bond” specified by the manufacturer. However, the machines are equipped with anti-surge devices to provide for possible entries into this area at the time of regime change. A sudden increase in the downstream flow of the machine allows out of this particular regime. The surge is a single axial dimensional instability that affects the compression system as a whole. Figure 3 [1] shows the onset of the surge phenomenon; if the flow decreases, the losses tend to increase in

the compressor. When the operating point crosses the surge line, the machine can no longer provide sufficient power to counteract the adverse pressure gradients, and a low-frequency pressure wave that moves from the downstream to the upstream affects the flow. The frequency of the pressure wave generally varies between 2 and 50 Hz for compressors.

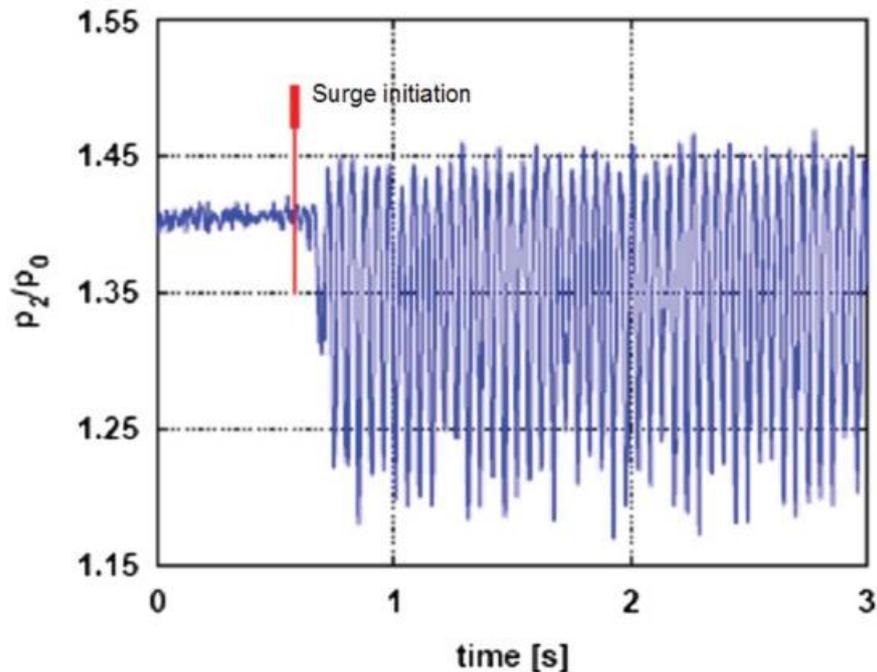


Figure 3 – Appearance of surge phenomenon [1]

Large fluctuations of the mean flow can be observed when the machine is operating in such a regime, and these fluctuations can sometimes result in a total reversal of the flow. This phenomenon is very dangerous to the compressor due to the extreme fatigue of the supporting blades. Often the only solution to escape a system surge is to dramatically increase the flow in the machine (or restart when possible). In the literature, three types of surge have been described depending on the characteristics of the compression system: the conventional surge, the deep surge and the modified surge.

Figure 4 [1] shows the experimental results obtained using the proposed injection model developed in this paper for the different parameters involved in real time compression system. In order to isolate and analyse the pumping phenomenon, the author of paper carried out specific tests using actual data from compression

system. These tests were aimed at creating real-time sensor faults by changing the parameters of their conversion into electrical signals.

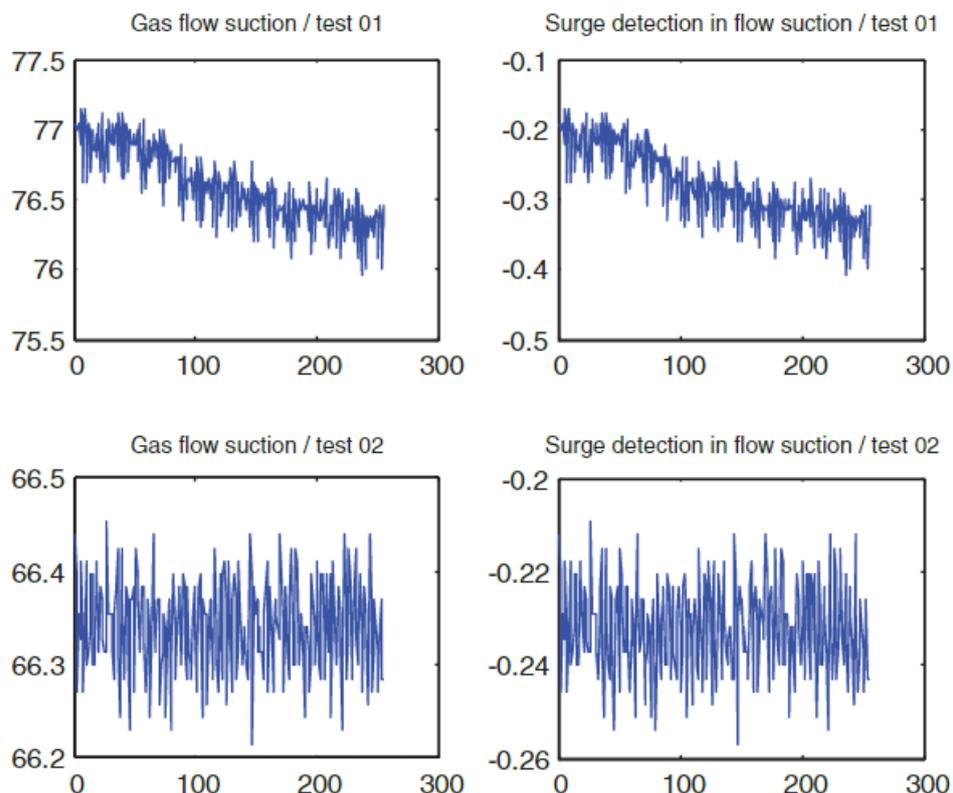


Figure 4 – Surge model validation of suction flow system [1]

The experimental outcomes are deemed satisfactory and strongly support the suitability of the proposed surge model in industrial settings, particularly for addressing intricate issues related to controlling and monitoring complex industrial processes. Consequently, prior to implementing control measures, it is essential to conduct a series of tests to accurately generate the residuals. These tests rely on the surge phenomenon model developed for exploited variables. The significant advantage of the current model is its remarkable flexibility, enabling comprehensive examination and analysis of aerodynamic instabilities. As a result, it becomes feasible to separately analyze the surge phenomenon and rotating stall or assess the behavior of the system independently.

2 Extensive study on the control of centrifugal compressor surge

The article [2] provides an overview of surge instability in turbo-compressors and discusses the use of active and passive control devices as effective approaches to suppress surge. The authors reference several key contributions in the field and highlight experimental demonstrations and theoretical studies on surge stabilization. The review encompasses various control strategies, including nonlinear models, Lyapunov approach, backstepping, and feedback linearization.

The authors introduce the concept of surge unsteady energy (E) as an index of surge intensity, which facilitates the quantitative characterization of surge instability across the compressor's operating range. This index also measures the effectiveness of control strategies in cases where surge is not completely eliminated but reduced.

The article [2] presents extensive experimental evaluations of a passive control device, considering adjustable parameters and system behavior during transient operations. The study demonstrates the passive device's ability to recover stability when surge is fully developed, also known as stabilization 'in the large.'

Additionally, a numerical analysis investigates the impact of maximum throttle flow area on the effectiveness of an active control device. The study reveals that under area limitations, increasing the gain leads to a bang-bang control strategy, which exhibits optimality.

Finally, the paper provides a comparative analysis of passive and active control devices, highlighting their respective advantages in terms of installation, operating features, effectiveness, and costs.

Overall, the article covers a comprehensive range of research activities related to surge suppression techniques, incorporating simulations and measurements to enhance the understanding of controlled system behavior. The inclusion of experimental and numerical studies, as well as the introduction of surge unsteady energy as an index, adds value to the field's existing knowledge.

					Приложение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

However, it would be beneficial if the author could further discuss the limitations or challenges associated with the proposed control strategies and provide suggestions for future research directions.

The work considers a compression system based on a low-pressure centrifugal compressor having four identical stages with impellers of 465 mm outer diameter and vaned diffusers. Experiments were carried out on the test plant shown in Figure 5 [2] by using two plenum volumes, namely, 3.133 and 0.780 m³. The characteristic curves of the compressor show abrupt stall at all the compressor speeds in the range 2000 –4000 r/min.

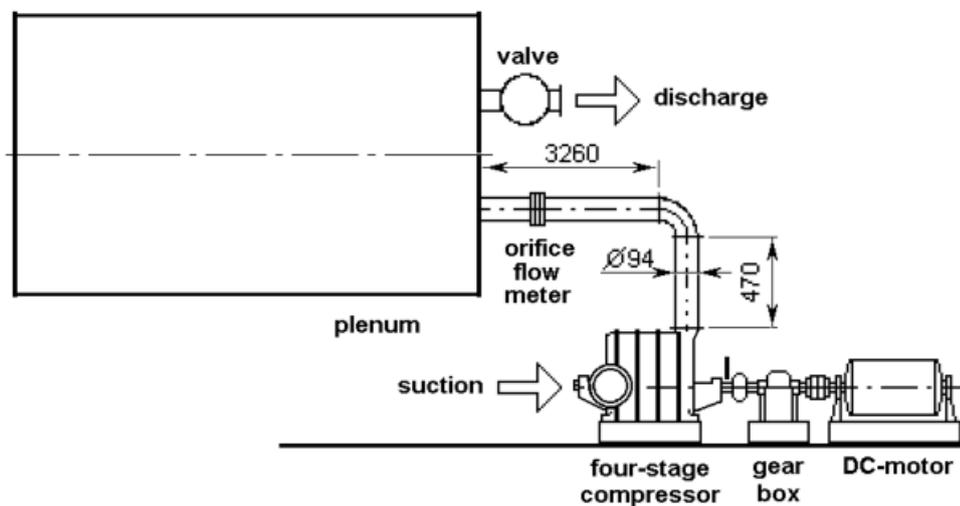


Figure 5 – The compression plant [2]

Figure 6 depicts the standard response of the compression system during a severe surge state. On the left side, the diagram illustrates the recorded system trajectories in the w-c plane, accompanied by the compressor and throttle characteristic curves. On the right side, the time graphs exhibit the variations in flowrate and pressure. The surge cycle corresponds to the oscillations in pressure within the plenum, while the compressor cycle represents the delivery pressure fluctuations caused by the delay in the compressor response compared to its steady-state characteristic.

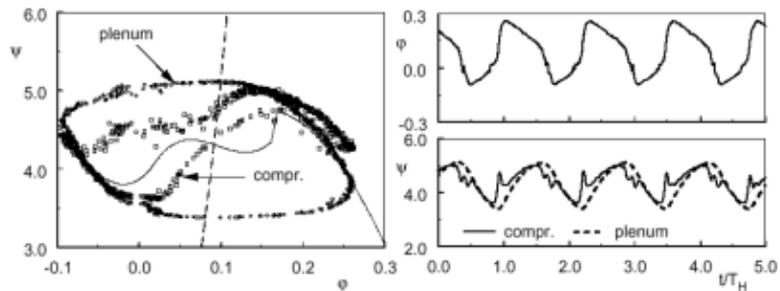


Figure 6 – Measured surge cycle and time histories of w and c at the compressor speed of 3500 r/min and for $w_{ss} \frac{1}{4} 0:09$ ($V_p \frac{1}{4} 0:78 \text{ m}^3$) [2]

Although K_p is finite due to the filters, the adaptive scheme is very useful. Figure 7 [2] shows the effects of different output filtering during training sessions performed at $B \frac{1}{4} 0:45$. Dominant factors in surge suppression are the maximum actuation speed of the control valve and the maximum throttle flow area.

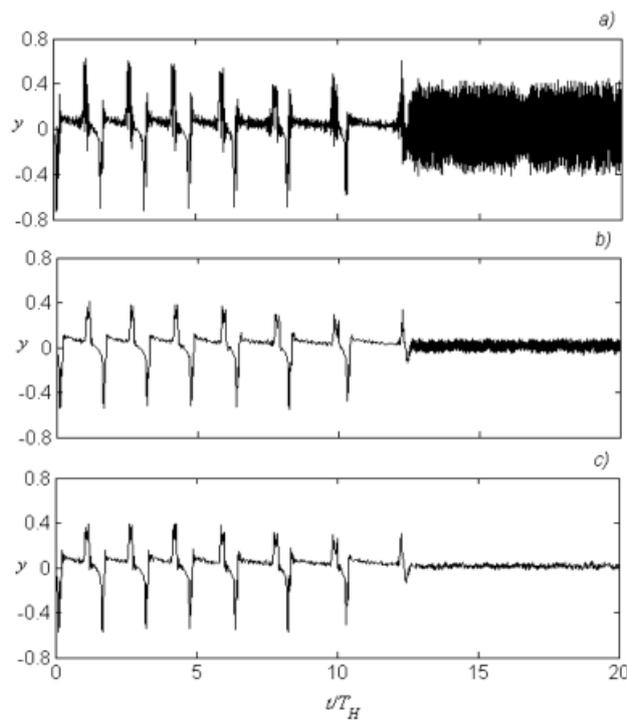


Figure 7 – Measured time traces of the system output during the adaptive control at the compressor speed of 3000 r/min, $w_{ss} \frac{1}{4} 0:089$ and $a \frac{1}{4} 0$: (a) without digital filters; (b) with a Butterworth filter; (c) with both Butterworth and notch filters [2]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

The author have shown that both passive and active controls can be used to stabilize compression systems. However, they demonstrate various implementation issues that need to be carefully considered.

					Приложение	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Simulation and Control of Surge Phenomenon in Centrifugal Compressors

The article provides an overview of centrifugal compressors and their wide range of applications in various industries. It discusses the different types of compressors and highlights the instabilities that compression systems, such as gas turbines, may encounter, including surge and rotating stall. Surge is described as an unwanted flow oscillation that can cause damage to the compressor.

Traditionally, surge avoidance techniques were employed to prevent surge by keeping the compressor operating point away from the stability limit. However, these techniques are associated with low efficiency and decreased stable operating range. The article suggests that active surge control methods, which utilize control laws and actuators based on measurements of parameters like flow and pressure, are more beneficial than surge avoidance.

The article mentions several active control techniques that have been used to address surge, such as Lyapunov-based controllers, adaptive control, backstepping, bifurcation control, H_∞ control, second-order sliding mode control, variable structure control, fuzzy logic control, and predictive control based on Least-Squared Support Vector Machine. Actuators used for surge control include closed coupled valve, tip clearance, bleed valves, inlet guide vanes, recirculation, air injection, and throttle control valve.

The paper focuses on the application of nonlinear active control for surge control in constant speed centrifugal compressors using the Moore-Greitzer model and the Lyapunov control law. It highlights the simplicity of using one controller instead of two controllers (CCV and TCV) and compares the efficiency and performance of the compressor with two different controllers. The results indicate that the first controller exhibits better efficiency.

					Приложение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

The structure of the paper is organized logically, with sections dedicated to introducing the system model and mathematical equations, formulating and presenting simulation results for the first controller, introducing the model and problem formulation for the second controller.

The authors of the article refer to the famous nonlinear compressor model proposed by Moore. This model is shown in Figure 8 [3].

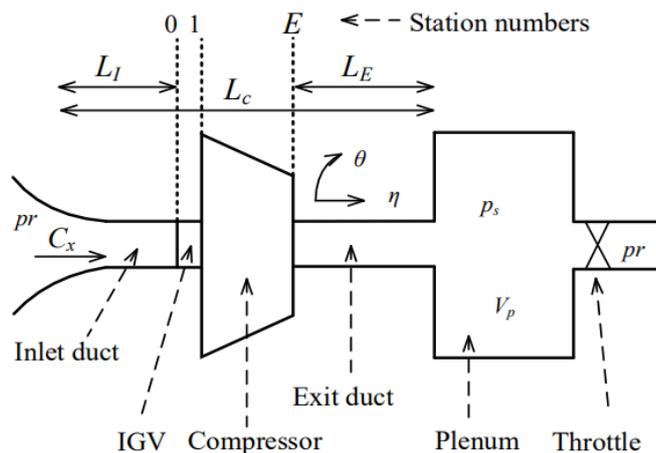


Figure 8 – Compression system, Figure taken from Moore and Greitzer [3]

The authors suggest using the pressure drop on the valve as a control variable u for the operation of the compressor, blocking the discharge line without any fluctuations.

In accordance with the values obtained in the work, the authors applied the controller to the Moore-Greitzer model. They assumed that $C1=0.6$, so they expect the system to be stable. The simulation results are shown in Figure 9.

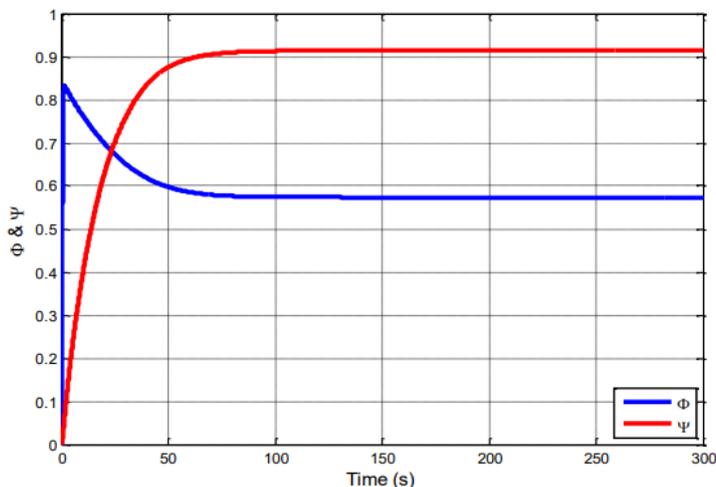


Figure 9 – Compressor mass flow and pressure coefficient when $C_1=0.6$ and always applying controller

In the study under consideration, a centrifugal compression system which is equipped with CCV has been investigated. The primary objective is surge suppression, for which two controllers based on the Lyapunov control law have been developed. Through simulations, it has been demonstrated that both controllers effectively stabilize the surge phenomenon by utilizing the CCV, with the added advantage of employing only one controller instead of the traditional approach of using two controllers. The simulation results align with previous research findings, highlighting the simplicity in design and setup of a single controller and the improved efficiency and performance of the compressor. Comparison of the two controllers reveals that the first controller outperforms the second controller, exhibiting higher efficiency and better overall performance. Although the second controller exhibits a higher pressure coefficient, it results in a decrease in mass flow coefficient, ultimately leading to lower efficiency compared to the first controller. To further enhance controller performance, alternative methods such as incorporating artificial neural networks into the controller will be explored in future investigations.

Overall, the article provides a comprehensive overview of surge control in centrifugal compressors and discusses various active control techniques and actuators used for surge suppression. The comparison of two different controllers adds value to the research. The simulation results demonstrate that both controllers effectively stabilize and control the surge phenomenon using the CCV and a single controller. These findings align with previous research outcomes. However, the significant advantages of these results lie in the simplicity of designing and implementing a single controller, as opposed to the traditional approach of using two controllers, and the positive impact on the efficiency and performance of the compressor.

					Приложение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		119

List of references

1. Hafaifa A., Rachid B., Mouloud G. Modelling of surge phenomena in a centrifugal compressor: experimental analysis for control //Systems Science & Control Engineering: An Open Access Journal. – 2014. – Vol. 2. – No. 1. – P. 632-641. [Electronic resource]. Access mode: 10.1080/21642583.2014.956269 (access date: 12.01.2023).

2. Arnulfi G. L. et al. Extensive study on the control of centrifugal compressor surge //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. – 2006. – Vol. 220. – No. 3. – P. 289-304. [Electronic resource]. Access mode: <https://doi.org/10.1243/09576509JPE141> (access date: 16.05.2023).

3. Shafieian M., Zavar M., Rahmanian M. Simulation and Control of Surge Phenomenon in Centrifugal Compressors //Traitement du Signal. – 2019. – Vol. 36. – No. 3. – P. 259-264.

					Приложение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		120