

**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



Инженерная школа природных ресурсов
Отделение нефтегазового дела
Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело/ ООП «Машины и оборудование
нефтяных и газовых промыслов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Модернизация проточной части центробежного компрессора с целью повышения производительности

УДК 621.515-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Еражонович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Никульчиков Андрей Викторович	к.ф.м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.м.н		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области
ОПК-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства
ОПК-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях
ОПК-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации.
ПК(У) -2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль и техническое сопровождение.
ПК(У)-3	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли.
ПК(У)-4	Знание современных САД-САЕ-систем, их функциональные возможности для проектирования геометрических моделей изделий высокой сложности.
ПК(У)-5	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.

Код компетенции	Наименование компетенции
ПК(У)-6	Способность к разработке учебно-методических материалов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования
ПК(У)-7	Способность реализовывать программы профессионального обучения: планировать и проводить учебные занятия, оценивать достижение планируемых результатов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования

**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



Инженерная школа природных ресурсов
Отделение нефтегазового дела
Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело/ ООП «Машины и оборудование
нефтяных и газовых промыслов»

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Манабаев К.К.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Ежанович

Тема работы:

Модернизация проточной части центробежного компрессора с целью повышения производительности	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.02.2023 г. № 41-56/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Сменная проточная часть центробежного компрессора НЦ-6ДКС расчет производительности и повышение эффективности, массовый расход газа и степень повышения напора газа</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение: актуальность повышения эффективности центробежных компрессоров.</p> <p>1. Принцип работы компрессорной установки.</p> <p>2. Аналитический обзор: система работы сменной проточной части.</p> <p>3. Объекты и методы исследования, постановка задачи исследования.</p> <p>4. Экспериментальная часть: построение модели расчет эффективности модели и ее оптимизация.</p> <p>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</p> <p>6. Социальная ответственность.</p> <p>Заключение. Список использованной литературы</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	нет
--	-----

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Профессор Шарф Ирина Валерьевна д.э.н., доцент
«Социальная ответственность»	к.т.н., доцент ООД Сечин А.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

2.3 Центробежный компрессор НЦ-6ДКС
2.4 Информация о смену проточной части (СПЧ) компрессора
2.5 Детали газодинамических узлов статора

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Никульчиков Андрей Викторович	к.ф.м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Ержанович		

**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



Инженерная школа природных ресурсов
Отделение нефтегазового дела
Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело/ ООП «Машины и оборудование
нефтяных и газовых промыслов»

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 20... /20... учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.03.2023	Введение	10
05.04.2023	Повышения эффективности центробежных компрессоров. Принцип работы компрессорной установки	10
05.04.2023	Аналитический обзор: система работы сменной проточной части	20
15.05.2023	Экспериментальная часть: построение модели расчет эффективности модели и ее оптимизация.	30
20.05.2023	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность»	20
19.06.2023	Выводы	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Никульчиков Андрей Викторович	к.ф.м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.м.н.		

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Ержанович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов

Тема ВКР:

Модернизация проточной части центробежного компрессора с целью повышения производительности	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
– Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение мероприятий по модернизации сменной проточной части центробежного компрессора
– Нормы и нормативы расходования ресурсов	Отраслевые регламентирующие документы
– Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	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:	
– Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Обоснование перспективности мероприятий по модернизации сменной проточной части центробежного компрессора
– Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Расчет доходов и затрат на проведение мероприятий по модернизации сменной проточной части центробежного компрессора
– Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности модернизации сменной проточной части центробежного компрессора
Перечень графического материала	
Таблицы:	
– Расчет капиталовложений	
– Расчет эксплуатационных затрат	
– Показатели экономической эффективности	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Ержанович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 2БМ16	ФИО Жумадилов Жазылбек Ержанович		
Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Нефтегазовое дело
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Тема ВКР:

Модернизация проточной части центробежного компрессора.	
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><i>Объект исследования: Привод центробежного компрессора со сменной проточной частью</i></p> <p><i>Область применения: Машинный зал дожимной компрессорной станции</i></p> <p><i>Рабочая зона: (производственное помещение, полевые условия)</i></p> <p><i>Размеры помещения климатическая зона: 3,1*6,1 м</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компрессор, мультипликатор, Газоперекачивающий агрегат.</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: обслуживание основных элементов технологической обвязки объектов компрессорной станции, запуск и остановка газоперекачивающих агрегатов</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 	<p>Законодательные и нормативные документы по теме:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ПБ 08-624-03. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности; 2. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; 3. Конституция РФ.
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/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 факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума в рабочем помещении; – превышение уровня вибрации; – недостаток освещенности; – повышенное содержание вредных веществ в воздухе. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – поражение электрическим током; – опасность механических повреждений. – пожароопасность; – сосуды и аппараты под высоким давлением. <p>Расчет потребного воздухообмена в машинном зале</p>

3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Воздействие на литосферу; загрязнение почвы углеводородными смесями. Воздействие на гидросферу; сброс и выброс нефтепродуктов в сточные воды Воздействие на атмосферу; выброс продуктов сгорания ГПА.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<u>Возможные ЧС</u> Геологические воздействия (землетрясения, обвалы, провалы территории и т.д.) Техногенные аварии (воспламенение масла в компрессорном цехе, попадание посторонних предметов в полость нагнетателя, поступление воспламеняющихся веществ через неплотность арматуры). <u>Наиболее типичная ЧС</u> потеря герметичности трубопроводов.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Ержанович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 97 страниц, 18 таблиц, 56 рисунков, источников, одно приложение на английском языке.

Ключевые слова: центробежный компрессор, сменная проточная часть, компрессорная станция, компрессорная установка, давление, эффективность, производительность.

Объект исследования сменная проточная часть ротор компрессора.

Цель работы- повышение эффективности сменной проточной части компрессора для большей производительности.

В работе представлены расчеты проточной части, массовый расход и значения давления, двух проточных частей.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В работе применялись следующие сокращения и аббревиатуры:

Дожимная компрессорная станции (ДКС) – компрессорная станция служить для компимирования газа в магистральный трубопровод.

Газоперекачивающий агрегат (ГПА) – здание в котором работает компрессор и агрегаты, необходимые для эксплуатации компрессора

Сменная проточная часть (СПЧ) – аэродинамический узел нагнетателя, который состоит из статора и ротора.

Перечь аббревиатур

ДКС- дожимная компрессорная станции

ЦК (ЦН) – центробежный компрессор (нагнетатель)

СПЧ – сменная проточная часть

КПД – коэффициент полезного действия

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	16
2 ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ	20
2.1 Компрессорная установка, принцип работы	20
2.2 Компрессоры	25
2.3 Центробежный компрессор НЦ-6ДКС	25
2.4 Информация о смену проточной части (СПЧ) компрессора	29
2.5 Детали газодинамических узлов статора	30
2.6 Рабочие колеса компрессора	45
3 РАСЧЁТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ ЧАСТЬ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА	48
3.1 Исходные данные	48
3.2 Расчеты в ANSYS CFX	56
3.3 Расчеты в программе в ANSYS CFX	57
3.3 Расчет семи ступенчатого ротора	62
3.5 Результаты расчетов	66
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	67
4.1 Введение	67
4.2 Затраты на оплату труда и отчисления во внебюджетные страховые фонды	67
4.3 Затраты на амортизационные отчисления, материалы, комплектующие и транспортировку	68
4.3 Затраты на проведение мероприятия	70
4.4 Расчет экономического эффекта от увеличения производительности центробежного компрессора	71
4.5 Расчет эксплуатационных затрат и амортизационных отчислений	72
4.6 Амортизация основных средств и налог на имущество организации	72
4.7 Оценка экономической эффективности проекта	73
Вывод по разделу	74
5 Социальная ответственность	75
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75

5.2	Производственная безопасность. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	77
5.3	Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению	79
5.4	Повышенное содержание вредных веществ в воздухе	82
5.5	Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению	82
5.6	Экологическая безопасность.....	85
5.6.1	Защита атмосферы	85
5.6.2	Защита гидросферы	87
5.6.3	Защита литосферы	89
5.7	Меры безопасности в чрезвычайных ситуациях	90
5.8	Расчет потребного воздухообмена в машинном зале.....	92
	Вывод по разделу	94
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	96
	Приложение А	98

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Промысел нефти и газа являющееся неотъемлемой частью российского финансирования. Для развития страны создают множество программ для повышения добычи для потребления как в стране, так и за ее пределы. На негодящий день множество скважин сталкиваются с проблемой уменьшением добываемого сырья и находятся на конечной стадии эксплуатации. На этом этапе можно видеть уменьшение давления в пласт, и это влияет на транспортировку газа из-за малого давления при подаче в трубопровод. Чтобы решить это проблему строятся станции для компримирования газа ДКС в которые входят аппараты по перекачке газа (ГПА). И поэтому возникает вопрос по повышению эффективности и производительности. В этой диссертации мы рассмотрели вопрос об увеличении потока газа и его скорость для более эффективной работы ДКС.

Центробежные компрессоры играют решающую роль в газовой промышленности, обеспечивая надежное и эффективное средство сжатия газов для транспортировки и переработки. Однако по мере увеличения спроса на газ возрастает и потребность в повышении производительности и КПД компрессорных систем. Модернизация проточной части центробежного компрессора предлагает многообещающее решение этой проблемы, поскольку она может значительно повысить производительность компрессора при одновременном снижении энергопотребления и затрат на техническое обслуживание. В этой диссертации мы рассмотрим теоретические и практические аспекты модернизации проточной части центробежного компрессора, проанализируем существующие методы и определим наиболее эффективный подход для повышения производительности в газовой промышленности.

Объектом изучения, я выбрал СПЧ центробежного компрессора

Предметом исследования являются параметры СПЧ

Цель работы- повышение эффективности сменной проточной части компрессора для большей производительности.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Важной задачей для инженеров является месторождения находящиеся на завершающей стадии необходимо обеспечивать высокий уровень добычи углеродного сырья.

Патент, посвящённый конструкции газоперекачивающему агрегату. Патент RU-2-200-255 С1 Важенина Ю.И., газоперекачивающий агрегат дожимной компрессорной станции со стационарным газотурбинным приводом (Рисунок 1).

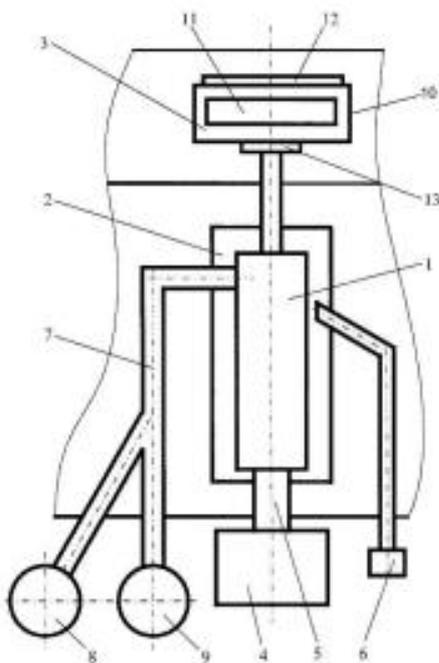


Рисунок 1 – Газоперекачивающий агрегат компрессорной установки из патента RU 2 200 255 С1

В следующем патенте показана газотурбинная установка (ГТУ) работающая на газоперекачивающем агрегате в дожимной компрессорной станции RU 2 708 957 С1 Субботин В.А. (Рисунок 2).

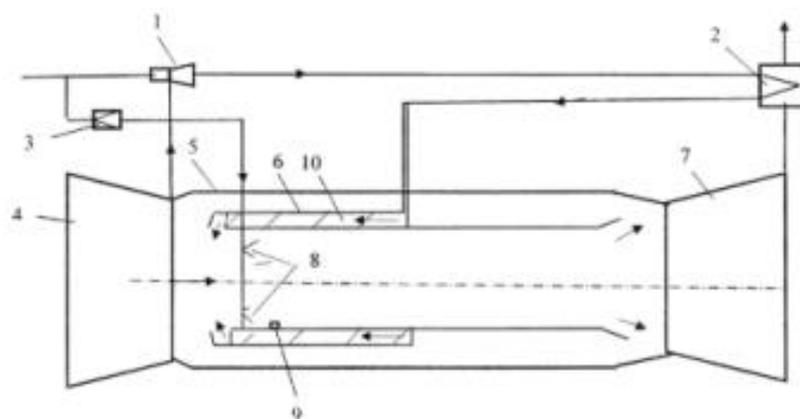


Рисунок 2 - Газотурбинная установка

Руководстве по эксплуатации газовых агрегатов на промысле описаны способы определения. Рассмотрены несколько видов газовой арматуры, распределительной и компрессорной установки. И изучены способы по борьбе с разведением коррозией газовых трубопроводов.

Хисамеев И.Г. в своей авторской книге рассматривает историю процесса становления типовых конструкций центробежного компрессора. В данном материале была изучена структура агрегатов, порядок основных участков и деталей, нужные для хорошей работоспособности ЦК. Сделаны проекты составленных методом проб и ошибок, и показаны способы программы автоматического управления (САУ) ДКС. В этих перечисленных патентах предоставлены проектирования и улучшение ЦК, RU 157010 U1, RU 2 529 926 C1, RU 2 687 859 C1. Научно-исследовательский и конструкторский институт центробежных и роторных компрессоров им. В.Б. Шнеппа владеет более чем 200 патентами в области центробежных компрессоров.

Ю.А. Чумаков в своем пособии пишет про методы газодинамических расчетов ЦК, работающие на двигателях ГТУ. По мимо расчетов в пособии, пишется про определение частоты оборотов ротора ЦК.

В данной статье рассматриваются современные технологии газоконпрессорной техники, которые были разработаны благодаря сотрудничеству между производителями и потребителями. Описываются ГТУ и компрессорные станции, которые успешно эксплуатируются на

нефтегазовых промыслах России. В статье представлены конструктивные особенности и технологии сборки современных центробежных компрессоров и турбокомпрессоров, а также методы системы автоматического управления компрессорными станциями. Обсуждаются проблемы, связанные с истощением газовых месторождений и необходимость использования дожимных компрессорных станций для увеличения степени сжатия. В статье также представлены патенты на проект и улучшение ЦК, что они позволят улучшить производительность и безопасность эксплуатации. Но нужно учитывать, что лучшее решение для увеличения производительности ЦК и турбокомпрессоров зависит от конструктивных особенностей и условий эксплуатации, поэтому необходимо учитывать все факторы и особенности конкретной ситуации при выборе оптимального решения.

Я могу поделиться информацией о технологиях газовых компрессоров и методах расчета расходной части центробежных компрессоров. В книге Селезнева и Галеркина "Центробежные компрессоры" описана процедура расчета профиля расхода ЦКБ.

В издании Ден Г.Н. показывает случаи опытов и научных исследований потерь в СПЧ компрессора, и плюс способы расчета потерь в диффузоре, аэродинамики, влияющих на вал, лопасти и входной патрубок. По мимо этого в учебнике показаны размеры газодинамической узлов, определяются параметры движения тел в определенных компонентах проточной части, оценивается потеря коэффициента и различные газодинамические моменты, а также КПД. В книге также описаны методы расчета воздушного потока вокруг рабочих колес, диффузоров, направляющих лопаток и регулирующих клапанов впуска, а также методы расчета аэродинамических сил, действующих на систему лопастей диффузора и впускное отверстие.

Использование аэродинамических сеток для расчета потока вокруг рабочих колес, диффузоров, направляющих лопаток и впускных регулирующих клапанов было тщательно изучено. Результаты вычислений были сопоставлены с экспериментальными данными для определения

аэродинамических сил. Также были проведены исследования для понимания механизма явлений нагнетания и различий между установившимся и пульсирующим потоком. В исследовании использовались компрессор, генератор пульсирующего потока, резервуар и клапан для определения частот незначительных и глубоких скачков давления в обоих режимах потока. Кроме того, был проведен анализ сочетаний рабочего колеса со смешанным потоком, поперечного и безлопастного диффузоров для проверки CFX и улучшения производительности центробежного компрессора.

Учебник "Оборудование, эксплуатация и техническое обслуживание газопроводов" включает в себя необходимые сведения и конструировании, эксплуатации и пользовании компрессорных станций для газопроводных построек и подземных газохранилищах. Также имеются различные методы сокращения топливно-энергетических резервов при отгрузке на большие расстояния, а также рассмотрены основные концепции надежности газопроводов. В то же время мы были убеждены, что при выборе оптимальных решений для повышения эффективности компрессоров и турбокомпрессоров мы должны учитывать конструктивные особенности и условия эксплуатации. Наше обсуждение может помочь учесть различные факторы и выбрать наилучшие решения для повышения вашей эффективности в будущем.

2 ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Компрессорная установка, принцип работы

Компрессорная станция является комплексом устройств, которые оснащены необходимым вспомогательным оборудованием и приборами для их нормальной работы, как по отдельности, так и в группах.



Рисунок 3 – Компрессорная станция

Главным компонентом такого механизма составляет компрессор.

Компрессоры - это неотъемлемое оборудование для нормальной эксплуатации газопроводов и играют ключевую роль в эффективном использовании газовых ресурсов. Они применяются для перемещения, сжатия и повышения давления газообразных сред, включая транспортировку газа в газопроводе. Кроме того, компрессоры являются важной составляющей компрессорных станций, которые необходимы для поддержания давления в газопроводе и обеспечения непрерывной подачи в магистральный трубопровод.

Работа компрессорной станции заключается для сжатия (см. рисунок4)



Рисунок 4 – Газообразные вещества сжимаем компрессорной станцией

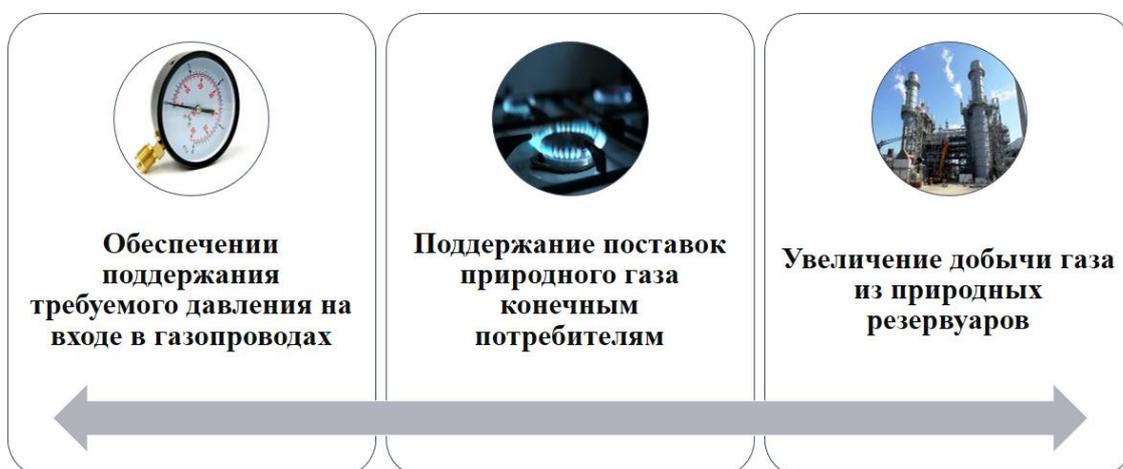


Рисунок 5 - Главная цель компрессорной установки



Рисунок 6 - Промышленная ценность компрессорных установок (ДКС)

Основные компоненты, входящие в ДКС



Рисунок 7 - Основные компоненты, входящие в ДКС

Агрегат построен так, что эксплуатируется в режиме автоматики как внутри здания и за его пределами, но при этом находят на станции. На ДКС имеются программы отслеживания работы и автоматика, при помощи которых мы можем управлять ситуацией. В нее входят такие системы как:

- Работа без постоянного осмотра персоналом.
- Ручное регулирование клапанами, затворами, воздушной вентиляцией.
- Просмотр характеристик устройства, входящие в ДКС.
- Пожарозащита, система пожаротушения

Программа посылает команды при авариях или опасных ситуациях, которые выполняются по требованиям покупателя. Это обеспечивает безопасность в чрезвычайных ситуациях на промысле в таких как:

- Моментальный упадок давление на всасывание всех видов оборудования
- Незапланированное увеличение, уменьшение потока газа на выходе агрегатов
- Увеличение энерго-затрат
- Повышение температуры в оборудовании и двигателях.

Благодаря этой системе оно дает надежность в эксплуатации ДКС, и предотвращение не нужных аварий или травм персонала, плюс ко всему контролирует характеристики устройств.

Таблица 1 – Технические параметры компрессорной установки

Размеры	В зависимости от типа оборудования
Размеры блока- модуля	
Длина, мм	6000...12000*
Ширина, мм	2450...3200
Высота, мм	До 3500
Вес, кг	В зависимости от типа оборудования
Условия работы	согласно тех. задания заказчика
Количество напорных магистралей, шт.	согласно тех. задания заказчика
Напор, м	согласно тех. задания заказчика
Потери м ³ /ч	согласно тех. задания заказчика
Классификация огнестойкости	II
Размеры даны для справок и уточняются при разработке рабочего проекта.	

2.2 Компрессоры

Компрессоры — это оборудования, помогающие превратить неподвижную энергию газа в потенциальную повышая ее скорость и давления для транспортировки газа к дальнейшему ее путешествию.

Компрессорный машины делятся на два вида объёмные и динамические, те же в свою очередь тоже разделяют на несколько видов. Виды компрессоров показана на рисунке5.



Рисунок 8 – Виды и классификация компрессоров

Центробежные компрессоры делятся на несколько видов, а именно на вентиляторы, нагнетатели и компрессоры.

2.3 Центробежный компрессор НЦ-6ДКС

Центробежный компрессор НЦ-6ДКС предназначен для компримирования природного газа до оптимального давления необходимого для транспортировки в магистральный газопровод в составе газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Вентиляторы машин низкого давления увеличивают расход газа до 10 кДж/ кг. ЦКМ., при высоком давлении и без холодильников в процессе сжатия,

и являются воздуходувками. СС (машины высокого давления) оснащены системами охлаждения газа во время сжатия и отбора газа. Воздуходувки высокого давления используются в автомобильных двигателях. В современной экономике эти двигатели играют важную роль. Например, СП используются для транспортировки добытого углеводородного газа по трубопроводу. ЦК получили свою популярность во многих сферах они эксплуатируются для химических, горных, холодильных, объектах и установка. В настоящее время стационарные центробежные компрессоры способны создавать высокое давление и работать при различных значениях объемной мощности, включая малую мощность. В некоторых случаях некоторые компрессоры СС с высокой производительностью могут конкурировать с поршневыми двигателями для высокого давления для сжатия газообразных веществ.

Основными компонентами компрессоров, важными для клиента, являются объемная мощность (Q), конечное давление (P_K) или перепад давления (ΔP). Начальное давление: начальное давление, давление на входе, давление на входе, давление перед давлением, а также потребляемая мощность (N). Все эти характеристики зависят от регулируемой частоты вращения (оборотов) ротора и основных характеристик газа, который сжимается на входе во впускную трубу. Исходные параметры включают давление (P_h) и температуру (T_n), а также физико-химические свойства газа. Компоненты СС, которые имеют устройства для понижения температуры газа во время сжатия, также соединены вместе в зависимости от температуры окружающей среды, подаваемой в теплообменник.

Разработанные и спроектированные компрессорной станции на инженерно-технической базе 70-80 годов двадцатого столетия, даже при предсказании того что давления газа в пласте снизится на первых днях разработки месторождения. Существует нужда в увеличении напора при уменьшении давления газа в пласте для его транспортировки, что является особенностью месторождений газа. Газоперекачивающие агрегаты, которые

используются для этой цели, имеют низкий КПД, что приводит к проблемам с энергоэффективностью, с экологией и правильностью разработки месторождения. Для решения этой проблемы необходимо создания модернизации и технического обновления дожимных компрессорных станций с при этом учитывая техническую особенность работы. Более того, этот процесс должен быть своевременным и эффективным, чтобы достичь этих целей.

Компрессор центробежный многоступенчатый спроектирован для компримирования газа и непрерывной подачи в технологический процесс. Кожух компрессора имеет с обеих сторон горизонтальной поверхности разъемы для фланца которые стягиваются болтами чтобы устранить разгерметизацию. В корпусе компрессора расположены диффузоры, а также обратно поступательные устройства и еще там же в корпусе находится ротор на нем зафиксированы рабочие колеса. Подшипники находятся в корпусе благодаря которыми вращается ротор.

Компрессор изготавливается под присмотром УХЛ. Категории размещения 3.1 по ГОСТ 15150-69 для оптимальной работы машины в рабочей зоне должно быть температура +5 до +45 °С, когда агрегат не эксплуатируется или не в рабочем состоянии -60 до +45 °С

Сменная проточная часть расположена внутри корпуса компрессора. В стандартном наборе комплекта компрессора НЦ6ДКС есть несколько видов проточной части, а именно: 2-х ступенчатый, 5-ти ступенчатый и 7-ми ступенчатый с положенными им названиями. Нас же интересуют 7-ми ступенчатый СПЧ 31/100-2,7 расположенных семь рабочих колес с аэродинамическим узлом.

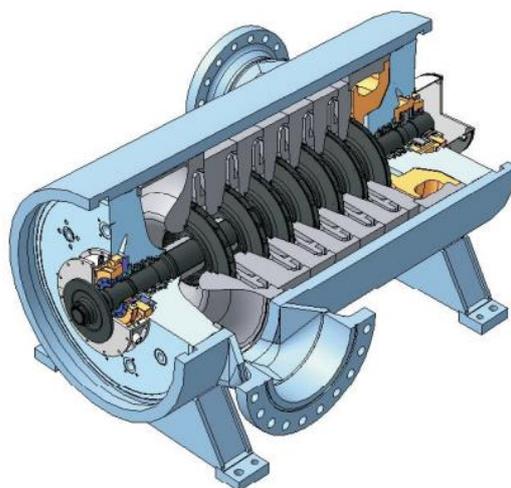


Рисунок 9 - НЦ-6ДКС «Урал» СПЧ 31/100-2,7 семиступенчатый

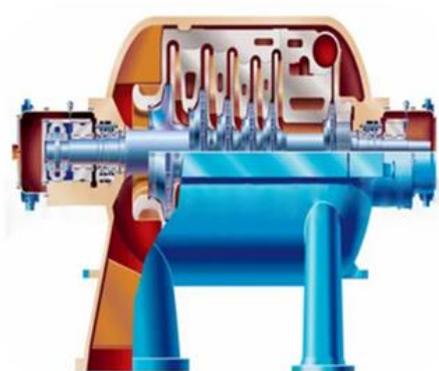
Компрессор НЦ-6ДКС «Урал» предназначен для сжатия природного газа до требуемых параметров и транспортирования газа по магистральным трубопроводам в составе ГПА.

Компрессор является сосудом, который состоит из кожуха, в котором находятся патрубки входного и выходного отверстия расположенных в двух сторонах горизонтально оси. По обоим граням корпуса они плотно закрыты фланцевыми заглушками всасывания и отдачи. У заглушек имеются отверстия под посадку подшипника, также для подачи масла в маслосистему, а также крышке для подсоединения фланцев трубопроводов.

Резиновые уплотнительные кольца, находящиеся на крышке в соответствующей проточке, а также сухие газодинамические уплотнения (СГУ) предназначения для герметизации в полости сменной проточной части (СПЧ). Для исключения перетечек газа между ступенями, в подвижных стыках предусмотрены лабиринтные уплотнения.

2.4 Информация о смену проточной части (СПЧ) компрессора

Узлами проточной части ЦК являются:



Корпус сжатия



Детали статора
газодинамических
узлов



Ротор



Рабочее колесо

Рисунок 10 – проточная часть ЦК

Корпус сжатия компрессора

Основным отделом проточной части ЦК считается корпус. В его работу входят ряд функций:

- формирует или крепко закрепляет детали СПЧ;
- проводят центровку ротора через подшипники;
- при вибрационных колебаниях сбрасывает нагрузки на основание фундамента

Корпус сжимается с помощью горизонтального и вертикального разъема.

Грани корпуса делятся на три части:

1. кожух, производит литье с деталями СПЧ;
2. кожух, производит литье с внешними улитками и камерой всаса;
3. кожух, производит литье в форме цилиндра с выпуклой верхней частью шляпы, патрубки всаса и нагнетания.

2.5 Детали газодинамических узлов статора

Стационарные компоненты компрессора включают впускной и выпускной патрубки, поворотную дугу, устройства выпрямления и диффузоры. Повышая давление и создавая струю газа за рабочими колесами, которая передается на следующую ступень и поступает в трубопровод вместе с ротором, это создает газодинамический блок, который гарантирует подачу газа. Многоступенчатые компрессоры многократно изменяют направление газовой струи от одного конца к центру, что повышает эффективность сжатия

Для обеспечения эффективной работы компрессора компоненты должны быть правильно подобраны с учетом их конструктивных особенностей и условий эксплуатации. Кроме того, подверженные износу детали необходимо своевременно заменять и ремонтировать, чтобы избежать снижения эффективности и надежности компрессора.

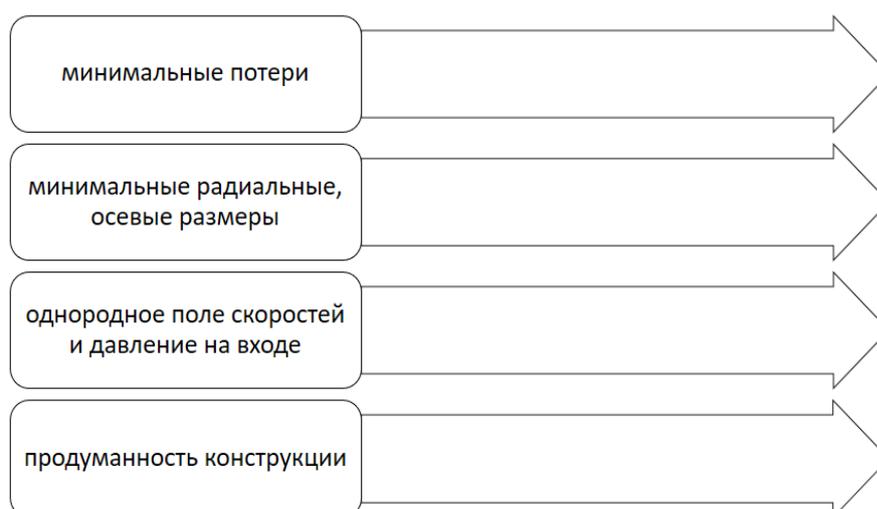


Рисунок 11 – основные требования в компрессоры

Эти условия выполнить все разом не получится. Для этого были спроектированы два вида центробежных компрессоров с входными элементами (см. рисунок 12,13)

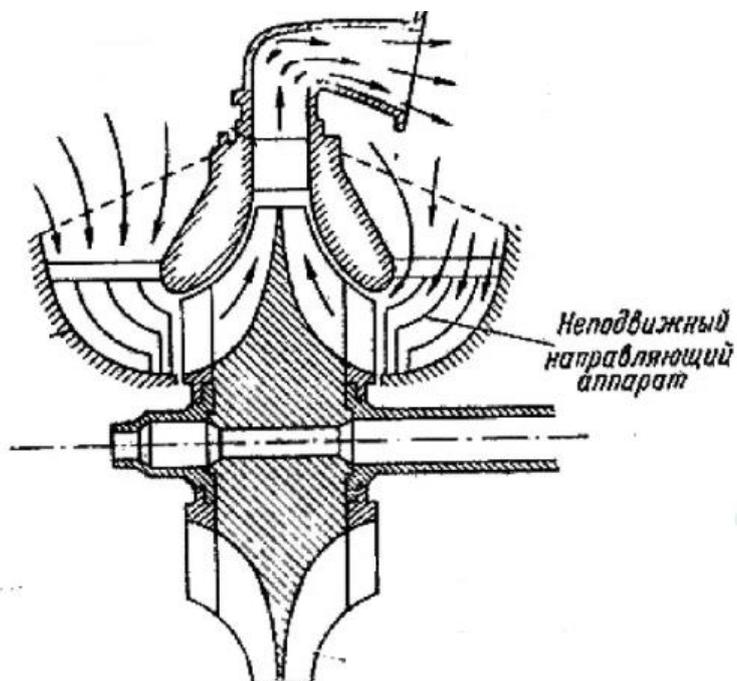


Рисунок 12 - неподвижно входные устройства

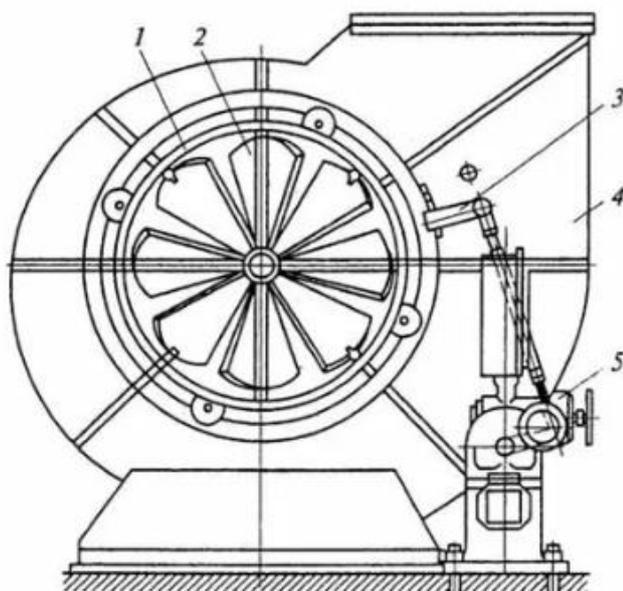


Рисунок 13 - аппараты, поворотно направленные 1 – кожух направляющего аппарата; 2 – поворотные лопатки; 3 – привод; 4 – улитка; 5 – колонка дистанционного управления

Неподвижные вводные элементы созданы для того чтобы газ постоянно входил с одного входного отверстия.

Входное отверстие используется в компрессорах, позволяющих установку на выступах рабочего колеса и подачи газа вдоль оси (рис 14).

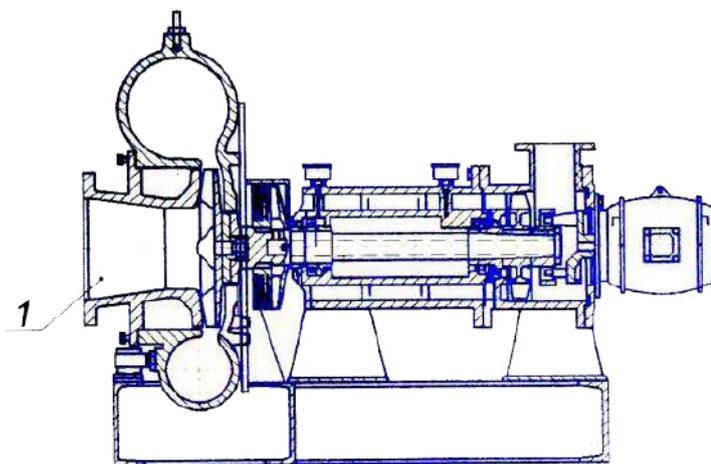


Рисунок 14 - одноступенчатый центробежный компрессор

1 - входное отверстие

Компрессоры большим количеством ступеней, первая ступень колеса ЦК стоит меж подшипником, газ проходит сквозь камеры всаса, которые создают радиальный поток, направленный в осевом направлении.

Всасывающие камеры бывают трех типов: спиральный канал; круглый переходник; патрубок.

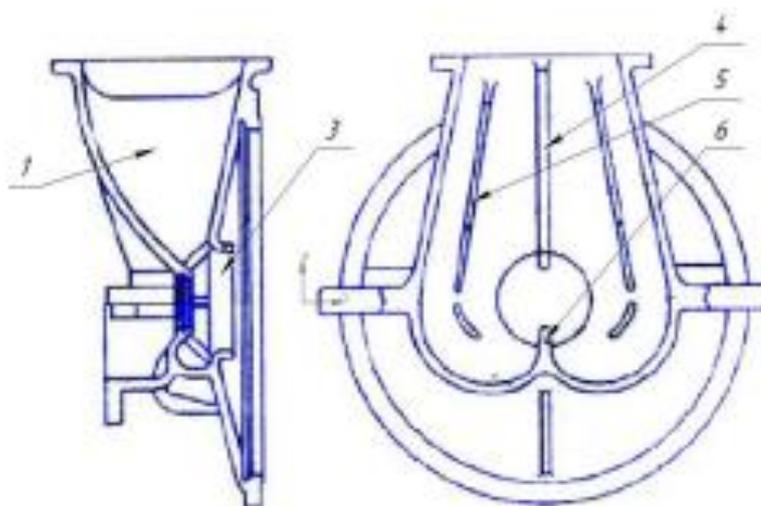


Рисунок 15 – камера всасывания компрессора:

1 – патрубок; 2 – спиральный канал; 3 – круглый переходник; 4 –
разделительное ребро; 5 – боковое ребро; 6 – язык

коленообразные	осесимметричные
симметричные по отношению к поверхности, проходящую через ось ЦК	патрубки с криволинейной осью симметрии в радиальной плоскости;
патрубки с криволинейной осью симметрии в радиальной плоскости;	патрубки с тангенциальным подводом или спиральные входные патрубки.

Рисунок 16 - Виды входных патрубков

Также применяют патрубки несколькими потоками всасывания, например, компрессор с двухсторонним потокам всасывания (рис8).

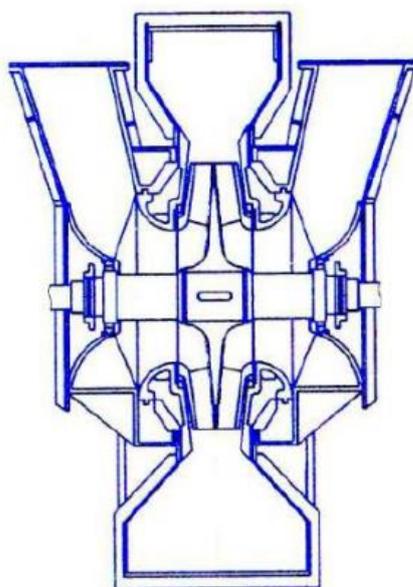


Рисунок 17 - Компрессор с двойным всасыванием

Для того чтобы снизить завихрения в компрессоре используются язычок и разделительное ребро.

Промежуточные секции впускных камер компрессора, устройство имеет ограниченное пространство для размещения деталей вдоль оси. Торцевые стенки нескольких камер представляют собой поверхность, расположенную по радиусу. Также чрезвычайно сложно обеспечить для этого удобную аэродинамическую форму.

В некоторых случаях может быть полезно изменить направление потока перед входом в нагнетатель или колесо турбокомпрессора, чтобы повысить его эффективность. Для решения проблемы малого места лучше всего будет пользоваться входным направляющим аппаратом (ВНА). С помощью них можно менять направление потока газа. В таких устройствах высокая скорость вращения колеса может привести к снижению относительного расхода. Другие методы, такие как использование специальных профилей лопастей, использование технологий вихревых камер и турбулентных лопастей, а также оптимизация геометрии компрессора для снижения потерь давления и повышения эффективности, также могут быть использованы для повышения эффективности компрессоров. Однако при выборе метода повышения эффективности компрессоров необходимо учитывать конструктивные особенности и условия эксплуатации каждого отдельного устройства для достижения наилучших результатов.

Таким образом, использование ВНА может уменьшить потери энергии и повысить эффективность работы компрессоров и турбокомпрессоров. Однако следует учитывать, что выбор способа улучшения эффективности работы зависит от конструктивных особенностей компрессоров и турбокомпрессоров, а также от условий их эксплуатации (рис 18).

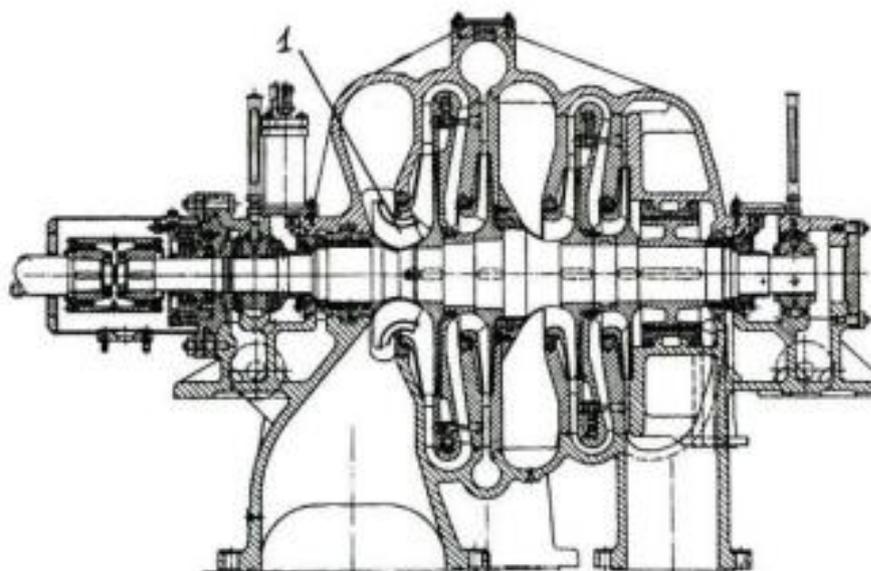


Рисунок 18 – Холодильный центробежный компрессор: 1 - входной направляющий аппарат

Такие же устройства с находящиеся без движения направляющих лопаток могут быть установлены не только перед колесом компрессора или турбокомпрессора, но и после обратного направляющих аппаратов, которые предшествуют компрессорам с несколькими степенями колес роторных центробежным компрессорам. Благодаря этому есть возможность повысить производительность компрессора. Однако, как и в случае с установкой ВНА перед входом в колесо, выбор способа улучшения эффективности работы зависит от конструктивных особенностей компрессоров и условий их эксплуатации.

Для модификации газодинамических свойств проточной части газового компрессора возможно применение входных регулирующих аппаратов (ВРА) с кривыми лопатками. Такие механизмы способны изменять закрученность потока перед ротором, что может привести к повышению КПД работы компрессора. Однако, выбор метода для оптимизации работы компрессора должен учитывать конструктивные особенности агрегата и условия его эксплуатации. Путем использования ВРА с поворотными лопатками возможно изменять закрученность потока перед ротором как в направлении вращения

ротора, так и в противоположном направлении. Это позволяет достичь желаемых газодинамических характеристик и повысить эффективность работы компрессора. Однако, как и в предыдущих случаях, выбор способа улучшения работы компрессора с помощью ВРА зависит от его конструктивных особенностей и условий эксплуатации.

Стационарные центробежные компрессоры оснащены входными регулирующими аппаратами (ВРА), которые позволяют эффективно управлять процессом сжатия газа. Чтобы кинетическую энергию превратить в потенциальную которая находится в рабочем колесе для этой цели используют диффузоры.

Для улучшения эффективности работы центробежных компрессоров используются различные типы диффузоров, включая безлопаточные (БЛД), лопаточные (ЛД) и каналные. Эти диффузоры могут применяться как в промежуточных, так и в конечных ступенях компрессора. Важно отметить, что выбор оптимального типа диффузора зависит от конструктивных особенностей компрессора и условий эксплуатации. Кроме того, для повышения эффективности работы компрессоров необходимо регулярное обслуживание и использование современных технологий и материалов.

В мембранах рабочего колеса есть безлопаточное круговая область, благодаря ему можно сгладить остатки от лопасти колёс и уменьшить обороты, Однако БЛД имеет большие радиальные размеры, но не представляется возможным уменьшить скорость течения газа на выходе из мембраны того показателя, который необходим в соседних частях ступеньки, что влечет за собой потери КПД. Таким образом, необходимо выбирать оптимальное решение для улучшения эффективности работы компрессоров в зависимости от конструктивных особенностей и условий эксплуатации, а также применять современные технологии и материалы для повышения их надежности и эффективности. Кроме того, важно своевременно обслуживать и регулярно производить технический осмотр газовых компрессоров, а также

применять различные типы входных регулирующих аппаратов для регулирования расхода газа и давления в системе.

Для компрессоров, функционирующих при высоком давлении, а также при работе с газами, наиболее эффективным вариантом является использование Безлопаточного диффузора (БЛД). Также этот тип диффузора используется в ситуациях, когда необходимы изменения характеристик ЦК.

ЛД во многих нынешних применяются в большинство нынешних компрессорах. Установка лопаточных решеток меньшего радиуса может значительно уменьшить поток, но при этом если мы внесем улучшения в СПЧ снизив расходы в следующих деталях коэффициент полезного действия ступени даст нам хорошие показатели. Но при этом пользуясь этим, мы делаем ее более ощутимой к вариации потерь. Кроме того, ЛД решетки могут уменьшить надежность компрессора, так как они вызывают динамические напряжения в рабочем колесе из-за неравномерности потока перед лопатками диффузора. Несмотря на это, использование таких решеток повышает КПД ступени на 2-4% по сравнению с БЛД на расчетном режиме.

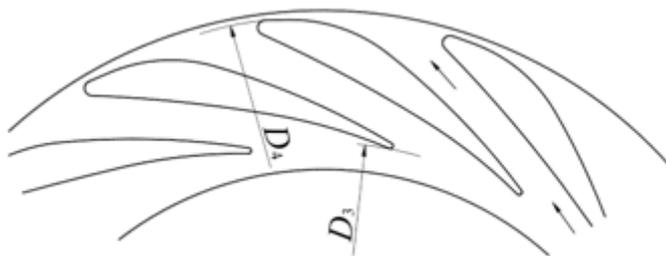


Рисунок 18 – Схема лопаточного диффузора

Применение канальных диффузоров позволяет более эффективно преобразовывать кинетическую энергию воздушного потока в давление благодаря улучшенной аэродинамике.

После диффузора может быть установлено для плавного подвода потока газа к обратно-направляющему аппарату (в случае ступеней промежуточного типа) или к выходному устройству ступени, применяется поворотное колено,

которое изменяет направление потока газа на 180° в меридиональной плоскости. Такое колено может быть кольцевым или канальным, в зависимости от типа диффузора.

Кольцевидно поворотные сегменты ставятся в компрессор вслед за безлопатной мембраной или лопастной диффузором на не основной точке. Так же у них есть цилиндрическая форма, обусловленную соосными сторонами.

Поворотные сегменты работают чтобы поворачивать течение в другом сегменте, снабжая непосредственно эту область. К примеру, в компрессорах с "насосными" диффузорами, на не основных уровнях все пути газа по диффузору, у него есть его личное колено поворота.

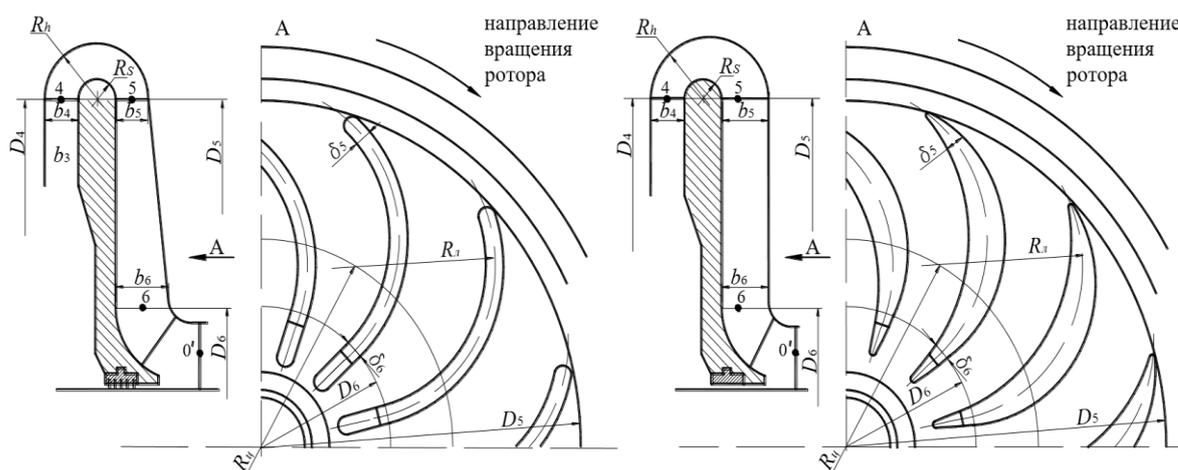


Рисунок 19 – Конструктивные соотношения обратно-направляющего аппарата и поворотного колена: а) ОНА с лопатками постоянной толщины; б) ОНА с лопатками переменной толщины

Обратно-направляющий аппарат (ОНА) предназначена для направления течения газа к рабочему колесу к следующей ступени компрессора. Для того, чтобы увеличить напор колеса, находящихся за Обратно-направляющим аппаратом течение газа обязано в осевом потоке, когда покидает направляющий аппарат. Из-за этого лопатка в конце ОНА устанавливаются под углом девяносто градусов. Чтобы предотвратить закручивание течение в конце лопатки ОНА в криволинейном колене на некоторой длине используют

радиальные наконечники лопасти ставятся или фиксируют другой обратно-направляющий аппарат. Их количество в среднем от 12 до 16. Пространство между лопатками затесняются затесняются таким образом, когда течение газа в нем повышается то чтоб она была на грани канала вечной. Уменьшение течение газа в лопатке может вызвать потери. Это называется «диафрагма».

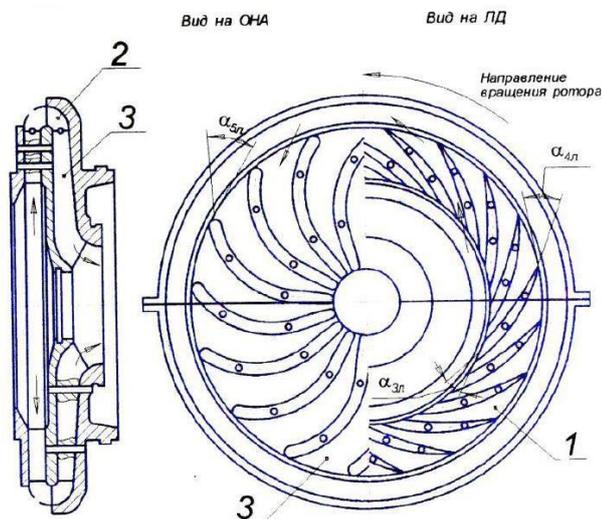


Рисунок 20 – Диафрагма «компрессорного» типа: 1 – диффузор; 2 – поворотное колено; 3 – обратно-направляющий аппарат

В случае, когда рабочие колеса расположены на консоли и используется одноступенчатая механизме, возможно использование не снимаемой лицевой панели. Такой вариант может быть рассмотрен в качестве альтернативы для обеспечения удобства эксплуатации и обслуживания. Однако, следует учитывать, что данное решение может ограничить доступ к некоторым элементам конструкции, что может затруднить проведение ремонтных работ.

Выходные устройства (ВУ) закрепляются на конечном уровне, также за другой не основной детали ротора, для забора углеводородного сырья для проб ну или могут взять газ охладитель.

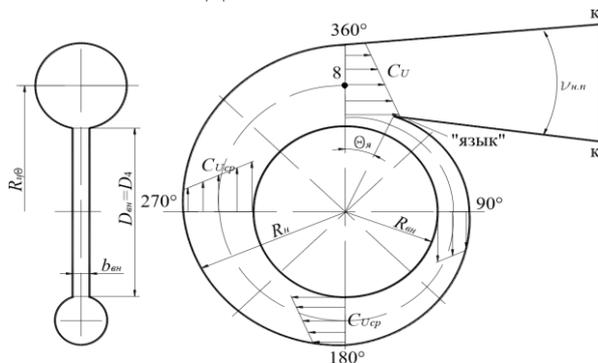


Рисунок 21- Структурные параметры улитки в меридиональной и радиальной плоскостях

Различные фигуры шнеков в торцевом потоке включают круглые, трапециобразные, грушеобразные, прямоугольные и т.д., которые выбираются в зависимости от требований, предъявляемых к их функциональности (рис. 22 и рис. 23).

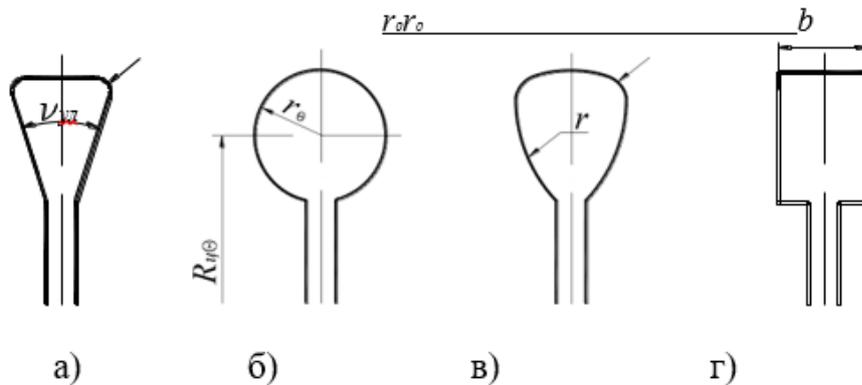


Рисунок 22 - симметричные формы улиток: а) трапециевидные; б) круглые; в) грушевидные; г) прямоугольные

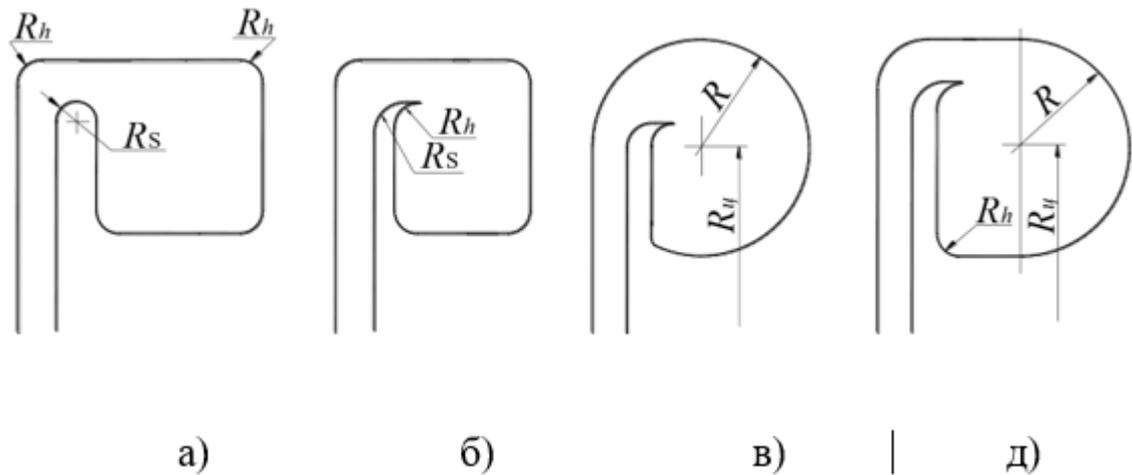


Рисунок 23 - Асимметричные формы улитки:
а), б) прямоугольный; в) круглый; д) комбинированный

Рекомендуется использовать круглые шнеки для достижения наименьших размеров компрессора. На поверхности меридианы шнек может быть соосным или смещенным относительно оси канала предыдущего элемента (колеса, диффузора) в зависимости от его относительного положения (с осями поперечного сечения, повернутыми вбок).

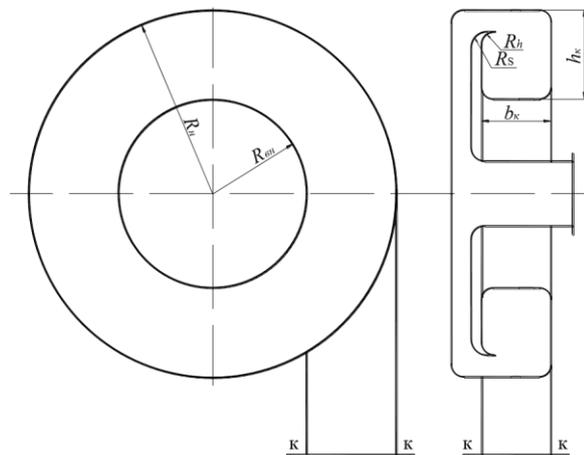


Рисунок 24 - Схема прямоугольной монтажной камеры в форме кольца

Использование кольцевых сборных камер с тангенциальным выходным диффузором уменьшает радиальные размеры ступени, но может привести к увеличению осевых размеров. Это решение подходит для создания единообразных воздушных машин. На нынешний день ЦК с несколькими и более ступенями статор выполнен в специальных интегрированных мембранах.

На рисунке 25 показана компоновка единообразных мембранного блока ЦК с горизонтальным портом.

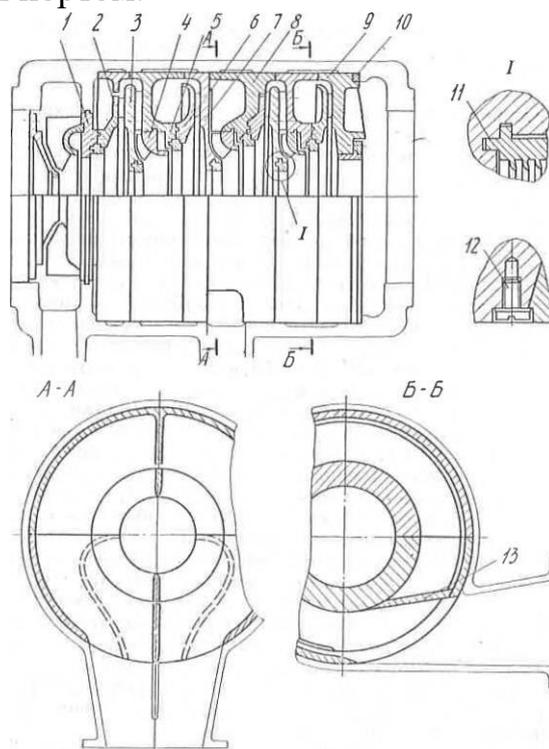


Рисунок 25 - Комплект мембран компрессора с горизонтальным соединением: 1 - диафрагма; 2 - стенка диффузора; 3 - диафрагма; 4 - лопасть; 5 - камера для установки в виде червячного кольца; 6 - стенка диффузора; 7 - перегородка; 8 - всасывающая камера; 9 - задняя стенка; 10 - закрывающие сегменты; 11 - лабиринтная втулка; 12 - Болт крепления диафрагмы к верхней половине цилиндра; 13 - Перегородка; 8 - всасывающая

камера; 9 - задняя стенка; 10 - закрывающие сегменты; 11 - Лабиринтная втулка; 12 - Болт крепления диафрагмы к верхней половине цилиндра; 13 - перегородка

Первая ступень ЦК имеет в входящий патрубок, образованную внешней перегородкой, внутренними поверхностями стенки и диафрагмой 1, прикрепленной к поверхности диффузора. Для центрирования используется лабиринтная втулка 11 из двух полуколец, закрепленных в кольцевых пазах мембраны. Направляющее устройство 4 для ввода состоит из сетки из плоских лопастей, приваренных к полукольцам втулки. Шнек 5 выполнен в виде вставных деталей и свернут к центру для уменьшения размеров корпуса 13. Боковая стенка б шнека одновременно служит стенкой диффузора. Части 3, 5, 6, диафрагма, улитка и боковая стенка соединены вместе, образуя единый блок. Это решение позволяет повысить эффективность компрессора и уменьшить его габаритные размеры.

Рядом с перегородкой 7 расположена "всасывающая мембрана", состоящая из всасывающей камеры 8 и диффузора. Всасывающая камера 8 имеет ребристые ребра, которые делят разматывающий ток, подаваемый в РК, на два похожих куска. Для лучшего течения газа ставятся дополнительные лопасти.

За конечной ступенью, на которой расположены диафрагма и улитка, находится на заднем краю номером 9. Он выполняет две функции: закрывает выпускное отверстие и работает для закрепления лабиринтной втулки выпускного поршня. Он 9 может продержаться скачок напора, происходящий в кожухе поскольку нижняя поверхность под напором. Для предотвращения не нужных отклонений в обоих краях перегородок 9 стоят ребра.

Все диафрагмы подводятся к центру прямо в кожухе с помощью регулировки. Для достижения выравнивания и минимальных расстояний в лабиринтах внутренние центрирующие поверхности технологически соединенных половин мембранных блоков обрабатываются на единой установке токарно-сверлильным станком на карусельных станках. Это обеспечивает высокую точность центрирования.

При установке многоступенчатых центробежных компрессоров половина диафрагм размещается попеременно в нижней и верхней половине цилиндра. Далее пакеты мембран сжимаются с помощью технологических втулок и фиксируются в 10 сегментах, ширина которых выбирается локально. Этот процесс обеспечивает правильное выравнивание мембран и уплотнительных резиновых кабелей, а также надежность и долговечность компрессора в рабочих условиях. При сборке компрессора важно учитывать конструктивные особенности и условия эксплуатации, чтобы обеспечить его эффективность и надежность в эксплуатации.

При производстве больших многоступенчатых центробежных компрессоров половина мембран вставляется в цилиндрические углубления, которые фиксируют мембраны в осевом направлении. Центрирование каждой мембраны в верхней и нижней половине цилиндра осуществляется с помощью крекеров, которые регулируются серией уплотнений. Этот метод обеспечивает точное выравнивание мембран и уплотнительных резиновых кабелей, а также гарантирует надежность и долговечность компрессора в рабочих условиях. При производстве многоступенчатых центробежных компрессоров важно учитывать конструктивные особенности и условия эксплуатации, чтобы обеспечить их эффективность и надежность в эксплуатации.

Верхние части диафрагм, расположенные в соединительной плоскости, крепятся к верхней половине цилиндра специальными болтами длиной 12 см. Это позволит вам переворачивать верхнюю половину корпуса на протяжении всей сборки. Такой подход обеспечивает удобство и эффективность при сборке многоступенчатых центробежных компрессоров, что повышает их надежность и долговечность. Эти детали важно учитывать при изготовлении компрессоров, чтобы обеспечить их эффективность и надежность в эксплуатации.

В нижних половинах мембран фрезеруются радиальные канавки, чтобы уменьшить внутренние потери из-за зазоров в соединительных плоскостях нижних мембран. В эти канавки вставлен резиновый уплотнительный шнур, который предотвращает попадание жидкости и газа через зазоры. Такой подход повышает эффективность и надежность многоступенчатых центробежных компрессоров, что важно при их производстве.

Конструкция твердотопливной части многоступенчатых центробежных компрессоров с вертикальным соединением также включает мембраны с горизонтальным соединением (см. Рис. 18). В зависимости от направления всасывающей трубки цилиндра, камера всаса может стоять в разных направлениях. Не основные мембраны 2, которые различаются толщиной канала, подводятся к центру одна за другой. Стенки, находящиеся внутри 3 и лопасти, сплавленные с диафрагмой. Лопатки, служат назначением жесткого ребра, понижая изгибы диафрагмы на которых воздействует изменения напора, которые создает рабочее колесо. Предпоследняя диафрагма расположена в центре распорного кольца 4, имеющего выходное отверстие. Распорное кольцо, в свою очередь, расположено в центре диафрагмы - шнека 5. Приваренные впускные лопатки расположены в центре мембран, соединенных между собой болтами и болтами, образуя единый корпус. В кольцах этих устройств установлены съемные лабиринтные втулки. Для монтажа угла течения газа диафрагмы открывается горизонтально, после чего ротор надевается на лабиринтные гребни, затягиваются болты и крепятся детали без соединителей. Мембранный пакет центрируется торцевыми крышками цилиндра на поверхностях, прилегающих к крайним мембранам,

образуя две точки опоры. При наличии более восьмидесяти мембран центральная мембрана располагается в центре цилиндра и образует третью опорную точку упаковки. Чтобы выровнять всю упаковку, соединяемые концы и края стенок всех мембран должны быть обработаны до заданной границы единственного аппарата

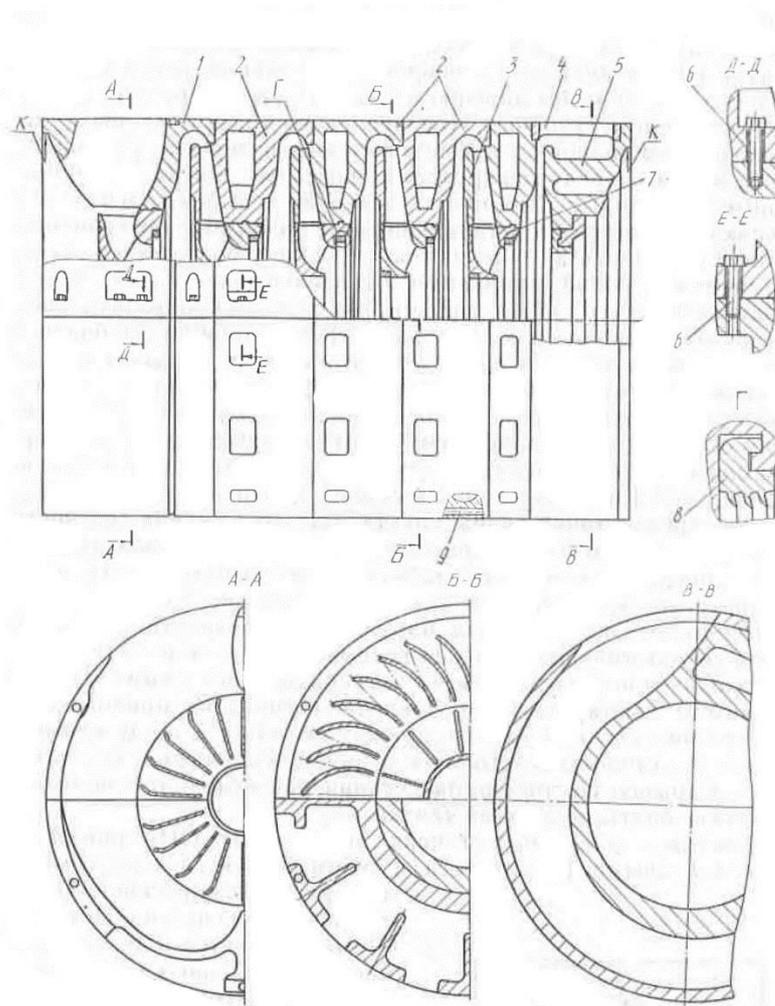


Рисунок 26 - Набор диафрагм компрессора с вертикальным соединением. 1 - Всасывающая камера; 2 – промежуточная мембрана; 3 - внутренняя перегородка с НЕЙ; 4 - распорное кольцо; 5 – концевая часть мембраны со шнеком; 6 - болты, сваривающие половинки мембраны; 7 - лопасть; 8 - лабиринтная втулка; 9 - натяжные штифты

Когда компрессор работает, внешние элементы мембраны, включая уплотнительной прокладки входного патрубка 1 (показано на рисунке 14), подвергаются напору газа, что в свою очередь, что осуществляет компрессию упаковки в направлении, параллельном горизонтальному входу. Напор, оказываемое во внутри плоскости шнека, приводит к тому, что упаковка сближается с заглушкой. Завершающая мембрана со шнеком 5, в свою

очередь, прижимается к крышке впрыска под тем же давлением, и тонкие технологические винты шнекового крепления растягиваются.

2.6 Рабочие колеса компрессора

Открытое колесо редко используется в компрессорах с несколькими или более ступенями, такие колеса в основном используются в одноступенчатых компрессорах. Ведь на многоступенчатых, начиная со второй ступени сжатия, температура газа повышается, что может привести к перегреву и деформации лопастей, а также к быстрому износу. В таких условиях эксплуатации колесо не сможет функционировать, если оно изготовлено из алюминия, в таких случаях лучше всего подойдет сплав стали или титана.

Хорошие характеристики этих колес во многом обусловлены малым весом колеса по сравнению с ротором, его легко создавать, осевая сила инерции вообще не ощущается.

Конечно, есть и недостатки, и это больше, чем обычно, стоимость гидравлики, изменение расхода газа по оси (форма воздуховода не самая лучшая), нежелательная вибрация.

Чтобы лезвия были более прочными и не деформировались в результате усталостного износа, их отливают из штампованной стали или титана. Это значительно повышает устойчивость лезвия в рабочей среде при его перегреве и вихрях газового потока.

Лопастей, расположенные на колесе, изготовлены из штампованной стали или титана. Это делает лезвия более прочными и устойчивыми к усталости, чем если бы они были изготовлены из листового материала. Эта обработка также помогает придать волокнам материала определенную форму детали и создать участки, в которых материал становится еще более прочным.

Колесо имеет открытую конструкцию, поэтому оно легче, чем колеса с закрытой конструкцией. Это уменьшает вес колеса и делает его более эффективным. Кроме того, такое колесо не создает значительных осевых усилий, что делает его более устойчивым и безопасным в эксплуатации.

Открытые колеса имеют ряд недостатков, из-за которых они практически не входят эксплуатацию такие как;

- Повышения расхода при перемене потока течение газа с одно оси на другую (из-за не получившейся модели канала)
- Значительные расходы газа при натирании колеса об воздух
- Часты вибрации



Рисунок 27 – Вид колеса по конструкции входа



Рисунок 28 – Вид по конструкции лопаток колеса



Рисунок 29 – виды колес

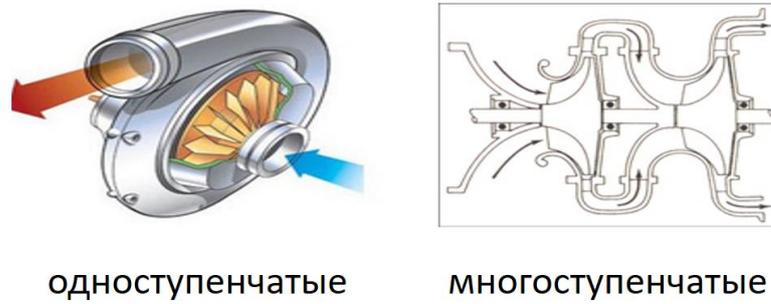


Рисунок 30 - по числу степеней сжатия



Рисунок 31 - по типу диффузоров (мембран)

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Введение

В выпускной квалификационной работе магистра описывается процесс модернизации по модернизации концевых лабиринтных уплотнений турбокомпрессора.

Цель предлагаемой модернизации:

– повышение производительности и эффективности компрессора;

Увеличение степени сжатия достигается за счет внедрения модернизированного рабочего колеса в проточную часть.

Проведя аналитический расчет и CFD моделирования процесса работы двух вариаций рабочего колеса, наибольшую эффективность показала модель №2.

Для обоснования экономической эффективности предложенных решений по необходимо оценить экономический эффект. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определение размера капитальных вложений;
- проведение расчета эксплуатационных затрат;
- определение экономического эффекта за счет увеличения производительности центробежного компрессора
- оценка экономической эффективности.

4.2 Затраты на оплату труда и отчисления во внебюджетные страховые фонды

Стоимость модернизации центробежного компрессора складывается из следующих составляющих: затраты на оплату труда, затраты на материалы

и комплектующие, амортизационные отчисления, затраты на транспортировку и затраты на монтаж.

Помимо разработки проекта, исполнитель по условиям договора должен провести шефмонтаж и шефналадку новой системы, а также провести экспертизу промышленной безопасности внедряемого решения. Часть работы будет выполнена штатными работниками. В таблице 1 указаны затраты на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 7 – Затраты на оплату и отчисления во внебюджетные фонды.

Статья расходов	Стоимость, тыс. руб.
Затраты на оплату труда специалистов по проектировщиков организации-исполнителя	409,98
Затраты на оплату труда и командировочных выездных специалистов	208,32
Затраты на оплату труда ремонтной бригады	137,11
Затраты на страховые взносы специалистов	124,04
Затраты на страховые взносы выездных специалистов	29,88
Затраты на страховые взносы ремонтной бригады	42,92
Итого	952,25

4.3 Затраты на амортизационные отчисления, материалы, комплектующие и транспортировку

Согласно проекту, будет изготовлено 7 рабочих колес. Колеса изготавливаются из титанового сплава ВТ6. Затраты на материал для изготовления обойм рассчитываются $Z_{\text{мат.}}$:

$$Z_{\text{мат.}} = Z_{\text{мат.}\backslash\text{кг}} \cdot M_{\text{изд}} \quad (1)$$

где $Z_{\text{мат.}\backslash\text{кг}}$ – стоимость материала, руб./кг;

$M_{\text{изд}}$ – масса изделий, кг.

Оценка стоимости материалов для изготовления обойм представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на материалы.

Наименование	Материал	Количество, шт.	Стоимость за кг., тыс. руб.	Масса изделия, кг.	Затраты, тыс. руб.
Заготовки для рабочих колес	ВТ6	7	1000	15	105
Итого					105

Амортизация начисляется нелинейным методом по следующей формуле:

$$Z_{\text{аморт.}} = Z_{\text{аморт.тек.}} \cdot N_{\text{аморт.мес.}} \cdot V_p \quad (2)$$

где $Z_{\text{аморт.тек.}}$ – сумма амортизации на текущий период, руб.;

$N_{\text{аморт.мес.}}$ – норма амортизации за месяц, %.

Затраты на амортизационные отчисления используемого в работе оборудования указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Затраты на амортизационные отчисления

Параметр	Станок металлообрабатывающий с ЧПУ	Электрический кран-балка
Амортизационная группа	5	7
Норма амортизации за месяц (%)	2,7	1,3
Сумма амортизации на текущий период, тыс. руб.	2465,85	651,43
Время работы оборудования, мес.	0,097	0,014
Сумма амортизации за время работы, тыс. руб.	6,46	0,19
Итого, тыс. руб.	6,58	

Для обеспечения нормальной работы модернизированного компрессора предусмотрено наличие минимального набора КИП и элементов трубопроводной арматуры. Перечень и стоимость комплектующих приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Затраты на комплектующие

Наименование	Количество, шт.	Цена за шт., тыс. руб.	Затраты, тыс. руб.
Расходомерное устройство	2	123,8	247,6
Датчик давления	4	14,6	58,4
Датчик перепада давления	2	25	50
Датчик температуры	2	2,5	5
Датчик ДВК	1	8,6	8,6
Итого			854,1

Суммарные затраты на комплектующие составят:

$$Z_{\text{компл.}} = 854,1 \text{ тыс. руб.}$$

Транспортировка осуществляется автомобильным транспортом. Согласно информации транспортной компании, затраты на грузоперевозку $Z_{\text{трансп.}}$ составят 155060 руб.

4.3 Затраты на проведение мероприятия

Затраты на проведение мероприятия включают все вышеперечисленные затраты. Также в затраты на проведение мероприятия включены накладные расходы, которые могут не иметь прямого отношения к осуществляемым мероприятиям, но могут сопровождать процесс проектирования и монтажа, на накладные расходы было выделено 15 % от общих затрат. Затраты на накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл.}} = 289,44 \text{ руб.}$$

Перечень затрат на проведение мероприятия и их стоимость указаны в таблице 11.

Таблица 11 – Затраты на проведение мероприятия

Затраты	Сумма затрат, тыс. руб.
Затраты на оплату труда	653,63
Затраты на отчисления во внебюджетные страховые фонды	196,83
Затраты на материалы	573,1
Затраты на амортизационные отчисления	6,576
Затраты на комплектующие	854,1
Затраты на транспортировку	155
Накладные расходы (15 %)	365,88
Итого	2805

4.4 Расчет экономического эффекта от увеличения производительности центробежного компрессора

Основной целью предлагаемой модернизации является достижение былых производственных мощностей, так как в последние годы давление пласта уменьшилось, что привело к уменьшению ежегодного дохода на 5786 тысяч рублей в 2021. Внедряемое рабочее колесо позволит нивелировать уменьшение давления пласта и прийти к изначальным показателям при разработке пласта

4.5 Расчет эксплуатационных затрат и амортизационных отчислений

Эксплуатационные расходы представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Ежегодные эксплуатационные затраты

Показатель	Значение
Электроэнергия, тыс. руб./год	467.26
Смазочные материалы, тыс. руб./год	3000
Материалы на ремонтно-эксплуатационные нужды, тыс. руб./год	50
Прочие материальные затраты, тыс. руб./год	175
Итого:	3692,26

4.6 Амортизация основных средств и налог на имущество организации

Амортизация представляет собой систематическое распределение итоговой цены актива на срок его эффективного использования. Срок службы технического предложения составляет 15 лет, расчет амортизационных отчислений проведен линейным способом. Амортизация начисляется только на оборудование стоимостью за единицу более 100 тыс. руб. и сроком службы более года в моем случае это только расходомерное устройство в количестве 2 шт. общей стоимостью 247,6 тыс.руб. Формула расчета амортизации линейным способом:

$$AM = \frac{C}{СПИ} \quad (3)$$

где C — первоначальная или текущая рыночная стоимость объекта НМА;

СПИ – срок полезного использования объекта НМА в месяцах

Таблица 13 – Расчет амортизации и налога имущество организации

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Остаточная стоимость на начало периода, тыс. руб.		247,6	231,09	214,59	198,08	181,57	165,07
Амортизация, тыс. руб.	-	16,51	16,51	16,51	16,51	16,51	16,51
Остаточная стоимость на конец периода, тыс. руб.	247,60	231,09	214,59	198,08	181,57	165,07	148,56
Налог на имущество (2,2 %), тыс. руб.	-	5,266	4,902	4,539	4,176	3,813	3,450

4.7 Оценка экономической эффективности проекта

Оценка экономической эффективности является ключевым этапом в расчете, при котором определяются индекс доходности капитальных вложений, срок окупаемости, чистый дисконтированный доход.

Таблица 14 – Экономические показатели

Показатель и	Ед. измерения	Сумма	2022	2023	2024	2025	2026
Выручка	тыс. руб.	23144,00	-	5786,00	5786,00	5786,00	5786,00
Текущие затраты	тыс. руб.	14425,73	-	3719,48	3494,11	3493,75	3718,39
Валовая прибыль	тыс. руб.	6886,59	-	1843,35	1926,68	1772,72	1343,83
Налог на имущество организаций	тыс. руб.	18,88	-	5,266	4,902	4,539	4,176
Налог на прибыль	тыс. руб.	1377,32	-	368,67	385,34	354,54	268,77
Сумма налогов	тыс. руб.	1396,20	-	373,94	390,24	359,08	272,94

Чистая прибыль	тыс. руб.	5509,27	-	1474,6 8	1541,3 4	1418,1 8	1075,0 6
----------------	-----------	---------	---	-------------	-------------	-------------	-------------

Таблица 15 – Итоговые результаты

Накопленный денежный поток	тыс. руб.	6869,02
Суммарный дисконтированный доход	тыс. руб.	3033,14
Внутренняя норма доходности	%	46,950
Индекс доходности		1,7
Срок окупаемости	лет	4,3

Инвестиции окупаются в первый год, т.к. значительный экономический эффект достигнут благодаря отказу от впрыска керосина. Данный проект направлен на обеспечение бесперебойности работы и сокращению отказов оборудования вследствие загрязнения старой системы концевых уплотнений. Прибыль вследствие снижения простоев компрессоров посчитать невозможно, но технология позволит сохранять денег гораздо больше, чем кажется на первый взгляд, хотя бы учитывая тот факт, что при аварийной остановке предприятие недопроизводит продукции на миллионы рублей, теряя прибыль.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения

Предложение мероприятий и технических решений по предотвращению необратимой нагрузки позволит предприятию использовать компрессор более эффективно и продолжительно, увеличит его ресурс, а также сохранит средства, силы обслуживающего персонала и их здоровье

5 Социальная ответственность

Выпускная квалификационная работа посвящена анализу технических решений, направленных на повышение эффективности дожимной компрессорной станции. Объектом исследования является НЦ-6ДКС, применяемая на Мыльджинском месторождении АО «Томскгазпром» для повышения давления природного газа и дальнейшей транспортировки его в магистральный трубопровод.

В качестве персонала, работающего на дожимной компрессорной станции, рассматривается машинист технологических компрессоров. Машинист технологических компрессоров имеет следующие должностные обязанности: обслуживание основных элементов технологической обвязки объектов компрессорной станции, запуск и остановка газоперекачивающих агрегатов, выполнение несложных регулировочных работ на газоперекачивающем технологическом оборудовании и всех видов регулировочных работ общестанционного оборудования и участие в ремонте компрессоров, их приводов, аппаратов, узлов коммуникаций и вспомогательного оборудования цехов.

Целью данного раздела является рассмотрение правовых и организационных вопросов обеспечения производственной и экологической безопасности, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях на дожимной компрессорной станции.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочим местом машиниста является машинный зал газоперекачивающего агрегата. Основным оборудованием ДКС являются газоперекачивающие агрегаты.

Время отдыха и рабочее время регламентируются графиком работы на вахте, который утверждается работодателем с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372 ТК РФ для принятия локальных нормативных актов, и доводится до сведения работников не позднее, чем за два месяца до введения его в действие.

На компрессорной станции принят вахтовый режим отдыха труда – 15 дней и продолжительностью рабочего дня на вахте 12 часов.

Согласно Постановлению Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13 января 2003 года №1/29 все сотрудники и руководитель обязаны проходить обучение по охране труда и проверку знания требований охраны труда для обеспечения профилактических мер по сокращению производственного травматизма. Особенно это важно для данного производства.

Для работников, выезжающих в районы крайнего Севера и приравненные к ним местности:

- устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях;

- предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих;

- в районах крайнего Севера – 24 календарных дня, в местностях, приравненных к районам крайнего севера, - 16 календарных дней.

- Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03 установлены требования, процедуры и условия ведения работ при проектировании, строительстве, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации производственных объектов; конструировании, изготовлении, ремонте машин, механизмов, других технических устройств; разработке технологических процессов; подготовке и аттестации работников;

организации производства и труда; взаимодействии Госгортехнадзора России с организациями по обеспечению безопасных условий производства и рационального использования природных ресурсов.

– Требования промышленной безопасности должны соблюдаться согласно Федеральному закону от 21.07.1997 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и Постановлению Правительства РФ «Об организации и осуществлении производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах» с использованием «Методических рекомендаций по организации производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах» РД 04-355-00.

5.2 Производственная безопасность. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Выполнение работ в машинном зале дожимной компрессорной станции сопровождается вредными и опасными факторами согласно, приведенными в таблице 16.

Таблица 16 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (Гост 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенный уровень шума в рабочем помещении	-	+	+	Требования к уровню шума устанавливаются: ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ;
Превышение уровня вибрации	-	+	+	Требования к уровню вибрации устанавливаются: ГОСТ
Недостаток освещенности	+	+	+	12.1.012-90; Требования к уровню освещения устанавливаются: СНиП
Повышенное содержание вредных веществ в воздухе	+	+	+	4156 – 86, СНиП 23-05-95; Требования к воздуху рабочей среды устанавливаются: ГОСТ
Опасность поражения электрическим током	-	+	+	12.1.005-88; Требования для обеспечения безопасности от поражения электрическим током устанавливаются: ГОСТ
Пожароопасность	-	-	+	Р 50571.3-94; Требования пожарной безопасности устанавливаются: ГОСТ
Опасность механических повреждений	-	+	+	12.1.004-91; Требования безопасности для предотвращения механических повреждений устанавливаются: ГОСТ
Сосуды и аппараты под высоким давлением;	-	-	+	12.2.003-74; Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.063-2015; Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности: ГОСТ 12.2.085-2002.

Рассмотрим по отдельности каждый фактор, его источник возникновения, воздействие на организм человека, средства защиты и мероприятия по снижению уровня воздействия его на человека.

5.3 Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания и другие неблагоприятные последствия.

Повышенный уровень шума в рабочем помещении

Чрезмерный уровень шума оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье людей. При повышенном уровне шума орган слуха вынужден приспосабливаться к таким условиям и его чувствительность снижается. Также у людей, работающих в условиях повышенного шума, чаще страдают от гипертонической болезни сердца, увеличению вероятности возникновения инфаркта миокарда.

Основными источниками шума на компрессорной станции считаются ГПА и АВО газа, соответственно машинист технологических компрессоров потенциально вследствие своей работы может получить значительные проблемы со слухом. Следовательно, на предприятии должны быть приняты меры по защите работников от промышленного шума.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ работодатель обязан обеспечить посредством принятия соответствующих мер безопасность при воздействии шума на работников. Эти требования учтены в газоперекачивающих агрегатах ГПА-6 «Урал». В частности, газотурбинные установки и рамы вспомогательных устройств находятся в кожухе шумотеплоизолирующей рамы. Щит управления компрессорным цехом находится за

звукопроницаемым стеклом, а при работе с оборудованием машинисты обеспечены средствами индивидуальной защиты: вкладышами «Беруши», наушниками.

Превышение уровня вибрации

Воздействие вибрации может привести к изменениям в нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательной системах. При хроническом воздействии вибрации на человека в условиях производства возможно развитие профессионального заболевания - вибрационной болезни. Заболевание характеризуется стойкими патологическими нарушениями в сердечно-сосудистой и нервной системе, а также в опорно-двигательном аппарате и высокой инвалидизацией. В Российской Федерации вибрационная болезнь находится на одном из первых мест среди хронических профессиональных заболеваний.

На компрессорной станции вибрация создаётся при работе компрессоров, трубопроводов технологической обвязки и аппаратов воздушного охлаждения газа и масла.

В целях предотвращения вибрационной болезни в ГОСТ 12.1.012-90 предусмотрены нормы, регулирующие время непрерывного воздействия вибрации на работника (таблица 17).

Таблица 17 – Допустимое суммарное время непрерывного воздействия вибрации T_n на работающего за смену

T_n , мин	Показатель превышения вибрационной нагрузки на оператора, Δ , дБ
1	381
2	302
3	240
4	191
5	151
6	120

Продолжения таблицы 17

T_н, мин	Показатель превышения вибрационной нагрузки на оператора, Δ, дБ
7	95
8	76
9	60
10	48
11	38
12	30

Для защиты работника от пагубного воздействия вибрации предусмотрены антивибрационные рукавицы, а также сапоги с толстой резиновой подошвой. ГПА оборудованы специальными датчиками, контролирующими их уровень вибрации.

Недостаток освещённости

Освещённость объектов нефтяной промышленности должна удовлетворять СНиП 4156 – 86 «Санитарные правила для нефтяной промышленности». Освещённость рабочих мест должна быть равномерной и исключать возникновение слепящего действия осветительных приспособлений на работающих. Производство работ в неосвещенных местах не разрешается. Во всех производственных помещениях, кроме рабочего, необходимо предусматривать аварийное освещение, а в зонах работ в ночное время на открытых площадках - аварийное или эвакуационное освещение. Светильники аварийного и эвакуационного освещения должны питаться от независимого источника. Вместо устройства стационарного аварийного и эвакуационного освещения разрешается применение ручных светильников с аккумуляторами. Освещённость рабочей зоны должна быть не ниже 30 лк согласно СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

5.4 Повышенное содержание вредных веществ в воздухе

В ходе производственных операций рабочие могут подвергаться воздействию вредных газов, источником которых являются нарушения герметичности фланцевых соединений, вследствие превышения максимально допустимого давления, отказы или выходы из строя регулирующих и предохранительных клапанов. Пары газа при определенном содержании их в воздухе могут вызвать отравления и заболевания. При постоянном вдыхании природного газа поражается центральная нервная система, снижается артериальное давление, становятся реже пульс и дыхание, понижается температура тела.

Предельно допустимые концентрации вещества согласно ГОСТ 12.1.00588: азота диоксид – 2 мг/м³, бензол – 10 мг/м³, углерода оксид – 20 мг/м³, H₂S – 0,1 мг/м³.

Коллективные средства защиты - устройства, препятствующие появлению человека в опасной зоне. Индивидуальной защиты: очки, защитные маски, противогазы.

5.5 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Опасный производственный фактор - фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной травмы, острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

Опасность поражения электрическим током

При обслуживании агрегатов для перекачки природного газа существует опасность поражения электрическим током.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током при пробое изоляции, защиты от опасного искрения, статического электричества и опасных воздействий молнии на ГПА выполняется

комплексное защитное устройство, состоящее из нулевых защитных проводников, уравнивающих проводников и заземляющих проводников, заземлителей согласно ГОСТ Р 50571.3-94.

Средства защиты от поражения электрическим током:

1) Перчатки (Защитные перчатки должны быть широкими и не менее 35 см в длину, чтобы их было удобно надевать поверх шерстяных перчаток, а сами они покрывали кисть и часть руки.).

2) Обувь (Галоши и ботинки предназначены для защиты от земного и шагового напряжений.).

3) Подставки (Подставки делают из стекла, фарфора или металла, металл нельзя использовать для соединения, минимальный размер — 0,75×0,75 м.).

4) Указатели (Для проверки техники с рабочим напряжением менее 500 Вольт.).

5) Щиты (Щиты для временных ограждений электрических установок делают из промасленного дерева или текстолита.).

Пожароопасность

К опасным факторам пожара, воздействующим на персонал компрессорной станции, относятся: пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму.

Причиной пожара может стать утечка газа, масла, дизельного топлива. Утечка может произойти при нарушении герметичности запорной или предохранительной арматуры. Помимо этого, при содержании метана в пределах от 4 до 16% образуется взрывоопасная концентрация.

Для предотвращения и борьбы с самовоспламенением и горением природного газа на компрессорной станции используются система контроля загазованности и система пенного пожаротушения, состоящая из резервуара с

водой, насосной станции, сети пенных трубопроводов. Обязательно наличие огнетушителей на территории компрессорной станции.

Опасность механических повреждений

Источниками механических опасностей являются движущиеся части агрегатов и механизированные устройства.

Согласно ГОСТ 12.2.009-80 опасной скоростью перемещения подвижных частей оборудования, способных травмировать ударом, является скорость более 0,15 м/с.

Движущиеся части оборудования представляют опасность травмирования рабочего в виде ушибов, порезов, переломов и др., которые могут привести к потере трудоспособности. Опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека.

В соответствии с ГОСТ 12.2.003-74 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» движущие части производственного оборудования, если они являются источником опасности, должны быть ограждены, за исключением частей, ограждение которых не допускается функциональным их назначением. Одним из важных условий безопасного труда является недоступность подвижных частей оборудования, для рабочего, в ходе технологического процесса. Для этого проводят следующие мероприятия:

1. Устанавливают защитные устройства (местные ограждения, крышки, кожуха и др.).
2. На наружной стороне ограждений наносят предупреждающий знак опасности по ГОСТ 12.4.026-76.
3. Устанавливают предохранительные и блокирующие устройства.

Сосуды и аппараты под высоким давлением

Особенность эксплуатации компрессорных станций – высокое давление перекачиваемой среды (природного газа). Рабочее давление газа составляет

5,5 МПа, а оборудование компрессорной станции способно выдержать давление до 7,35 МПа. Для измерения давления на компрессорной станции установлены манометры, снабженные трёхходовым краном.

Для защиты сосудов следует применять клапаны и их вспомогательные устройства, соответствующие требованиям ГОСТ 12.2.063 . Защите предохранительными клапанами подлежат сосуды, в которых возможно превышение рабочего давления от питающего источника. В случае с компрессорной станцией таким оборудованием являются ГПА. На ГПА-6 «Урал» установлена комплексная система автоматического управления, обеспечивающая автоматическую работу агрегата и компрессорного цеха и предупреждающая машиниста о превышении давления на оборудовании.

5.6 Экологическая безопасность

5.6.1 Защита атмосферы

Основным источником загрязняющих атмосферу веществ при работе компрессорной станции являются ГПА. Поступление загрязняющих веществ в атмосферу происходит при пуске, в период эксплуатации и при останове ГПА.

При пуске ГПА имеет место кратковременный залповый выброс природного газа в атмосферу из свечи турбодетандера (пусковой газ, используемый на работу турбодетандера и продувку контура нагнетателя). Основными организованными источниками выбросов при работе ГПА являются выхлопные трубы, через которые в атмосферу поступают продукты сгорания природного газа, сжигаемого в камере сгорания ГТУ. К ним относятся оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, метан и другие вещества.

При останове ГПА производится так называемая разгрузка «малого контура», т.е. выброс в атмосферу газа из участков газопроводов,

примыкающих к нагнетателю, через свечу «малого контура» (свеча стравливания газа из контура нагнетателя). Через свечу пуска и стравливания газ в атмосферу выбрасывается эпизодически, в зависимости от режима работы объектов компрессорного цеха и времени работы агрегата.

Оксид азота (NO) – бесцветный газ, при обычной температуре соединяется с кислородом с образованием диоксида азота (NO₂), очень ядовит. Диоксид азота (NO₂) – бурый ядовитый газ тяжелее воздуха, легко сжижается.

При комнатной температуре находится в смеси с бесцветным N₂O₄.

Оксид и диоксид азота относятся к веществам с остронаправленным механизмом действия, которые требуют автоматического контроля за их содержанием в воздухе. Имеют 3 класс опасности, ПДК диоксида азота составляет 2 мг/м³, ПДК оксида азота – 5 мг/м³. [23] При длительном воздействии оксидов азота в концентрациях, превышающих норму, люди заболевают хроническим бронхитом, воспалением слизистой желудочнокишечного тракта, страдают сердечной слабостью, а также нервными расстройствами.

Монооксид углерода (угарный газ) (CO)) – бесцветный, чрезвычайно токсичный газ без вкуса и запаха, легче воздуха. Относится к 4 классу опасности, ПДК составляет 20 мг/м³. Угарный газ вызывает отравление и даже смерть. Признаки отравления: головокружение, шум в ушах, одышка, учащённое сердцебиение, мерцание перед глазами.

Метан – бесцветный газ без вкуса и запаха. Малорастворимый в воде, при высокой концентрации в воздухе обладает слабым наркотическим действием. При хроническом воздействии малых концентраций влияет на центральную нервную систему. ПДК составляет 7000 мг/м³, класс опасности 4.

Оборудование компрессорной станции имеет улучшенные экологические показатели, низкий уровень выбросов. Для предотвращения утечек газа компрессоры оснащены сухими газодинамическими

уплотнениями. Для снижения концентрации вредных веществ выхлопных газов необходимо дополнительное очищение топливного газа от механических примесей.

5.6.2 Защита гидросферы

Сточные воды в зависимости от степени загрязненности их можно разделить на три категории: нормативно-чистые; нормативно-очищенные и загрязненные. Нормативно-чистые воды — это стоки, отведение которых в водные объекты можно производить без очистки; такой сброс не приводит к нарушению качества воды в контролируемом створе водоема или пункте водопользования. Нормативно-очищенные воды — это стоки, которые прошли очистку на соответствующих сооружениях и отведение которых после этого не приводит к нарушению норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования, т. е. содержание загрязняющих веществ в них не должно превышать утвержденные предельно допустимые сбросы (ПДС). Загрязненные сточные воды — это стоки, сброшенные в поверхностные водные объекты совсем без очистки или после недостаточной очистки; загрязняющие вещества в такой воде содержатся в количествах, превышающих установленные нормативы ПДС.

Основными загрязнителями сточных вод на КС являются:

- соли;
- нефтепродукты;
- метанол;
- диэтиленгликоль (ДЭГ);
- тяжелые металлы;
- хозяйственно-бытовые отходы.

Высокое содержание в сточной воде нефтепродуктов связано с наличием на компрессорной станции большого парка автотранспорта. Нефть и нефтепродукты оказывают вредное воздействие на многие живые организмы

и пагубно влияют на все звенья биологической цепи. Килограмм нефти может разлиться тонкой пленкой на площади до 1 га и погубить более 100 млн личинок рыб, многие виды планктона.

Метанол (или метиловый спирт CH_3OH) широко используется в газовой промышленности как реагент для борьбы с гидратообразованием. Это бесцветная, легкоподвижная жидкость с запахом, аналогичным запаху этилового спирта, наиболее токсичное соединение среди всех спиртов, относится к веществам 3 класса опасности (умеренно опасное вещество). Он медленно окисляется в организме человека, образуя различные ядовитые вещества. Токсическое действие метанола связано с угнетением центральной нервной системы, поражением сетчатки глаза и дистрофией зрительного нерва.

Диэтиленгликоль (ДЭТ, двуэтиловый спирт) используется для осушки природного газа перед его транспортировкой по газопроводу. ДЭТ является прозрачной белой вязкой жидкостью, гигроскопичен, обладает сладковатым вкусом, растворим в воде, относится к веществам 3 класса опасности. Диэтиленгликоль не представляет серьезной опасности в случае кратковременного вдыхания паров при комнатной температуре или контакта с кожей. Однако длительное вдыхание вызывает раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, наркотический эффект.

Тяжелые металлы, попадающие в водоемы (ртуть, свинец, цинк, медь, кадмий), активно накапливаются в пищевых цепях, оказывают токсическое действие на живые организмы. Кроме этого, ионы тяжелых металлов оседают на стенках сосудов организма, засоряют почечные каналы, каналы печени, снижая фильтрационную способность этих органов и способствуя накоплению токсинов и продуктов жизнедеятельности клеток нашего организма, т. е. самоотравлению организма.

Для предотвращения загрязнения водных объектов нефтепродуктами, уменьшения пожарной опасности и улучшения условий труда рекомендуются

установки герметичного налива и слива, стационарные шланговые устройства, системы автоматизации процессов сливно-наливных операций.

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

5.6.3 Защита литосферы

Воздействие компрессорной станции на литосферу можно свести к следующим основным направлениям:

- загрязнению почвы нефтепродуктами (различными видами топлива, смазочными материалами, продуктами очистки газа и т.д.);
- накоплению в почве тяжелых металлов (свинца, ртути, цинка и др.);
- загрязнению промышленными и бытовыми отходами газотранспортного предприятия;
- воздействию кислотных осадков, образующихся в атмосфере.

Загрязнение почвы углеводородными смесями может быть связано с осуществлением таких технологических операций, как очистка и осушка газа, очистка полости газопровода в ходе проведения профилактических и капитальных ремонтов, удаление продуктов очистки газа (шлама и конденсата) из пылеуловителей и фильтров-сепараторов. Также попадание нефтепродуктов в почву возможно при проливах топлива и масел во время заполнения резервуаров хранения нефтепродуктов, при заправке автотранспортных средств, при нарушении герметичности емкостей и маслопроводов.

Тяжелые металлы не являются специфическими загрязнителями для газовой отрасли. Тем не менее исследование снегового покрова и верхнего слоя почвы вблизи КС показывает наличие там достаточно высоких концентраций ртути, свинца, марганца, никеля. Источниками поступления

тяжелых металлов в окружающую среду могут служить котельные, участки сварки и резки металла, аккумуляторные отделения, автотранспортные средства, места складирования и хранения отходов.

Мероприятия по охране почв можно разделить на следующие основные направления:

- снижение количества изымаемых из оборота земель;
- предупреждение загрязнения почв токсичными веществами и отходами производства;
- очистка загрязненных земель;
- рекультивация почв.

5.7 Меры безопасности в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Основными причинами возникновения аварийных ситуаций на компрессорных станциях можно выделить следующие:

- воспламенение масла в компрессорном цехе при разрывах маслопроводов;
- разрушение обвязочных газопроводов компрессорного цеха;
- попадание посторонних предметов в полость нагнетателя;
- поступление воспламеняющихся веществ через неплотную в запорно-регулирующей арматуре.

Наиболее типичной аварией на компрессорной станции является разгерметизация обвязочных газопроводов компрессорного цеха.

Большинство аварий, связанных с разгерметизации трубопроводов на КС, происходит в результате повышенной вибрации.

Для описания мероприятий, направленных на ликвидацию данной чрезвычайной ситуации, составляется план оперативного реагирования. Он должен содержать:

- распределение ответственностей по управлению различными видами рисков А и ЧС в процессе реализации проекта КС;
- мероприятия по адаптации при необходимости первоначальных оценок рисков чрезвычайных ситуаций и, соответственно, управленческих, организационных и технологических решений;
- мероприятия по реализации оперативного плана действий в чрезвычайных ситуациях;
- мероприятия по использованию резервов для предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Для предупреждения и недопущения данной чрезвычайной ситуации на оборудовании ГПА проводится постоянный виброконтроль с оценкой уровней вибрации трубопроводов. Уровень А является максимально допустимым уровнем при приёмочных испытаниях КС и характеризует технически исправную трубопроводную систему. Уровень вибрации с оценкой В является максимально допустимым уровнем при нормально-режимной эксплуатации КС, повышение этого уровня означает развитие дефекта в механической системе. При превышении уровня С необходимо проведение диагностических работ с целью разработки рекомендаций по реконструкции трубопроводной системы и ее реализации. Достижение уровня с оценкой D характеризует аварийное состояние трубопроводов и их опорных систем. Превышение этого уровня может повлечь за собой малоцикловые разрушения в элементах трубопроводной системы.

5.8 Расчет требуемого воздухообмена в машинном зале

Требуемый воздухообмен определяется по формуле:

$$L = \frac{1000G}{x_B - x_H} \quad (4)$$

где L , м³/ч – требуемый воздухообмен;

G , г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения;

x_B , мг/м³ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88;

x_H , мг/м³ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по СанПиН 1.2.3685-21.

Герметичность оборудования со временем уменьшается. Истечение газа через неплотности можно рассматривать как истечение через небольшие отверстия. Количество вредных веществ можно определить по следующей формуле:

$$G = kcv \sqrt{\frac{M}{T}} \quad (5)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования ($k = 1 \div 2$); c – коэффициент, учитывающий влияние давления газа в аппарате; v – внутренний объем аппарата и трубопроводов, находящихся под давлением, м³; M – молекулярный вес газов, находящихся в оборудовании; T – абсолютная температура газов в оборудовании, К.

Таблица 18 – Значения коэффициента, учитывающего влияние давления газа в оборудовании

Давление p , атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

В данном случае система заполнена пирогазом (многокомпонентный газ, основные компоненты: этилен, метан, пропилен и др.). Внутренний объем оборудования $v_0 = 17 \text{ м}^3$, внутренний объем трубопроводов $v_{\text{тр}} = 15 \text{ м}^3$. Рабочее давление в оборудовании $p_0 = 3,6 \text{ МПа}$, давление в трубопроводах $p_{\text{тр}} = 1 \text{ МПа}$. Абсолютная температура газа в оборудовании в среднем $T_0 = 371,15 \text{ К}$, в трубопроводах температура газа равна ориентировочно $T_{\text{тр}} = 341,15 \text{ К}$.

Определим величины утечек пирогаза из оборудования и трубопроводов. Принимаем $k = 1,5$, $c_0 = 0,236$, $c_{\text{тр}} = 0,184$, молярная масса пирогаза $M = 26 \text{ г/моль}$. Тогда утечка газа из оборудования составит:

$$G_0 = kc_0v_0 \sqrt{\frac{M}{T_0}} = 1,5 \cdot 0,236 \cdot 17 \cdot \sqrt{\frac{26}{371,15}} = 1590 \frac{\text{г}}{\text{ч}} \quad (6)$$

Утечка газа из трубопроводов составит:

$$G_{\text{тр}} = kc_{\text{тр}}v_{\text{тр}} \sqrt{\frac{M}{T_{\text{тр}}}} = 1,5 \cdot 0,184 \cdot 17 \cdot \sqrt{\frac{26}{341,15}} = 1140 \frac{\text{г}}{\text{ч}} \quad (7)$$

Суммарные утечки газа из оборудования и трубопроводов составят:

$$G = G_0 + G_{\text{тр}} = 1590 + 1140 = 2730 \frac{\text{г}}{\text{ч}} \quad (8)$$

Согласно таблице 1 ГОСТ 12.1.005-88 ПДК этилена в воздухе рабочей зоны составляет $x_B = 100 \text{ мг/м}^3$, а согласно СанПиН 1.2.3685-21 ПДК этилена в воздухе населенных мест не должна превышать $x_H = 3 \text{ мг/м}^3$. Тогда потребный воздухообмен составит:

$$L = \frac{1000G}{x_B - x_H} = \frac{1000 \cdot 2730}{100 - 3} = 28144 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (9)$$

Рассчитаем кратность воздухообмена в помещении с габаритами $65 \times 20 \times 12$ метров (Д \times Ш \times В):

$$n = \frac{L}{V} = \frac{28144}{15600} = 1,8 \text{ раза в час} \quad (10)$$

Это означает, что при данных габаритах помещения потребуется полное обновление воздуха рабочей зоны почти два раза в час.

Вывод по разделу

В главе социальная ответственность были выявлены, как вредные, так и опасные факторы. Произведен анализ способов борьбы с ними, рассмотрено потенциальное воздействие на окружающую среду: гидросферу, литосферу и атмосферу.

Производственная и экологическая безопасность являются одними из приоритетных направлений деятельности АО «Газпром добыча Томск». В компании приняты и функционируют Единая система управления производственной безопасностью и Экологическая политика. Это говорит о социальной ответственности АО «Газпром добыча Томск» перед работниками компании и окружающей средой.

Практическая значимость полученных результатов важна для организации безопасных производственных условий. Производственная работа в машинном зале дожимной компрессорной станции организована в соответствии со всеми требованиями и нормами и не нуждается в улучшении и совершенствовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной модернизации был проведен анализ, как работают компрессорные станции, изучили информацию о проточной части центробежного компрессора. Были проведены расчеты расхода газа в рабочем колесе, добавлены новые лопасти под углом, рассчитан расход газа и его производительность.

Исходя из расчетов, полученных входе сравнения двух видов лопастей по заданным одинаковым параметрам на входе и выходе из ротора. Предложенная для модернизации рабочее колесо дает более высокий массовый расход из-за чего скорость потока газа увеличивается, но при этом уменьшается давление и температура газа в компрессоре. Благодаря этим факторам и объем газа увеличивается.

Также экспериментальная семиступенчатая модель показала значительное увеличение массового расхода. Это означает что объем увеличивается, но имеют значительно малую степень сжатия газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков М. М., Михеев А. Л., Конев К. А. Справочник работника газовой промышленности //М.: Недра. – 1989. – Т. 287.
2. Хисамеев И. Г. Проектирование и эксплуатация промышленных центробежных компрессоров. – 2012.
3. Чумаков Ю. А. Газодинамический расчет центробежных компрессоров транспортных газотурбинных и комбинированных двигателей. – 2009.
4. Седов В. В., Сальников С. Ю., Щуровский В. А. Современная газокомпрессорная техника-результат совместной деятельности производителей и потребителей //Компрессорная техника и пневматика. – 2014. – №. 8. – С. 2-2.
5. Ден Г. Н. Механика потока в центробежных компрессорах. – Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1973.
6. Шаммазов А. М. и др. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций. – Открытое акционерное общество "Издательство "Недра", 2003.
7. Дятлов, В. А. Оборудование, эксплуатация и ремонт и ремонт магистральных газопроводов : учеб. Пособие / В. А. Дятлов, В. М. Михайлов, В. И. Яковлев. – Москва : Недра, 1990.
8. Аберков, А. С. Монтаж оборудования компрессорных станций магистральных газопроводов : справочное пособие / А. С. Аберков, Л. В. Ильин. – Москва : Недра, 1989. – 156 с.
9. Ведерников М. И. Компрессорные и насосные установки химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Высшая школа. 1987. - 247 с.
10. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б. Центробежные компрессоры, Л. Машиностроение, 1982.
11. Шнепп В. Б. Конструкция и расчет центробежных компрессорных машин. – М. : Машиностроение, 1995.

- 12.ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 13.ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
- 14.СНиП 4156 – 86 Санитарные правила для
нефтяной промышленности
- 15.СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение»
- 16.ГОСТ 12.1.005-88 Санитарно-гигиенические требования к воздуху
рабочей зоны.
- 17.ГОСТ Р. 50571.3-94 Электроустановки зданий. Требования по
обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
- 18.ГОСТ С. 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. 19.
ГОСТ С. 12.2.003-74 «Оборудование производственное. Общие
требования безопасности»
- 19.ГОСТ 12.2.063-2015 Арматура трубопроводная. Общие требования
безопасности.
- 20.ГОСТ 12.2.085-2002 Сосуды, работающие под давлением. Клапаны
предохранительные.
- 21.Островская А. В. Экологическая безопасность газокomppressorных
станций: Часть 2. Воздействие системы транспорта газа на окружающую
среду: учебное пособие. – 2017.
- 22.ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных
веществ в воздухе рабочей зоны.
- 23.ГОСТ 12.1.018-93. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие
требования. Нормы вибрации трубопроводов технологического
газа компрессорных станций с центробежными нагнетателями.

Приложение А

Modernization of the flow part of a centrifugal compressor

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ16	Жумадилов Жазылбек Ержанович		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Никульчиков А.В.	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы: ШБИП, ОИЯ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Швагрукова Екатерина Васильевна	к.ф.н.		

Compressor NC-6DKS

The NC-6DKS centrifugal compressor is created for the purpose of compressing natural gas to the required pressure for its transportation via the main gas pipeline, as an essential part of gas pumping units (GPU). Fans with low pressure can cause a rise in gas consumption up to 10 kJ/kg.cm. On the other hand, high-pressure blowers are equipped with gas cooling systems that help in compression and extraction of gas. These blowers are widely used in automotive engines and play a crucial role in the contemporary economy.

For example, joint ventures are used to transport extracted hydrocarbon gas through a pipeline. Centrifugal Compressor have gained their popularity in many areas, where they are operated for chemical, mining, refrigeration facilities and installation. Currently, stationary centrifugal compressors are capable of generating high pressure and operating at various values of volumetric power, including low power. In some cases, some compressors with high performance can compete with piston engines for high pressure to compress gaseous substances.

Compressors are essential in gas transportation through pipelines, and customers consider several components when choosing one. These include volume power (Q), final or differential pressure (P_K or ΔP), initial pressure (P_h), inlet temperature (T_n), power consumption (N), and gas properties. The compressor's rotational speed and gas characteristics at the intake pipe affect these parameters. Additionally, components with cooling devices are connected depending on the ambient temperature.

Compressor stations were created in the 1970s and 1980s with the anticipation that gas pressure in the reservoir would drop during initial field development. Since gas fields require pressure reduction for transportation, it becomes necessary to increase the pressure. Gas pumping units that are used for this purpose have low efficiency, which leads to problems with energy efficiency, ecology, and the correctness of field development. To solve this problem, it is necessary to create modernization and technical updates of booster compressor stations, taking into

account the technical peculiarity of the work. Moreover, this process must be timely and effective in order to achieve these goals.

The multistage centrifugal compressor is designed for gas compression and its continuous supply to the technological process. The compressor casing has flange connectors on both sides of the horizontal surface that are bolted together to eliminate depressurization. Diffusers are located in the compressor housing, as well as reciprocating devices. Also, there is a rotor in the housing, and impellers are fixed on it. The bearings are located in the housing, and the rotor rotates due to them.

The compressor is manufactured under the supervision of UHL. Placement categories 3.1 according to GOST 15150-69 for optimal operation of the machine in the working area should be the temperature of +5 to +45C°, when the unit is not in operation or not in working condition -60 to +45 C°.

The replaceable flow part is located inside the compressor housing. In the standard set of the NC6DKS compressor kit, there are several types of flow parts, namely, 2-stage, 5-stage and 7-stage with their proper names. We are also interested in the 7-speed SPCH 31/100-2.7, where seven impellers with an aerodynamic node are located.

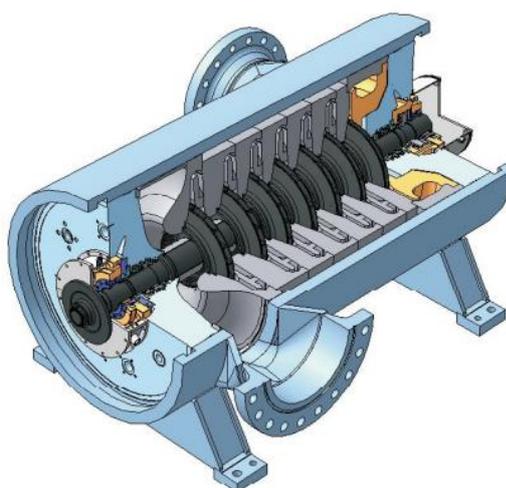


Figure 1 - NC-6DKS "Ural" SPCH31/100-2,7 7-stage

The NC-6DKS "Ural" compressor is designed to compress natural gas to the required parameters and transport gas through main pipelines as a part of the GPU.

The compressor is a vessel that consists of a casing, where there are inlet and outlet pipes located on two sides horizontally. On both sides of the casing, they are tightly closed with flanged suction and recoil plugs. The plugs have holes for mounting the bearing, also for supplying oil to the oil system, as well as a cover for connecting the flanges of pipelines.

Rubber sealing rings located on the lid in the corresponding groove, as well as dry gas dynamic seals (GDS) intended for sealing in the cavity of the replaceable flow part (RFP). To prevent natural gas leaks at the joints, the NC-6DKS centrifugal compressor is equipped with labyrinth seals. These seals ensure that there is no leakage between the steps during the compression process. When selecting a compressor, customers take into consideration various components such as power consumption, gas properties, volume power, inlet temperature, initial pressure, and final or differential pressure. Compressor stations were developed in the 1970s and 1980s to address the need for increased gas pressure during transportation and to anticipate the drop in pressure during initial field development. Low-pressure fans can increase gas consumption, whereas high-pressure blowers with cooling systems are commonly used in automotive engines.

Changing the flow part of the compressor

The nodes of the flow part of the centrifugal compressor are:

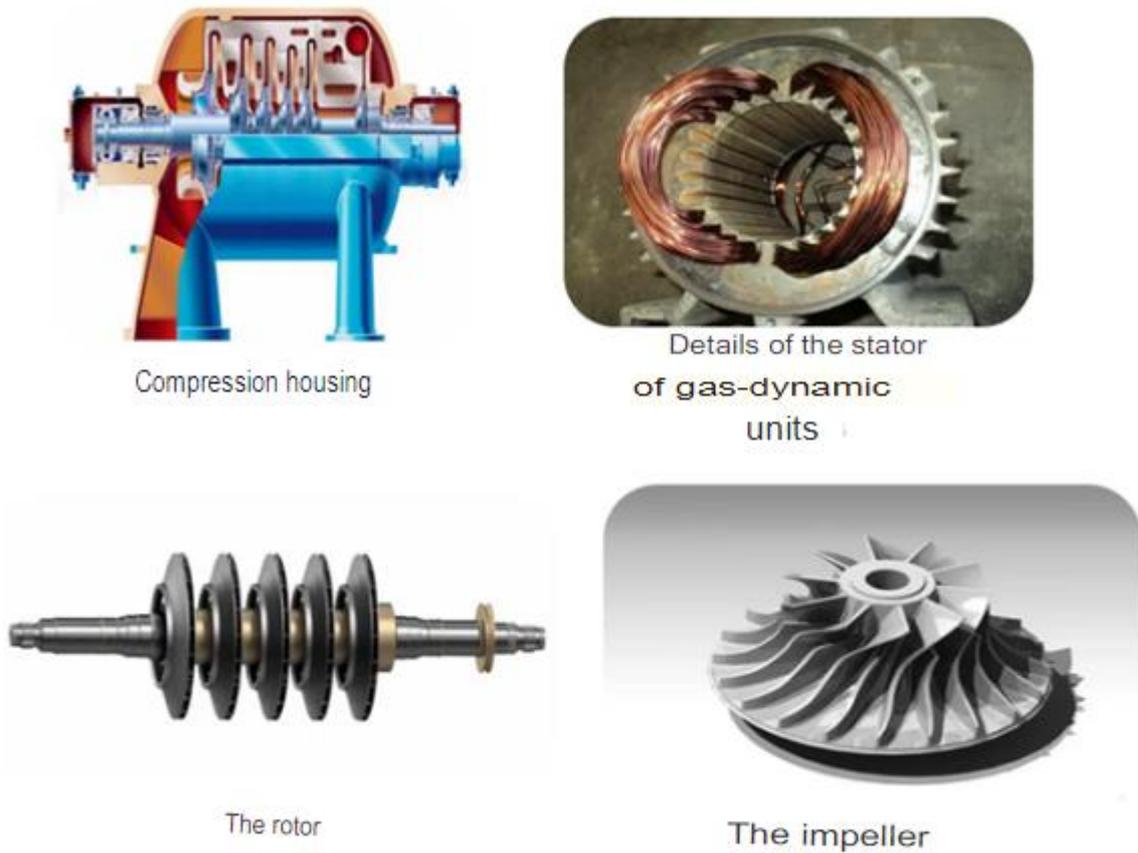


Figure 2 – Flow part of the centrifugal compressor

Compression housing

The compression housing is the primary component of the flow section of the compressor. Its functions include the following ones:

- Forming or holding securely the components of the compressor
- Centring the rotor through the use of bearings.
- In case of vibration, it relieves loads on the foundation base.

By performing these crucial functions, the compression housing ensures that the compressor operates smoothly and efficiently. It is a vital part of the overall design and plays a key role in ensuring that the NC-6DKS compressor conducts high-quality performance and reliability.

The housing is compressed using a horizontal and vertical connector.

The compressor housing consists of three parts: the first part produces casting with RFP parts, the second part produces casting with external snails and a suction chamber, and the third part produces casting in the form of a cylinder with a convex top hat and suction and discharge pipes. The gas-dynamic stator assemblies include stationary components such as inlet and outlet pipes, rotary arc, straightening devices, and diffusers. The gas dynamic unit increases the pressure and creates a gas jet behind the impellers, which is transferred to the next stage and enters the pipeline together with the rotor to ensure gas supply. Multi-stage compressors change the direction of the gas jet from one end to the center, increasing the compression efficiency.

To ensure the efficient operation of the compressor, the components must be selected correctly, taking into account their design features and operating conditions. In addition, wear-prone parts must be replaced and repaired in a timely manner to avoid reducing the efficiency and reliability of the compressor.

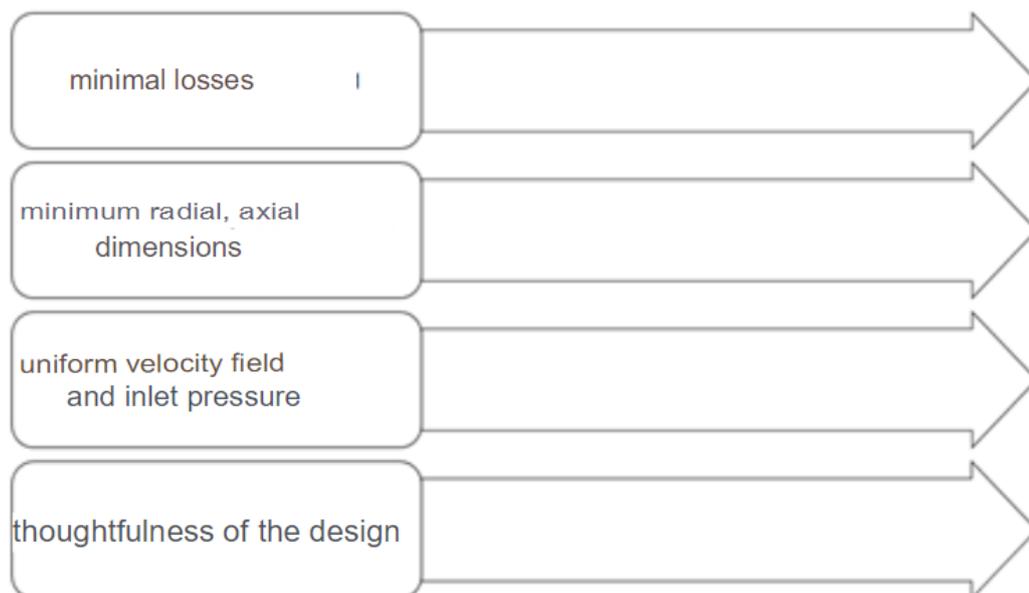


Figure 3 – Basic requirements for compressors

These conditions cannot be fulfilled at once. For this purpose, two types of centrifugal compressors with input elements were designed (see Fig. 4,5)

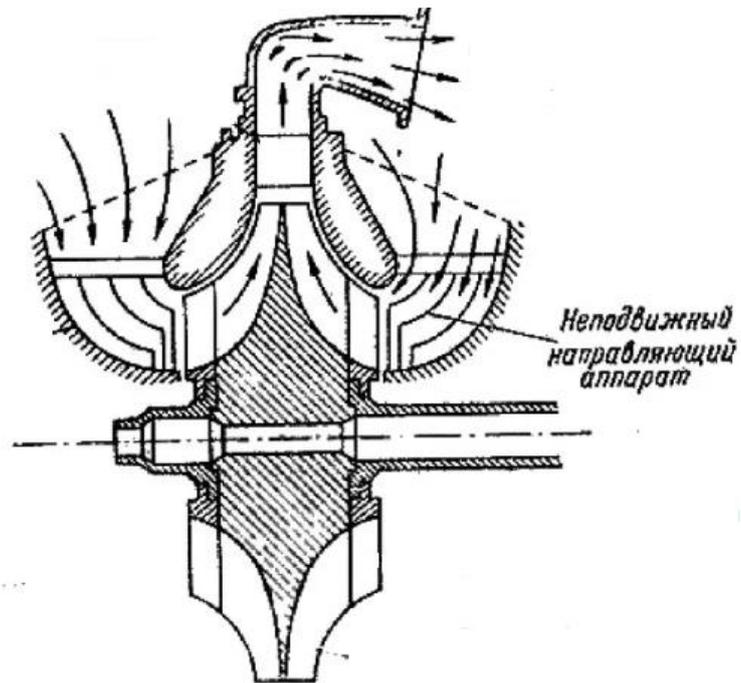


Figure 4 - Stationary input device

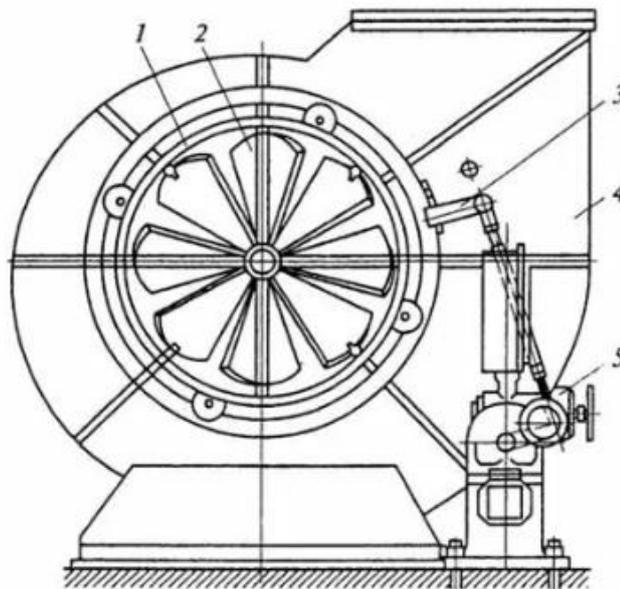


Figure 5 - devices, directed rotationally 1 – the casing of the guide device; 2 – rotary blades; 3 – drive; 4 – snail; 5 – remote control column

Fixed inlet elements are designed to ensure that gas is constantly coming from one inlet.

The inlet is used in compressors that allow installation on the protrusions of the impeller and gas supply along the axis (Fig. 6).

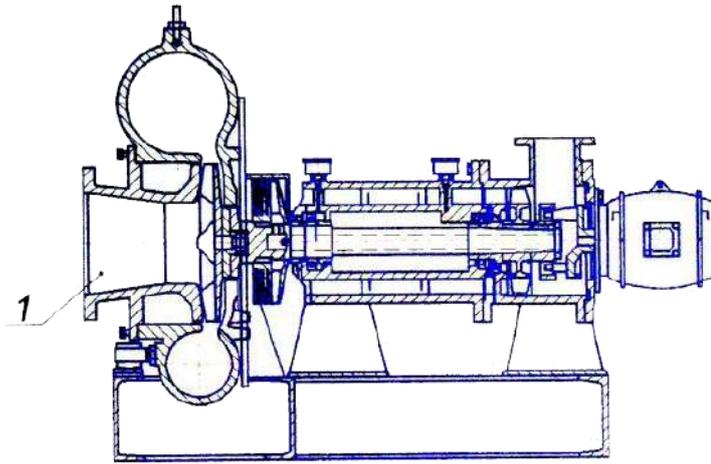


Figure 6 - Single-stage centrifugal compressor

1 - entrance hole

Compressors have a large number of stages, the first stage of the centrifugal compressor wheel stands between the bearing, gas passes through the suction chambers, which create a radial flow directed in the axial direction.

There are three types of suction chambers: a spiral channel; a round adapter; a branch pipe.

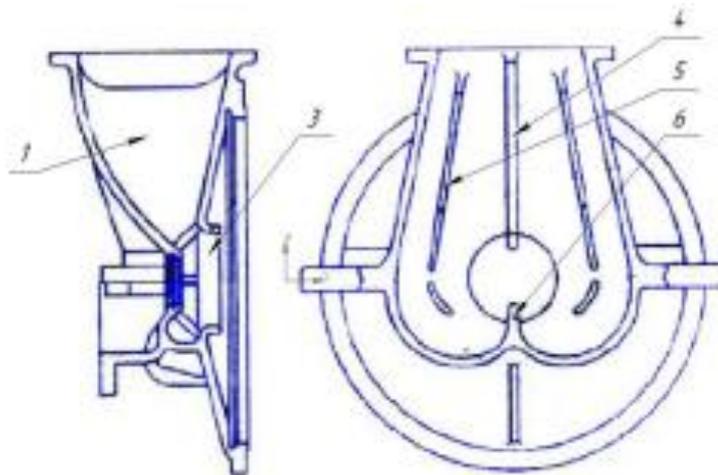


Figure 7 – Compressor suction chamber: 1 – a branch pipe; 2 – a spiral channel; 3

– a round adapter; 4 – a dividing rib; 5 – a side rib; 6 – a tongue

knee - shaped	axisymmetric
symmetrical with respect to the surface passing through the axis	pipes with a curved axis of symmetry in the radial plane;
pipes with a curved axis of symmetry in the radial plane;	pipes with tangential supply or spiral inlet pipes.

Figure - Types of inlet pipes

Pipes with several suction streams are also used, for example, a compressor with a two-way suction flow (Fig. 8).

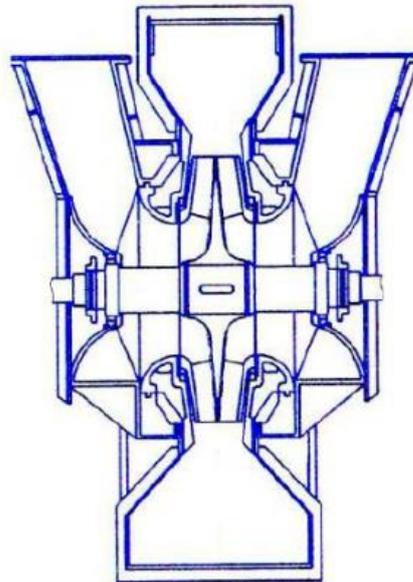


Figure 8 - Double suction compressor

To minimize turbulence within the compressor, a separating rib and tongue are used. Due to limited space in the intermediate sections of the compressor inlet chambers, it can be challenging to position parts along the axis. Additionally, the

end walls of several chambers are situated along the radius, making it difficult to achieve an aerodynamic shape. As a result, providing an optimal aerodynamic shape can be quite difficult.

In some cases, it may be useful to change the flow direction before entering the supercharger or turbocharger wheel to increase its efficiency. To solve the problem of small space, it is better to use a replaceable turbine setting (RTS). With the help of them, it is fashionable to change the direction of the gas flow. In such devices, the high speed of wheel rotation can lead to a decrease in a relative flow. The other methods, such as the use of special blade profiles, the use of vortex chamber and turbulent blade technologies, as well as the optimization of compressor geometry to reduce pressure losses and increase efficiency, can also be used to improve the efficiency of compressors. However, when choosing a method to increase the efficiency of compressors, it is necessary to take into account the design features and operating conditions of each individual device in order to achieve the best results.

Thus, the use of gascompressor unit (GCU) can reduce energy losses and improve the efficiency of compressors and turbochargers. (Fig. 10).

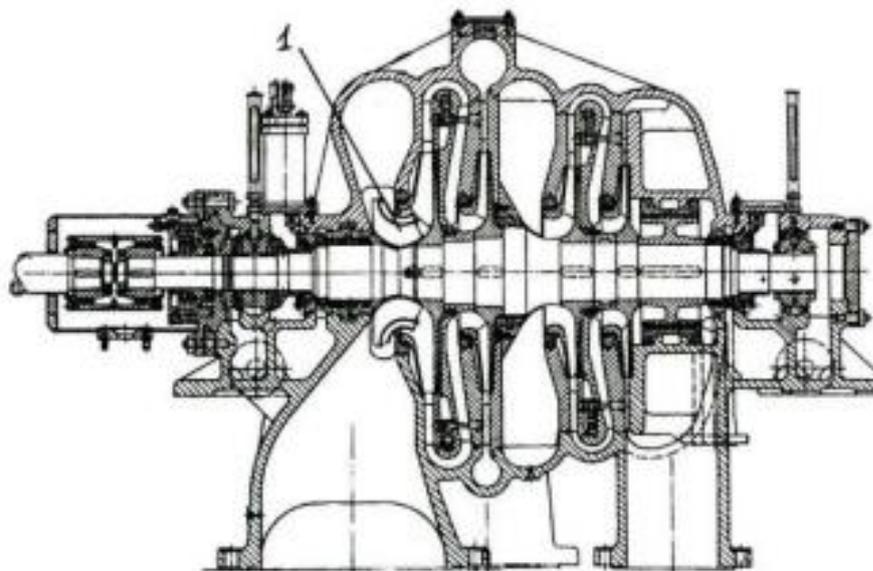


Figure 10 – Refrigeration centrifugal compressor: 1 - input guide device

The same devices with non-moving guide vanes can be installed not only in front of the compressor or turbocharger wheel, but also after the reverse guide

devices that precede compressors with several degrees of rotary centrifugal compressor wheels. Due to this, it is possible to increase the performance of the compressor.

To modify the gas-dynamic properties of the flow part of a gas compressor, it is possible to use inlet control devices with curved blades. Such mechanisms are capable of changing the swirl of the flow in front of the rotor, which can lead to an increase in the efficiency of the compressor. Using a variable guide valves with rotary blades, it is possible to change the swirl of the flow in front of the rotor both in the direction of rotation of the rotor and in the opposite direction. This allows you to achieve the desired gas dynamic characteristics and increase the efficiency of the compressor. However, as in previous cases, the choice of a way to improve the operation of the compressor with the help of gascompressor unit depends on its design features and operating conditions.

Stationary centrifugal compressors are equipped with inlet regulating devices, which allow efficient control of the gas compression process. In order to turn kinetic energy into potential energy that is located in the impeller, diffusers are used.

To improve the efficiency of centrifugal compressors, various types of diffusers are used, including blade-less, blade-type and channel diffusers. These diffusers can be used in both intermediate and final stages of the compressor. There is a bladeless circular area in the impeller membranes, due to it, it is possible to smooth out the remnants from the wheel blades and reduce the speed. However, the bladeless diffuser has large radial dimensions, but it is not possible to reduce the gas flow rate at the outlet of the membrane of the indicator that is needed in the adjacent parts of the step, which entails a loss of efficiency. Thus, it is necessary to choose the optimal solution to improve the efficiency of compressors, depending on the design features and operating conditions, as well as to apply modern technologies and materials to increase their reliability and efficiency. In addition, it is important to timely maintain and regularly perform technical inspection of gas compressors, as well as to use various types of inlet control devices to regulate gas flow and pressure in the system.

For compressors operating at high pressure, as well as when working with gases, the most effective option is to use a Bladeless Diffuser. Also, this type of diffuser is used in situations, where changes in the characteristics of the central heating system are necessary.

Scapular diffusor are used in most current compressors. The installation of blades of a smaller radius can significantly reduce the flow, but, at the same time, if we make improvements to the RTS by reducing costs in the following details, the efficiency of the stage will give us good performance. But while using this, we make it more noticeable to the variation of losses. Furthermore, the use of SD gratings in the centrifugal compressor can compromise its reliability as it induces dynamic stresses in the impeller because of the uneven flow in front of the diffuser blades. However, it is worth noting that the implementation of such grids can improve the stage efficiency by 2-4% compared to the blade-less diffuser in the design mode. Hence, it is crucial to weigh the benefits and drawbacks of using Scapular diffuser diffusers before incorporating them into the compressor design.

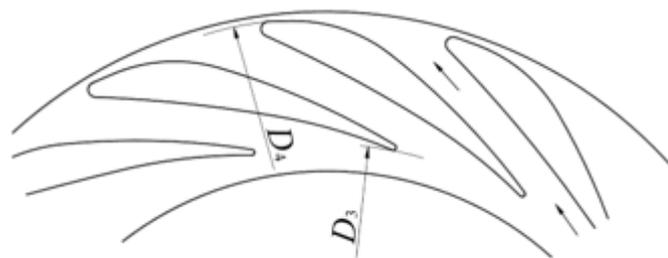


Figure 11 – Diagram of the blade diffuser

The use of channel diffusers can enhance the aerodynamics of the compressor and lead to more efficient conversion of the air flow's kinetic energy into pressure. Post-diffuser, a rotary elbow is installed to ensure smooth gas flow supply to the back-guiding device (for intermediate stages) or output device of the stage. The elbow changes the gas flow direction by 180° in the meridional plane and can be either annular or channel type, depending on the diffuser type used. This process ensures optimal compressor performance, balancing efficiency with reliability considerations.

Annularly rotatable segments are placed in the compressor after a bladeless membrane or a bladed diffuser at a non-main point. They also have a cylindrical shape, coated with coaxial sides.

Rotary segments work in another segment, supplying this area directly. For example, in compressors with "pumping" diffusers, at non-basic levels all gas passes through the diffuser, it has its own turning knee.

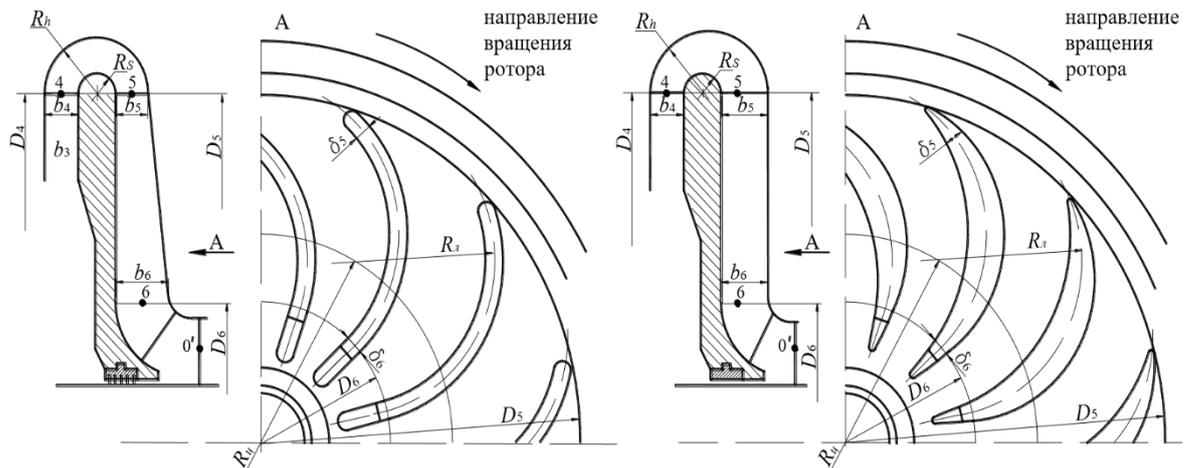


Figure 12 – Constructive relations of the back-guiding device and the rotary elbow:
a) back-guiding device is with blades of constant thickness; b) back-guiding device is with blades of variable thickness

Conclusion

Today, many experts in the field of resource extraction make disappointing forecasts. In the next hundred years, mankind can completely deplete oil and gas reserves. Scientists are looking for new ways to increase the productivity of equipment, in many areas this is applied to the gas industry, which we consider in this work as modernization. We analyzed how compressor stations work, studied the information about the flow part of the centrifugal compressor. Calculations of the gas flow in the impeller have been carried out, new blades have been added at an angle, the gas flow rate and its performance have been calculated.

References

1. Den G. N. Flow mechanics in centrifugal compressors. – Mechanical engineering. Leningrad. publishing house, 1973.
2. Dyatlov, V. A. Equipment, operation and repair and repair of main gas pipelines: studies. Stipend / V. A. Dyatlov, V. M. Mikhailov, V. I. Yakovlev. – Moscow : Nedra, 1990.
3. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5409> target='_blank' class='text-purple-1 underline'>Improving Centrifugal Compressor Performance by ...
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036031992302092X> target='_blank' class='text-purple-1 underline'>Review of recent developments in fuel cell centrifugal air ...
5. Sedov V. V., Salnikov C. U., Shuroskiy V. A. Modern gas compressor equipment is the result of joint activity of manufacturers and consumers //Compressor equipment and pneumatics – 2014. – №. 8. – C. 2.
6. Shammazov A.M. et al. Design and operation of pumping and compressor stations. – Publishing House of the Open Joint Stock Company "Nedra", 2003.