

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА АНТИПОМПАЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

УДК 621.646.4:622.279.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Байбулатова Марина Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Саруев Алексей Львович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Брусник Олег Владимирович	к.п.н.		

Результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК (У)-1, УК(У)-2, УК(У)-3, УК(У)-6, УК(У)-7, ОПК(У)-1, ОПК(У)-2)</i>
Р2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-4, УК(У)-5, УК(У)-8, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6)</i>
Р3	Осуществлять и корректировать технологические процессы при эксплуатации и обслуживании оборудования нефтегазовых объектов	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-1, ПК(У)-2, ПК(У)-3, ПК(У)-6, ПК(У)-7, ПК(У)-8, ПК(У)-10, ПК(У)-11)</i>
Р4	Выполнять работы по контролю промышленной безопасности при проведении технологических процессов нефтегазового производства и применять принципы рационального использования природных ресурсов а также защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-4, ПК(У)-5, ПК(У)-9 ПК(У)-12, ПК(У)-13, ПК(У)-14, ПК(У)-15)</i>
Р5	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ПК (У)-23, ПК (У)-24)</i>

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела	
Р6	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации в области нефтегазового дела	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК(У)-2, ОПК(У)-3, ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-25, ПК(У)-26)</i>
Р7	Применять диагностическое оборудование для проведения технического диагностирования объектов ЛЧМГ и ЛЧМН	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-4, ОПК(У)-5, ПК(У)-9, ПК(У)-14), требования профессионального стандарта 19.016 "Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов".</i>
Р8	Выявлять неисправности трубопроводной арматуры, камер пуска и приема внутритрубных устройств, другого оборудования, установленного на ЛЧМГ и ЛЧМН.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-5, ОПК(У)-6, ПК(У)-9, ПК(У)-11), требования профессионального стандарта 19.010 "Специалист по транспортировке по трубопроводам газа".</i>
Р9	Владеть методами и средствами для выполнения работ по техническому обслуживанию, ремонту, диагностическому обследованию оборудования, установок и систем НППС.	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ОПК(У)-6, ОПК(У)-7, ПК(У)-4, ПК(У)-7, ПК(У)-13), требования профессионального стандарта 19.055" Специалист по эксплуатации нефтепродуктоперекачивающей станции магистрального трубопровода нефти и нефтепродуктов".</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Брусник О.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7А	Байбулатовой Марине Александровне

Тема работы:

Технологические особенности процесса антипомпажного регулирования на компрессорных станциях	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	05.02.2021 №36-80/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Тексты и графические материалы отчетов и исследовательских работ, фондовая и научная литература, технологические регламенты, нормативные документы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Анализ нагрузок на конструкцию центробежного компрессора. Природа возникновения помпажного явления при эксплуатации центробежного компрессора. Влияние помпажа на работу компрессора. Сущность антипомпажного регулирования. Расчет запаса устойчивости работы компрессора. Описание регулирующего антипомпажного клапана DN700. Описание

	регулирующего антипомпажного клапана типа К. Описание регулирующего антипомпажного клапана типа RZD. Сравнительная характеристика основных параметров антипомпажных клапанов
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Доцент, к.т.н. Саруев Алексей Львович
Расчет запаса устойчивости работы компрессора	Доцент, к.т.н. Саруев Алексей Львович
Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Доцент, к.т.н. Саруев Алексей Львович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н. Клемашева Елена Игоревна
Социальная ответственность	Старший преподаватель Фех Алина Ильдаровна

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

-

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.01.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Саруев Алексей Львович	к.т.н.		25.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Байбулатова Марина Александровна		25.01.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7А	Байбулатовой Марине Александровне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение школы (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 Нефтегазовое дело профиль: «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30 % премия 20 % надбавка 1,3 - районный коэффициент</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Общая система налогообложения. Страховые взносы – 30,2%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Описание потенциальных потребителей результатов исследования Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения SWOT-анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование бюджета научно – технического исследования (НТИ) Разработка графика проведения научного исследования.</i>
3. <i>Ресурсоэффективность</i>	<i>Определение интегрального показателя эффективности научного исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

*Матрица SWOT;
График проведения НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Байбулатова Марина Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2Б7А	Байбулатовой Марине Александровне

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	21.03.01 Нефтегазовое дело профиль: «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Тема ВКР:

«Технологические особенности процесса антипомпажного регулирования на компрессорных станциях»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования является центробежный компрессор.</p> <p>Модернизация системы компрессорной станции клапаном «Mokveld» для предотвращения помпажа.</p> <p>Рабочей зоной является дожимная компрессорная станция</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.08.2018) // Собрание законодательства РФ. – Глава 15, ст. 92. Сокращение продолжительности рабочего времени; – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.08.2018) // Собрание законодательства РФ. – Глава 19, ст. 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда; – «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ

	(ред. от 03.08.2018) // Собрание законодательства РФ. – Глава 21, ст. 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда; – «Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору» приказ от 12.03.2013 N 101 (ред. от 1.01.2017) // «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. К вредным факторам относятся: – шум и вибрация; – наличие электроустановок. 2. К опасным факторам относятся: – наличие вращающихся и грузоподъемных механизмов; – природный газ, как вещество, образующее в смеси с воздухом взрывоопасную смесь; природный газ, как удушающее вещество; – высокие температуры и давление рабочего тела, масла, газа при работе оборудования.
3. Экологическая безопасность:	– защита селитебной зоны (населения); – защита санитарной зоны.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– пожар; – разлив.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б7А	Байбулатова Марина Александровна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.03.01 Нефтегазовое дело
 Уровень образования Бакалавр
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения весенний семестр 2020 /2021 учебного года
 Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	21.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2021	Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	25
15.04.2021	Расчет запаса устойчивости работы компрессора	25
03.05.2021	Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	30
13.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
24.05.2021	Социальная ответственность.	10

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Саруев Алексей Львович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Брусник Олег Владимирович	к.п.н.		

Обозначения, определения и сокращения

ДКС – дожимная компрессорная станция;

ФС – фильтр-сепаратор;

АПК – антипомпажный клапан;

САУ – система автоматического управления;

ГПА – газоперекачивающий агрегат;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПСИ – приемо-сдаточные испытания;

ГДХ – газодинамические характеристики;

ГТУ – газотурбинная установка;

ТГ – топливный газ;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

УКПГ – установка комплексной подготовки газа;

ВХ – воздушный холодильник.

Помпаж – нестабильная работа компрессорной техники, вследствие чего возникают резкие скачки в давлении и колебания в объемах подачи рабочей среды — газовой или воздушной смеси;

Трим – составляющая часть антипомпажного регулирующего клапана (седло, сепаратор, поршень). Внутри трима движется поршень;

Обезразмеривание газодинамической характеристики – построение графической зависимости - безразмерной характеристики нагнетателя для определения внешних характеристик нагнетателя при различных условиях его работы;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях		
Разраб.		Байдулатова М.А.			Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Сарцев А.Л.				10	117
Консульт.					Обозначения, определения и сокращения		
Рук-ль ООП		Брисник О.В.					
					ТПУ гр. 2Б7А		

РЕФЕРАТ:

Выпускная квалификационная работа содержит 117 страниц текстового материала, 11 рисунков, 25 таблиц, 26 источников, 0 приложений.

Ключевые слова: помпаж, антипомпажный клапан, антипомпажное регулирование, компрессорная станция, центробежный компрессор.

Объект исследования является явление помпажа, возникающее при эксплуатации центробежных компрессоров, а также методы и способы его регулирования.

Цель исследования – анализ существующих методов и средств антипомпажного регулирования, поиск оптимальной конструкции регулирующего устройства для предупреждения возникновения помпажа.

В процессе исследования проведен анализ нагрузок, действующих на центробежный компрессор. Определены причины возникновения явления помпажа и проанализировано его влияние на работу оборудования. Представлена сущность антипомпажного регулирования. Проведен расчет и построение газодинамических характеристик центробежного нагнетателя НЦ-6ДКС с целью дальнейшего анализа уровня эффективности полученного решения.

В результате исследования найдено решение, предотвращающее возникновение помпажа на ранней стадии и позволяющее увеличить эффективность эксплуатации центробежных нагнетателей.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
					<i>Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях</i>			
Разраб.		<i>Байбулатова М.А.</i>			<i>Реферат</i>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		<i>Сариев А.Л.</i>					11	117
Консульт.						ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		<i>Брцсник О.В.</i>						

ABSTRACT

The final qualifying work contains 117 pages of text material, 11 figures, 25 tables, 26 sources, 0 appendices.

Keywords: surge, anti-surge valve, anti-surge control, compressor station, centrifugal compressor.

The object of research is the phenomenon of surging that occurs during the operation of centrifugal compressors, as well as methods and methods of its regulation.

The purpose of the study is to analyze the existing methods and means of anti-surge control, to find the optimal design of the control device to prevent the occurrence of surging.

In the course of the study, the analysis of the loads acting on the centrifugal compressor was carried out. The causes of the surge phenomenon are determined and its influence on the operation of the equipment is analyzed. The essence of anti-surge regulation is presented. The calculation and construction of the gas-dynamic characteristics of the NC-6DKS centrifugal supercharger is carried out in order to further analyze the level of efficiency of the obtained solution.

As a result of the study, a solution was found that prevents the occurrence of surging at an early stage and allows increasing the efficiency of operation of centrifugal superchargers.

					<i>Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Байдулатова М.А.</i>			<i>Abstract</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Сарцев А.Л.</i>					12	117
<i>Консульт.</i>						ТПУ зр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бричник О.В.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ПОМПАЖА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ТРАНСПОРТЕ ГАЗА	17
1.1 Анализ нагрузок на конструкцию центробежного компрессора	17
1.2 Природа возникновения помпажного явления при эксплуатации центробежного компрессора.....	19
1.3 Влияние помпажа на работу компрессора	22
1.4 Сущность антипомпажного регулирования.....	26
2 РАСЧЕТ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА.....	30
3 АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АНТИПОМПАЖНЫХ КЛАПАНОВ ОЧТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	35
3.1 Описание регулирующего антипомпажного клапана DN700	35
3.2 Описание регулирующего антипомпажного клапана типа К	47
3.3 Описание регулирующего антипомпажный клапан типа RZD.....	58
3.4 Сравнительная характеристика основных параметров антипомпажных клапанов	66
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	72
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения работ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	72
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	73
4.2 SWOT – анализ.....	75
4.3 Планирование выполнения работ	80
4.4. Бюджет проведения работ.....	86
4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проведения работ	94

					<i>Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Байдулатова М.А.</i>			<i>Оглавление</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Сарцев А.Л.</i>					13	117
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Бричник О.В.</i>						

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	98
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	99
5.2 Производственная безопасность	101
5.3 Экологическая безопасность	105
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:	113

					<i>Оглавление</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

ВВЕДЕНИЕ

Развитие газовой индустрии в России стремительно набирает обороты. С 2016 года Россия занимает второе место в мире по добыче газа, первое место занимает США.

Первые скважины, располагавшиеся неподалёку от Дербента, были открыты в 1906 году. Это и стало началом промышленной добычи газа в России. Вплоть до 90-х годов 20-го века добычу газа в стране преследовали кризисные явления. Но, начиная с 1991 года, добыча газа начала стремительно расти. В 2019 году совокупная добыча газа (природного и попутного) в России достигла рекордного значения – 738 млрд. кубометров. Следует отметить, что исторический максимум добычи наблюдается на протяжении последних трех лет.

Актуальность: С ростом добычи газа увеличиваются места сбыта, протяженность газопроводов и объемы перекачки. А это значит, что должна обеспечиваться надежная работа компрессорных станций, перекачивающих «голубое топливо», путем предоставления газодинамической устойчивости центробежных компрессоров. Нарушение газодинамической устойчивости-помпаж заслуживает особого внимания, так как на сегодняшний день это явление изучено не до конца и предоставляет угрозу жизни людей и разрушению газотурбинных установок.

Режим помпажа характеризуется сильными колебаниями расхода и давления газа, что часто приводит к аварийным остановкам с крупными поломками элементов компрессора. Чтобы не допустить возникновения такого режима и обеспечить надежную работу центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов, необходимо выявить эффективный способ регулирования подачи газа и устранение нежелательных пульсаций при работе систем.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях			
Разраб.		Байбулатова М.А.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Сарцев А.Л.					15	117
Консульт.						ТПУ зр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брцсник О.В.						

Целью данной бакалаврской работы является определение технологических особенностей процесса антипомпажного регулирования на компрессорных станциях.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

Провести обзор и анализ действующих нагрузок на центробежный компрессор и выявить природу возникновения помпажа;

Определить влияние явления помпажа на работу оборудования и сущность его регулирования;

Определить сущность антипомпажного регулирования;

Выполнить расчет запаса устойчивости работы компрессора;

Проанализировать антипомпажные клапаны отечественного и зарубежного производства;

Сравнить эффективность применения антипомпажных клапанов.

					<i>Введение</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1 АНАЛИЗ ЯВЛЕНИЯ ПОМПАЖА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ТРАНСПОРТЕ ГАЗА

1.1 Анализ нагрузок на конструкцию центробежного компрессора

При эксплуатации центробежного компрессора наблюдаются неустойчивые режимы работы, вызванные тепловыми, аэродинамическими и динамическими нагрузками. Постоянное воздействие каждой нагрузки отрицательно влияет на работу компрессора и приводит к разрушению его элементов.

Тепловые нагрузки приводят к повышению температуры масла в подшипниках, а также к повышению температуры сжатого газа на входе или на выходе какой-либо секции рабочих колес.

Причинами повышения температуры масла в подшипниках могут стать:

- Ухудшение смазочных свойств масла из-за наличия в нем воды или загрязнения;
- Уменьшение количества смазки, подаваемой в подшипник из-за засорения маслопровода.

Повышение температуры сжатого газа на входе в секцию компрессора может быть вызвано неполадками работы газоохладителя. Как правило, причинами неполадок является засорение газоохладителя.

Нарушение лабиринтовых уплотнений внутри секции или нарушение герметичности диафрагм в месте разъема приводит к повышению температуры сжатого газа на выходе из секции.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях			
Разраб.		Байдулатова М.А.			Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Сарцев А.Л.					17	117
Консульт.						ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП		Брцник О.В.						

Динамические нагрузки возникают при механических колебаниях ротора, приводящих к вибрации всей машины. Причины колебания ротора:

- Неудовлетворительная центровка валов;
- Износ сцепных муфт;
- Помпаж, сопровождающийся разрушением смазочного слоя в изношенных или не налаженных подшипниках и т.д.

Для определения причины повышенной вибрации измеряют амплитуду и частоту колебаний. При этом у компрессора с очень легкими роторами и относительно массивными подшипниковыми опорами измеряют колебания ротора относительно корпуса, а у компрессоров с относительно тяжёлыми роторами измеряют только колебания подшипниковых опор.

Неуравновешенные роторы совершают вынужденные колебания с частотой, равной частоте вращения (числу оборотов в секунду). При плохих муфтах и недостаточно хорошей центровке наблюдаются колебания как с той же частотой, так и вдвое большей. Нередко корпус компрессора колеблется с частотой, равной частоте вращения ротора электродвигателя. Эти колебания возникают из-за неполадок в работе ротора.

Самыми опасными являются самовозбуждающийся колебания (автоколебания), вызванные смазочным слоем подшипников. Частота этих колебаний равна или меньше половины частоты вращения ротора. В гибких валах частота их колебаний иногда близка к собственной частоте колебаний ротора. Подобные автоколебания возникают также и при помпаже. Автоколебания могут самопроизвольно при самых незаметных изменениях режима работы исчезать совсем или появляться и возрасти до совершенно недопустимой величины. При этом могут иметь место даже повреждения уплотнений и подшипников. Наиболее часто автоколебания наблюдаются у компрессоров с лёгкими роторами, у которых рабочее число оборотов более чем в 1,7 раза выше критического.

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

1.2 Природа возникновения помпажного явления при эксплуатации центробежного компрессора

Помпаж – это неустойчивая работа компрессора, характеризуемая резкими колебаниями напора и расхода воздуха. При помпаже появляются сильные пульсации потока воздуха, проходящего через компрессор, возникают вибрации лопаток и тряска, которые могут вызвать разрушение компрессора. При эксплуатации компрессора помпаж недопустим. [1]

Возникновение помпажа зависит от того, под каким углом поток газа поступает на лопатки центробежного компрессора. Этот угол называется углом атаки.

Угол атаки – это угол между направлением скорости набегающего на тело потока газа и касательной к средней линии в передней точке профиля лопатки рабочего колеса компрессора (рисунок 1).

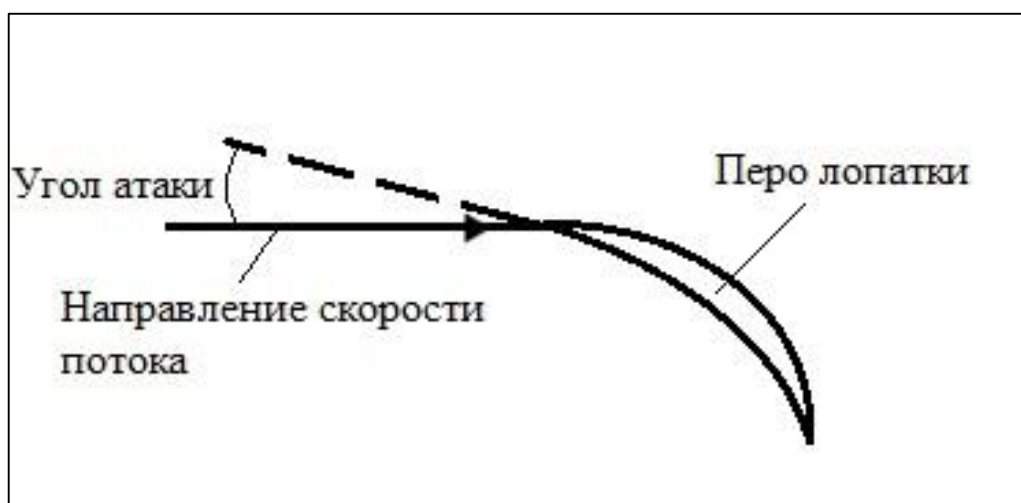


Рисунок 1 – Принципиальная схема угла атаки лопаток компрессора

Если угол атаки находится в заданных пределах, то поток газа достаточно плавно обтекает лопатки, и компрессор работает в штатном режиме. Но если, по каким-либо причинам, происходит уменьшение расхода газа на входе компрессора, угол атаки возрастает. При достижении критического значения угла атаки, равного $20 - 25^\circ$ для рабочих колес радиального типа и $8 - 11^\circ$ для осерадиального типа, происходит срыв потока

со спинок лопаток компрессора. В результате степень сжатия, которую обеспечивает компрессор, уменьшается. Также уменьшается давление в полости компрессора и из напорного коллектора возникает обратный поток газа – образуется вихревая зона.

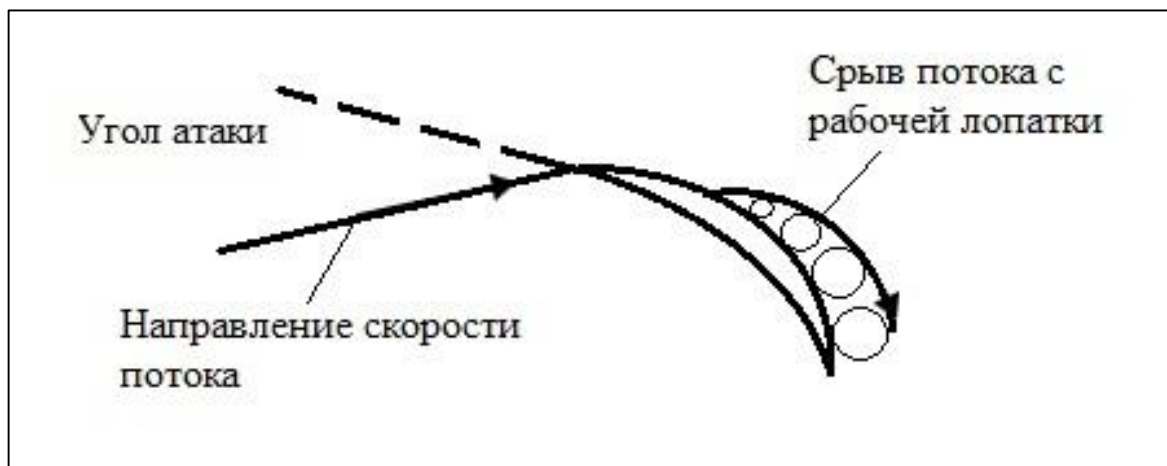


Рисунок 2 – Принципиальная схема срыва потока с лопаток компрессора

Вихревая зона занимает большой объем межлопаточного канала, прилегающего к всасывающей стороне лопасти, тем самым происходит снижение эффективной площади проходного сечения межлопаточных каналов (рисунок 2). Происходит торможение потока во всей проточной части компрессора, во всех ступенях, что приводит к увеличению значений углов атаки до критических. Лопатки, попавшие в зону срыва, сжимают газ неэффективно, давление за ними понижается, и через зону срыва происходит выброс ранее сжатого воздуха из компрессора навстречу потоку. Выброс сопровождается сильным звуковым эффектом – хлопком, вибрацией корпуса компрессора и пульсацией давления в нагнетательном патрубке. Возникают колебания давления и расхода газа малой частоты и большой амплитуды во всей проточной части компрессора. [3]

Соответственно, основной способ борьбы с помпажным явлением в различных условиях эксплуатации компрессора становится уменьшением углов атаки, путем изменения напора и расхода газа, в тех ступенях или той

части лопаток, где значения этих углов оказываются близкими к критическим.

Резкие скачки давления и объемов подачи газовой смеси вызывают нестабильную работу компрессора, которую называют помпажным явлением. Помпаж компрессора – негативный фактор, вызывающий нарушение в технологических циклах и разрушение компрессорной станции.

Интенсивность проявления помпажного явления различна – от едва заметных изменений подачи и производительности до значительно опасных изменений параметров нагнетательной установки и трубопроводной системы.

Помпаж происходит из-за разницы давлений на всасывающем и нагнетательном патрубках. При запуске компрессора давление нагнетательном патрубке возрастает, а во всасывающем патрубке уменьшается. В момент, когда сила сопротивления газа превышает усилие, которое развивает компрессор, компрессор начинает работать на износ, не справляясь с разницей давлений.

Процесс помпажного явления характеризуется пульсацией газа. Пульсация происходит, когда давление достигает критической величины затем резко падает до отметки равной давлению в области всасывания.

Так же при помпаже можно наблюдать обратный ход газовой смеси. Он возникает при ухудшении газодинамической характеристики проточной части компрессора. Из-за ухудшения газодинамической характеристики, не создается требуемый напор, но давление по-прежнему остается высоким. В результате чего происходит обратный проброс газа. Через некоторое время газодинамическая характеристика восстановится в результате уменьшения давления за компрессором. Через какое-то время процесс повторится.

Таким образом, помпаж центробежного компрессора – различные нестационарные явления, возникающие в результате потери устойчивости

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

газодинамической характеристики компрессора. потеря устойчивости – резкие изменения колебаний напора и расхода перекачиваемого газа.

1.3 Влияние помпажа на работу компрессора

Так как процессы, связанные с какой-либо деятельностью нефтегазовой отрасли, стоят больших затрат, особое внимание уделяется своевременному техническому обслуживанию и наблюдению за рабочими параметрами (характеристиками) оборудования.

Зачастую помпаж приводит к разрушению компрессора, отдельных его частей или же делает работу компрессора неэффективной и опасной. Стоит разобраться какие явления негативно влияют на работу компрессора.

Помпажное явление возникает во время пуска или остановки компрессора, когда частота вращения ротора не превышает значения $0,6n_0$, где n_0 -номинальная скорость вращения ротора компрессора. При минимальной скорости вращения ротора происходит срыв потока. Срыв потока происходит с одной лопатки компрессора. Постепенно заполняя вихрями пространство между соседними лопатками, срыв распространяется по всему компрессору. То есть, те лопатки, на которых расход отсутствует, находятся рядом с теми, на которых расход еще есть. Данное явление вызывает дисбаланс сил, действующих на вал, тем самым раскачивая его в разные стороны и заставляя трястись. Помпаж может развиваться как в отдельной ступени, так и охватить весь компрессор. Резкие колебания давления и расхода приводят к вибрации ротора. В результате вибрации повышается нагрузка на подшипники и возрастает риск их разрушения.

Инженеры спроектировали компрессор так, что газ должен перекачиваться в определенном направлении. То есть давление с одной стороны вала должно быть больше чем с другой. Направление силы, действующей на вал, будет всегда направлено к всосу. Размер силы может меняться, но направление должно оставаться неизменным. Если же, по

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

каким-либо причинам, поток разворачивается, происходит изменение направления вектора силы. Данное явление может вызвать движение вала в осевом направлении и повредить подшипники и уплотнения.

Помпаж вызывает перегрев газа. Нерасчетный режим обтекания лопаток компрессора приводит к переходу большего количества энергии в тепло и перегреву газа. Известно, что газ нагревается при сжатии. В результате помпажа происходит увеличение давления в компрессоре – газ сжимается. При помпаже газ успевает пройти несколько циклов сжатия – нагреться и отдать свое тепло агрегату. Данная ситуация может привести к остановке работы компрессора по причине превышения температуры.

Помпаж приводит к быстрому росту частоты вращения газотурбинного агрегата. Из-за повышения степени сжатия наблюдается повышение нагрузки на компрессор. После чего происходит срыв нагрузки с счет падения расхода и резкая разгрузка привода. В штатной ситуации мощность, развиваемая приводом, передается газу. Но если поток перекачиваемой среды отсутствует, привод разгружается. Мгновенная разгрузка турбины вызывает раскрутку вала до максимальных оборотов. В таких случаях срабатывают датчики и происходит аварийная остановка по сверхоборотам.

Помпаж вызывает аэродинамическую неустойчивость в работе компрессора. При помпаже возникают пульсации потока газа, а также сильные колебания ротора, которые оказывают дополнительную нагрузку на компрессор, тем самым вызывая неустойчивость в работе.

На рисунке 3 показан типичный вид газодинамической характеристики центробежного нагнетателя. Каждая кривая отражает связь между степенью сжатия компрессора и расходом газа через него при постоянной частоте вращения ротора.

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 3 – Газодинамическая характеристика центробежного компрессора[11]

Центробежный компрессор имеет ограниченный диапазон производительности. Если поток газа через компрессор меньше определённой величины, то вращающиеся лопасти рабочего колеса не могут «захватить» газ и устойчивая работа нагнетателя нарушается. Вследствие срыва потока в системе «компрессор + трубная обвязка» возникает помпаж.

Линия, соединяющая точки срыва потока при различной скорости вращения ротора компрессора, называется границей помпажа. На рисунке 3 граница помпажа показана красной линией. [11]

Помпаж способствует преждевременному износу механических узлов и электропривода, из-за чего оборудование преждевременно выходит из строя и нарушается технологический цикл предприятия. Для того, чтобы риск возникновения помпажа был минимальным, используют специальные защитные устройства и приспособления такие как: дроссель, перепускной клапан, байпас и другие.

Так же причинами помпажного явления могут стать нестандартные режимы работы, такие как:

- Изменение состава газа;

- Увеличение давления в последней ступени компрессора, при неизменной скорости рабочего колеса;
- Повышение сопротивления во всасывающем тракте компрессора из-за засорения фильтров;
- Неисправность обратного клапана;
- Закрывание клапанов в нагнетании или всасывании из-за ошибки оператора или самопроизвольное закрытие клапанов;
- Резкие изменения нагрузки – аварийная остановка нескольких последовательно работающих агрегатов может вызвать резкий сброс или возрастание нагрузки;
- Неисправность холодильника;
- Неисправность привода.

Помпаж сопровождается явлениями, делающими работу компрессора малоэффективной и опасной:

- Перегревом газа, вызванным нерасчетным режимом обтекания лопаток нагнетателя;
- Специфическим шумом.
- Последствия помпажного явления:
- Нестабильность расхода и давления;
- Резкие колебания потребляемой мощности, приводящие к усталости металла;
- Выход из строя и разрушение подшипников вала колеса;
- Увеличение зазоров в уплотнениях;
- Снижение КПД;
- Сокращение межремонтного срока работы.

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.4 Сущность антипомпажного регулирования

Причины помпажа во многих случаях обусловлены срывом потока с лопастей компрессора. Поэтому при проектировании центробежных компрессоров применяют следующие меры:

- Скругление входной кромки лопастей;
- Увеличение количества лопастей;
- Применение рабочих колес с лопастями, сильно отогнутыми назад.

В условиях эксплуатации для того чтобы избежать возникновения помпажа используют специальную систему антипомпажного регулирования.

Антипомпажное регулирование – это принцип управления напором и расходом компрессора, обеспечивающий минимальную необходимую скорость газа в компрессоре, чтобы не допустить срыва потока и помпажа.

[13]

Эта система достаточно проста. Она подразумевает наличие специального антипомпажного регулятора на вход которого поступает информация о давлении в линии всасывания, линии нагнетания и расходе на вход в компрессор. В зависимости от того, насколько близко рабочая точка компрессора подошла к тому режиму, в котором возможно возникновение помпажа, меняется степень открытия антипомпажного клапана. Так как идея антипомпажного регулирования заключается в том, что если давление в линии нагнетания становится заметно больше чем давление в полости компрессора, то часть газа сбрасывается через антипомпажный клапан.

Сущность антипомпажного регулирования заключается в управлении и контроле положения рабочей точки газодинамической системы по отношению к линии границы помпажа.

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рабочей точкой компрессора называют точку пересечения газодинамической характеристики и кривой сопротивления процесса.

За последние 15 лет системы автоматического регулирования (САР) компрессоров за пределами СНГ шагнули далеко вперед. В России же САР являются слабым звеном компрессоров. В данных системах плохо решены проблемы антипомпажного регулирования, что приводит к выходу из строя оборудования и остановке важного дорогостоящего технологического процесса.

Причинами малой эффективности антипомпажного регулирования в Российской Федерации являются:

- Неспособность пневматических, гидравлических, а также аналоговых электронных приборов решать сложные нелинейные уравнения для определения расстояния рабочей точки до границы помпажа;
- Трудности адаптации САР к особенностям нелинейных характеристик компрессора.

Рассмотрим рисунок 4. Когда рабочая точка приближается к границе помпажа, происходит открытие антипомпажного клапана, в результате которого происходит снижение степени сжатия газовой смеси и увеличение ее расхода – рабочая точка перемещается вправо. Когда же клапан закрывается, происходит увеличение степени сжатия и снижение расхода – точка перемещается влево. Таким образом обеспечивается устойчивая работа компрессора.

В случае, когда рабочая точка будет находиться слева от границы помпажа, объемный расход и давление в компрессоре начинают пульсировать. Пульсация будет происходить до тех пор, пока рабочая точка не переместится вправо для восстановления нормальной работы или же до тех пор, пока не сработают защитные устройства, останавливающие работу

					<i>Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа</i>	<i>Лист</i>
						27
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

компрессора. Если данные операции не происходят, происходит поломка компрессора.

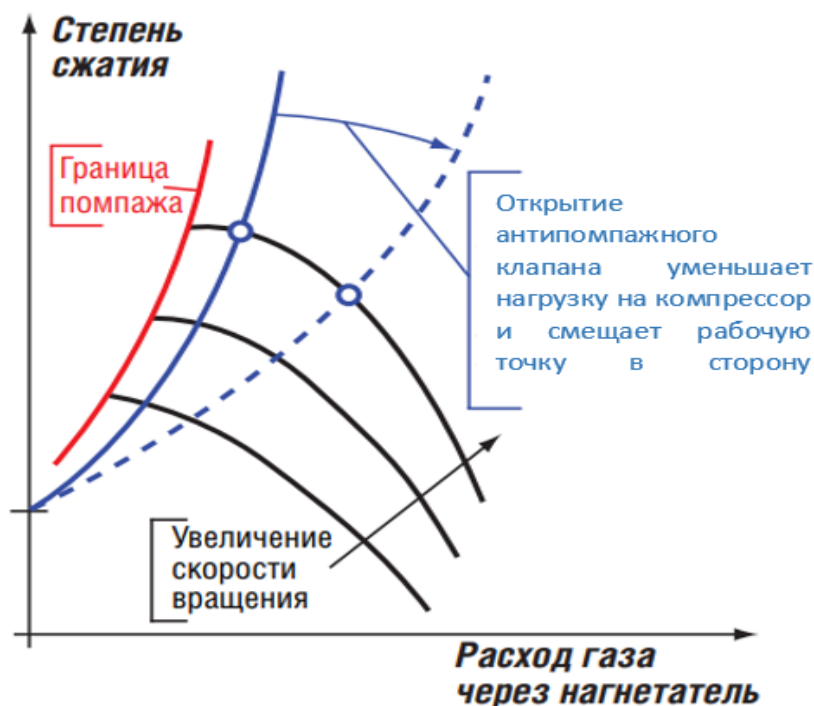


Рисунок 4 – Газодинамическая характеристика компрессора при управлении антипомпажным клапаном [11]

Для того чтобы рабочая точка находилась справа от границы помпажа применяют антипомпажные клапаны. При открытии антипомпажного клапана происходит возврат части газовой смеси со стороны нагнетателя в сторону места всасывания или выброса газа на факел для утилизации.

Управляющие воздействие клапаном необходимо производить до того момента, когда рабочая точка достигнет границы помпажа. Для любой характеристической кривой точка, в которой регулятор должен инициировать открытие клапана, называется точкой контроля помпажа. Геометрическое место таких точек можно определить, как линию контроля помпажа, а зону слева от этой линии – зоной контроля помпажа. Степень открытия клапана необходимо увеличивать всякий раз, когда рабочая точка оказывается в зоне контроля помпажа.

Для эффективного управления антипомпажным клапаном необходимо определить оптимально положение рабочей точки компрессора, при котором не будет наблюдаться резких скачков в давлении и расходе газа.

					Анализ явления помпажа в технологических процессах при транспорте газа	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 РАСЧЕТ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА

Режимы работы компрессора по расходу газа, как правило, ограничиваются 10%-м запасом от границы помпажа (рисунок 5) и определяются как:

$$S = \frac{Q - Q_{\text{помп}}}{Q_{\text{помп}}} \cdot 100\% \geq 10\% \quad (1)$$

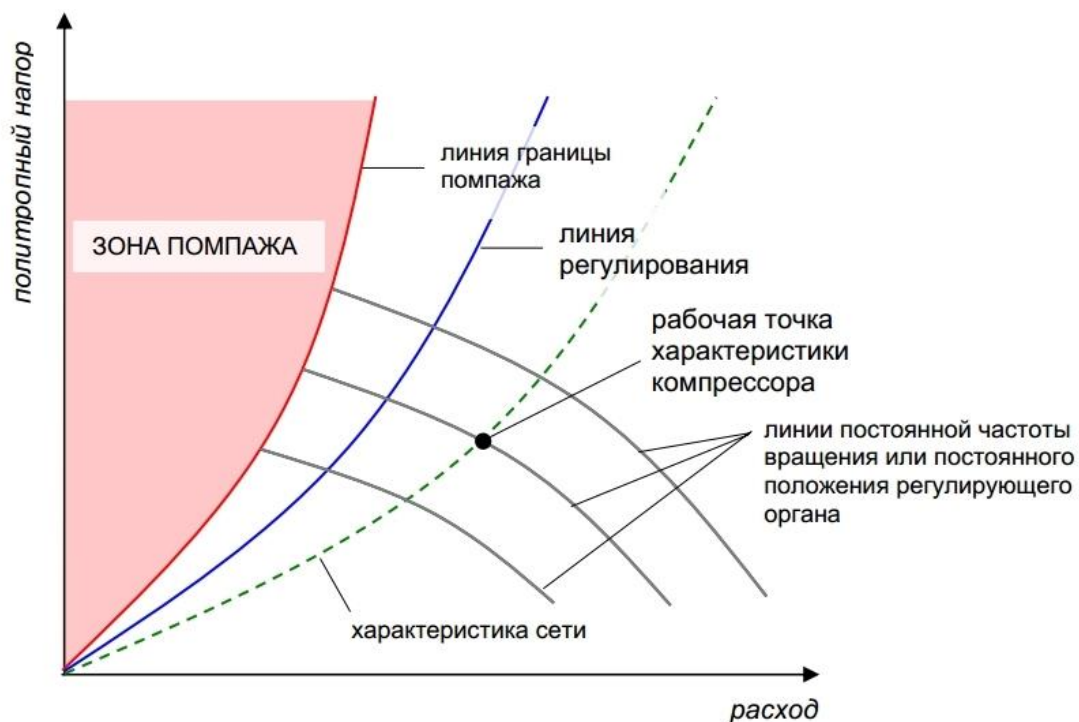


Рисунок 5 – Рабочая точка ГПА и зона помпажа [14]

Пример: Определить запас устойчивой работы нагнетателя ГПА-Ц-6,3/56М1,45, имеющего следующие параметры рабочего режима: давление газа на входе нагнетателя $P_{\text{вх}} = 3,9$ МПа, давление газа на выходе нагнетателя $P_{\text{вых}} = 5,3$ МПа, температура газа на входе $t_1 = 16$ °С, частота вращения нагнетателя $n_0 = 8100$ об/мин, производительность нагнетателя $Q_{\text{комм}} = 475$ тыс.н·м³/ч, плотность газа $\rho_0 = 0,676$ кг/м³.

					<i>Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Байдулатова М.А.				Расчет запаса устойчивости работы компрессора	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Сарцев А.Л.						30	117
Консульт.						ТПУ гр. 2Б7А		
Рук-ль ООП	Брисник О.В.							

Решение:

Относительная плотность газа по воздуху:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_0}{1,205} = 0,56. \quad (2)$$

Газовая постоянная:

$$R = \frac{29,27}{\bar{\rho}} = \frac{29,27}{0,56} = 52,2 \text{ кг} \cdot \text{м/кг} \cdot \text{К} \cong 512 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}. \quad (3)$$

Коэффициент сжимаемости газа по параметрам входа определяется по соотношению:

$$z_{\text{ВХ}} = 1 - \left(\frac{0,41}{\tau_{\text{ВХ}}^3} - \frac{0,061}{\tau_{\text{ВХ}}} \right) \pi_{\text{ВХ}} - 0,04 \frac{\pi_{\text{ВХ}}^2}{\pi_{\text{ВХ}}^3} = 0,93, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{ВХ}}$ - соотношение температур газа на входе и критической ($\tau_{\text{ВХ}} = T_{\text{ВХ}} / T_{\text{кр}} = 1,52$);

$\pi_{\text{ВХ}}$ - соотношение давлений газа на входе и критического ($\pi_{\text{ВХ}} = P_{\text{ВХ}} / P_{\text{кр}} = 0,824$);

$T_{\text{кр}}$ - критическая температура ($T_{\text{кр}} = 190,1 \text{ К}$);

$P_{\text{кр}}$ - критическое давление ($P_{\text{кр}} = 4,73 \text{ МПа}$).

Плотность газа на входе:

$$\rho_{\text{ВХ}} = 10^4 P_{\text{ВХ}} / z_{\text{ВХ}} RT_{\text{ВХ}} = 10^4 \cdot 3,9 / 0,93 \cdot 289,2 \cdot 52,2 = 28,32 \text{ кг/м}^3. \quad (5)$$

Объемная производительность нагнетателя:

$$Q = Q_{\text{КОММ}} / 0,06 \left(\frac{\rho_0}{\rho_{\text{ВХ}}} \right) = 475 \cdot 0,676 / 0,06 / 28,32 = 189 \text{ м}^3 / \text{мин}. \quad (6)$$

Приведенная объемная производительность:

					Расчет запаса устойчивости работы компрессора	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{пр}} = Q \frac{n_0}{n} = 189 \cdot 8200/8100 = 191,3 \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (7)$$

Запас устойчивой работы нагнетателя:

$$S = (Q_{\text{пр}} - Q_{\text{пр.помп.}}) / Q_{\text{пр.помп.}} \cdot 100\% = (191,3 - 135) / 135 \cdot 100\% = 41,7\%, (8)$$

где $Q_{\text{пр.помп.}} = 135 \text{ м}^3/\text{мин}$ определяется по характеристике нагнетателя. [14]

Эксплуатационный персонал должен по показаниям штатных приборов периодически контролировать положение рабочей точки на характеристике нагнетателя и не допускать ее приближения к опасной зоне, для чего при работе на частичных режимах необходимо повышать частоту вращения нагнетателя либо уменьшать напор и расход параллельно работающей группы нагнетателей. При возникновении помпажа необходимо открыть перепускной кран, соединяющий линию нагнетания с всасывающей, при этом расход газа через нагнетатель увеличится, а степень сжатия снизится, рабочая точка нагнетателя переместится вправо от границы помпажа. [14]

В настоящее время существует достаточно много противопомпажных автоматических систем, позволяющих не допустить попадание нагнетателя в помпаж и сигнализирующих о приближении рабочей точки к границе помпажа. Наиболее распространенные системы основаны на сопоставлении величины расхода газа с создаваемым нагнетателем напором с последующим воздействием на перепускной кран. Хорошо известны сигнализаторы помпажа, разработанные НЗЛ, которые укомплектованы пневматическими ППЗ на базе элементов системы "Старт".

Более современные системы включают защиту и регулирование нагнетателя в области помпажных режимов и имеют перепускной кран с регулируемым проходным сечением.

					<i>Расчет запаса устойчивости работы компрессора</i>	<i>Лист</i>
						32
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Данная система антипомпажной защиты обеспечивает положение рабочей точки нагнетателя в правой зоне от линии границы помпажа, что показывает линия III на рисунке 2. Это достигается открытием перепускного (антипомпажного) крана на величину, необходимую для поддержания минимального расхода. Вследствие большой инерционности системы нагнетатель-газопровод воздействие на перепускной клапан должно начаться до того, как рабочая точка достигнет границы помпажа. Точка на характеристике нагнетателя, соответствующая открытию клапана, является линией I контроля помпажа, показанной на рисунке 2. Расстояние между линией контроля и линией границы помпажа определяет предел безопасности или зону контроля помпажа, это показывает заштрихованная площадь на рисунке 2. Открытие перепускного клапана увеличивается по мере перехода рабочей точки в зону контроля помпажа. Расстояние между рабочей точкой нагнетателя и границей помпажа рассчитывается с использованием следующего соотношения:

$$\frac{H_p}{Q_s^2} = \frac{P_{\text{вх}} \cdot \frac{\varepsilon^{(m-1)/m} - 1}{m-1} \cdot m}{\Delta P_k}, \quad (9)$$

где H_p – политропный напор;

Q_s – коэффициент объемного расхода;

$P_{\text{вх}}$ – абсолютное давление на входе;

ε – степень сжатия;

m – показатель политропы,

$(m-1)/m = \lg(T_{\text{вых}}/T_{\text{вх}})/\lg\varepsilon$;

ΔP_k – перепад давления на конфузоре.

Отношение значений параметра $H_p/Q_s^2 = 1/\kappa$ в рабочей точке и на границе помпажа при постоянной частоте вращения является соотношением

					Расчет запаса устойчивости работы компрессора	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

наклонов двух линий, проходящих через рабочую точку и точку на границе помпажа, как показано на рисунке 2. Расстояние между границей помпажа и линией контроля помпажа S рассчитывается как производная от ΔP_k , в результате чего критерий S будет равен 1,0, когда рабочая точка находится на линии контроля помпажа, и больше 1,0, когда рабочая точка находится в зоне контроля помпажа. Зона контроля помпажа имеет две области регулирования:

- область регулирования между линиями I и II соответствует малым возмущениям потока газа;
- область регулирования между линиями II и III соответствует большим возмущениям потока газа;

Регулятор, рассчитывая расстояние рабочей точки от границы помпажа в случае его работы в области регулирования между линиями I и II (точка 1'''), воздействует на перепускной регулирующий клапан типа "Моквелд", перепускает часть газа с выхода нагнетателя на вход, восстанавливая режим работы нагнетателя в точке 1'. Если же рабочая точка нагнетателя находится в области регулирования между линиями II и III (точка II), то при быстром приближении к границе помпажа регулирующий клапан полностью открывается, а затем несколько прикрывается по мере удаления рабочей точки от границы помпажа, устанавливая режим работы нагнетателя, соответствующий точке 1'. В случае, если помпаж все-таки произошел, а это значит, что рабочая точка находится между линиями III и IV, регулятор ограничивает число "хлопков" путем удаления линии контроля помпажа от линии границы помпажа. [14]

					Расчет запаса устойчивости работы компрессора	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АНТИПОМПАЖНЫХ КЛАПАНОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Описание регулирующего антипомпажного клапана DN700

Назначение изделия

Клапан предназначен для регулирования расхода и давления природного газа, а также для применения в качестве запорно-регулирующей, отсечной и антипомпажной арматуры, устанавливаемой на трубопроводах технологических линий, технологических обвязках КС, ДКС, ПХГ и газопроводах, а также на участках газопроводов из районов добычи, производства и хранения, категорий В, I, II, III и IV по СП 36.13330.2012. Класс опасности – 3 по ГОСТ 12.1.007.

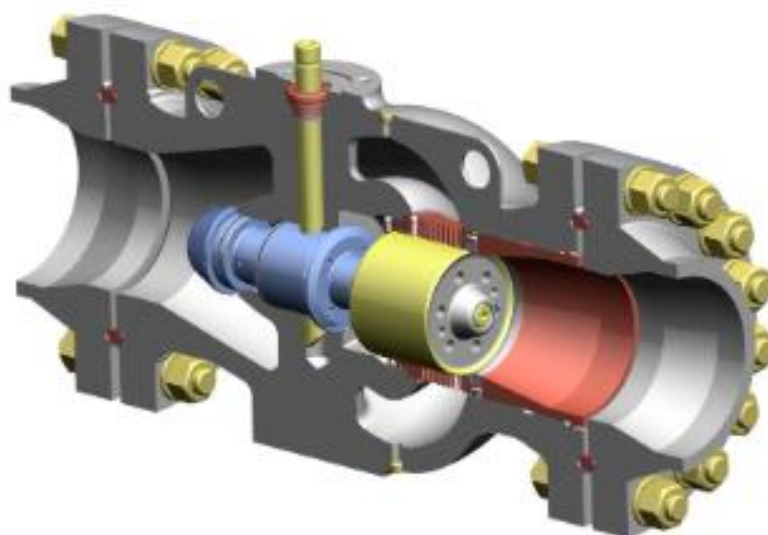


Рисунок 6 – Клапан осесимметричный DN700

Клапаны устанавливаются на трубопроводах надземно на открытом воздухе без защитных сооружений от атмосферных воздействий и подземно.

					<i>Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Байдулатова М.А.</i>			<i>Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Сарцев А.Л.</i>					35	117
<i>Консульт.</i>						ТПУ гр. 2Б7А		
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брцник О.В.</i>						

В зависимости от вида климатического исполнения регуляторы предназначены для эксплуатации в макроклиматических районах с холодным климатом (исполнение ХЛ1) и в макроклиматических районах с умеренным климатом исполнение (У1).

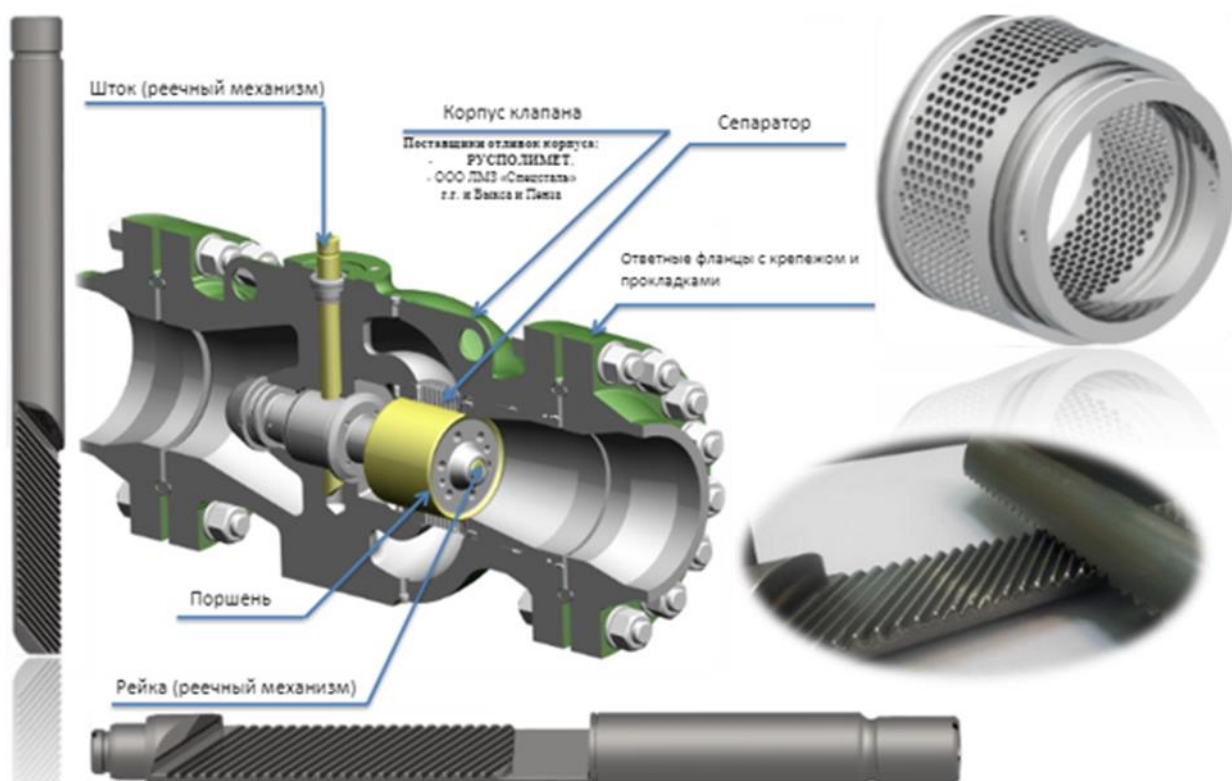


Рисунок 7 – Устройство клапана

Технические характеристики

Регуляторы рассчитаны на работу со следующими рабочими средами:

А) Неагрессивный природный газ, содержащий жидкие углеводороды, этиленгликоль, метанол, трубные масла, воду и механические примеси в количествах:

- влага и конденсат – до 1500 мг/м³;
- механические примеси – до 10 мг/м³, с размером отдельных частиц до 1 мм.
- Б) Наличие в газе реагентов, вызывающих коррозию:
- сероводород (H₂S) – не более 1 мг/м³;

- углекислый газ (CO₂) – не более 0,33 % по объему;
- натрий + калий – не более 1 мг/м³.
- В) точка росы газа по воде при давлении 5,5 МПа:
- зимой – минус 5°С;
- летом – 0°С.

Примечание – Для объектов газовых промыслов (ДКС, ПХГ и др.) содержание в паровой фазе:

- зимой – до 89,77 мг/м³;
- летом – до 125,13 мг/м³.
- Температура рабочей среды:
- от минус 60°С до плюс 80°С, кратковременно до 100°С;
- Допускается, при согласовании с изготовителем, температура рабочей среды для объектов газовых промыслов свыше 100°С, но не более 180°С.

Класс опасности – 3 по ГОСТ 12.1.007.

Категория и группа взрывоопасности ПА по ГОСТ 30852.11.

Управление клапаном осуществляется приводом.

Присоединение к трубопроводу – фланцы (переходы), под приварку.

Установочное положение на трубопроводе – на горизонтальном трубопроводе приводом вверх с отклонением от горизонтальной оси до 4°, а также с отклонением от вертикальной оси до 4° в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси трубопровода.

Направление движения рабочей среды – одностороннее, по направлению стрелки на корпусе.

Технико-эксплуатационные характеристики:

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- назначенный срок службы – 30 лет;
- назначенный ресурс – 240 000 часов;
- назначенный срок службы выемных частей, прокладочных материалов и комплектующих изделий – 15 лет;
- срок сохраняемости без переконсервации – 2 года.

Клапан обеспечивает выполнение следующих функций:

- герметичность в затворе по классу герметичности, указанному в паспорте на клапан;
- герметичность по отношению к внешней среде;
- работоспособность при перепаде рабочего давления на затворе при открытии и закрытии, указанному в паспорте на клапан;
- открытие/закрытие клапана за время, указанное в паспорте;
- осуществление регулирования давления за счет перекрытия проходного сечения с равно процентной или линейной расходной характеристикой.

Клапаны имеют элементы для строповки – проушины.

Клапаны имеют выполненное в заводских условиях наружное антикоррозионное покрытие.

Клапаны относятся к классу ремонтируемых, восстанавливаемых изделий с регламентированной системой технического обслуживания и регламентированной дисциплиной восстановления.

На клапан устанавливается электропривод или пневмопривод, в зависимости от назначения клапана и требований опросных листов. При монтаже/ демонтаже, настройке, работе, эксплуатации привода руководствоваться эксплуатационной документацией на привод.

Запрещается использовать клапан в качестве опоры для трубопроводов.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Направление рабочей среды одностороннее, по стрелке на корпусе.

Использование по назначению

Показатели надежности и назначенные показатели обеспечиваются при соблюдении требований настоящего РЭ.

Комплект поставки и гарантийные обязательства завода-изготовителя изложены в паспорте на клапан.

При надземной установке клапана следует обеспечить возможность проведения его осмотра и ремонтных работ.

На клапан, со стороны испытательных устройств и трубопроводов, должны быть исключены механические воздействия, не предусмотренные эксплуатационной документацией.

Подготовка клапана к использованию

Перед монтажом клапана в систему необходимо проверить:

- Наличие маркировки;
- Наличие заглушек;
- Отсутствие дефектов, нарушающих товарный вид клапана и наружное антикоррозионное покрытие;
- Комплектность клапана;
- Комплектность эксплуатационной документации и разрешительной документации;
- Состояние внутренних поверхностей корпуса, поршня, сепаратора (доступных для осмотра);
- Целостность поверхностей деталей, состояние крепежных соединений, проверить наличие смазки.

Перед монтажом необходимо произвести расконсервацию клапана. Порядок, правила расконсервации и требования безопасности в соответствии

					<i>Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства</i>	<i>Лист</i>
						39
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

с ГОСТ 9.014. удаление консервационных смазок следует производить чистой ветошью, смоченной растворителем (бензин, уайт-спирит и т.п.)

Проверить работоспособность клапана совместно с приводом.

При поступлении вновь изготовленных клапанов и после проведения капитального ремонта проводится их входной контроль на специализированных участках по входному контролю обученными и аттестованными специалистами данных участков.

Использование клапана

Перед установкой клапана трубопровод должен быть очищен от грязи, песка, окалины.

Перед эксплуатацией наружная поверхность клапана, подлежащего теплоизоляции должна быть теплоизолирована негорючими материалами. Теплоизоляция должна производиться в соответствии с требованиями специального проекта производства работ.

При монтаже для строповки клапанов и других работ следует использовать специальные проушины, имеющиеся на корпусе клапана.

При монтаже запрещается использовать для строповки привод клапана, если в паспорте на клапан не оговорено иное.

При монтаже клапана на трубопровод патрубки должны быть установлены без перекосов.

Запрещается устранять перекосы трубопровода за счет натяга (деформации) патрубков клапана.

Эксплуатация, монтаж, пуско-наладка клапана должны осуществляться после ознакомления обслуживающего персонала с РЭ на клапан, а также с руководством по эксплуатации на привод и инструкциями, действующими на объекте.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Клапан должен использоваться по назначению в соответствии с паспортом и РЭ. Не допускается использование клапана на рабочих средах с параметрами, не предусмотренными паспортом и РЭ.

Порядок обслуживания привода приведен в руководстве по эксплуатации на привод.

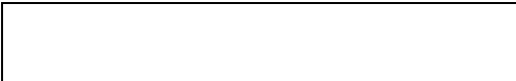
Отказами клапанов в условиях эксплуатации могут быть:

- Потеря герметичности по отношению к внешней среде по корпусным деталям;
- Потеря герметичности по отношению к внешней среде по сальниковому уплотнению;
- Потеря герметичности по отношению к внешней среде по неподвижным соединениям;
- Потеря герметичности в затворе (наличие утечек в затворе, превышающих установленные нормы);
- Невыполнение функции «закрыто», «открыто»;
- Несоответствие времени срабатывания (открытие, закрытие);
- Несоответствие гидравлических и гидродинамических характеристик клапанов давления указанным в паспорте на клапан (пропускная способность, расходная характеристика).

Признаки, характеризующие наличие развивающихся дефектов, приводящих к отказам:

1. Потеря герметичности по отношению к внешней среде по корпусным деталям:
 - Разрушение, с выбросом рабочей среды в атмосферу;
 - Разрушение уплотнительных поверхностей корпусных деталей;
 - Потение, капельная течь.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41



2. Потеря герметичности по отношению к внешней среде по сальниковому уплотнению:

- Разрушение сальника, с выбросом рабочей среды в атмосферу;
- Потеря герметичности в сальнике, не устранимая подтяжкой.

3. Потеря герметичности по отношению к внешней среде по неподвижным соединениям;

- Разрушение уплотнительного элемента;
- Потеря герметичности, устранимая подтяжкой.

4. Потеря герметичности на затворе;

5. Невыполнение функции «Закрыто»;

6. Невыполнение функции «Открыто»;

7. Несоответствие времени срабатывания (открытия, закрытия);

8. Несоответствие пропускной способности и расходной характеристики указанным в паспорте клапана.

Возможные неисправности в работе клапанов и способы их устранения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные неисправности клапанов и способы их устранения

Наименование неисправности (отказа)	Признаки неисправности	Причина неисправности	Способ устранения неисправности
Отказ клапана на перемещение подвижных частей	Затруднено или отсутствует перемещение штока	Попадание инородного тела между поверхностями поршня и	Произвести двух-трехкратное открытие и закрытие клапана ручным дублером. Если указанное

Продолжение таблицы 1

	протечка газа		
Появление протечек во внешнюю среду по штоку	Пропуск среды через отверстие контроля протечек	Повреждение уплотнений	Клапан разобрать, заменить уплотнительные элементы
Появление протечек во внешнюю среду по разъему «корпус – ответный фланец»	Пропуск среды по разъему «корпус – ответный фланец»	Ослаблена затяжка гаек фланцевого разъема «корпус – ответный фланец».	Выполнить подтяжку гаек (сбросив давление до нуля).
		Повреждение уплотнительной металлической прокладки.	Заменить уплотнительную прокладку.
Повышение протечки по затвору	Протечки через закрытый клапан выше допускаемых	Незакрытие клапана ввиду неправильной настройки привода.	Настроить привод согласно инструкции по эксплуатации на привод.
		Износ или повреждение уплотнительной поверхности поршня.	Клапан разобрать, поршень заменить.
		Износ или повреждение уплотнительных	Клапан разобрать, заменить уплотнительные

Продолжение таблицы 1

		элементов	элементы.
Снижение точности регулирования	Точность регулирования ниже требуемой	Износ деталей реечного механизма.	Клапан разобрать, заменить реечный механизм комплектно.
		Износ или повреждение отверстий сепаратора.	Клапан разобрать, заменить сепаратор.
		Сбились настройки привода.	Выполнить настройку привода.
Электропривод не срабатывает	Не происходит регулировка	Нет питания.	Проверить силовую цепь.
Несоответствие пропускной способности и расходных характеристик	Пропускная способность уменьшена	Частичное перекрытие проходного сечения регулятора инородными предметами.	Демонтировать регулятор с трубопровода, удалить инородные предметы и загрязнения из проходного сечения.
		Эрозионный, коррозионный или кавитационный износ элементов узла затвора	Необходим демонтаж регулятора с трубопровода и его разборка с последующим ремонтом или заменой элементов узла затвора

К критериям предельных состояний относятся:

- Начальная стадия нарушения целостности корпусных деталей (потение, капельная течь»);
- Протечка через сальниковое уплотнение, неустранимая подтяжкой и подбивкой уплотнителей;
- Необходимость приложить крутящий момент затяжки фланцевого прокладочного соединения для достижения герметичности последнего, превышающий предельную расчетную величину;
- Увеличение усилия на закрытие или открытие клапана более допустимой величины, приведенной в эксплуатационной документации на клапан;
- Дефекты штока и рейки, которые могут привести к их разрыву (трещины всех видов и направлений);
- Превышение предельно допустимых дефектов при сплошном контроле методами неразрушающего контроля;
- Изменение геометрических размеров и состояния поверхностей внутренних деталей, в том числе корпусных, влияющих на функционирование клапана (давления, в результате эрозионного, коррозионного и кавитационного разрушений).

Эксплуатация клапана должна быть остановлена при достижении предельных состояний.

В случае возникновения аварии и выхода клапана из строя с разливом газа – действовать согласно плана по предупреждению и ликвидации аварийных разливов газа, действующего на объекте.

Техническое обслуживание клапана

Порядок, периодичность и объем технического обслуживания клапана приведен в таблице 2.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 2 – Порядок, периодичность и объем технического обслуживания

Наименование работы	Периодичность выполнения работ
Наружный осмотр и контроль герметичности к внешней среде	1 раз в месяц
Проверка герметичности сальниковых уплотнений штока по отношению к внешней среде	1 раз в месяц
Проверка наличия смазки в приводе и клапане	1 раз в месяц
Проверка срабатывания клапана на открытие – закрытие	1 раз в год
Контроль целостности присоединения заземляющих проводников на корпусах, рамах и площадках обслуживания, шунтирующих перемычек на фланцевых соединениях	1 раз в месяц
Проверка наличия и целостности обозначений (технологический номер, стрелки направления потока, указатели «открыто – закрыто»)	1 раз в месяц
Очистка наружных поверхностей от загрязнения	1 раз в месяц

3.2 Описание регулирующего антипомпажного клапана типа К

Клапан осевой типа К предназначен для регулирования давления или потока (расхода) в линиях регулирования газа (ЛРГ) на объектах магистральных газопроводах, газозаправочных станциях, объектах добычи и подготовки газа.



Рисунок 8 – Клапан осевой типа К

Клапан антипомпажный КА используется в качестве исполнительного органа в системе антипомпажного регулирования газоперекачивающего агрегата компрессорных станций. Антипомпажные клапаны комплектуются пневматическими приводами П1 – одностороннего действия или П2 – двустороннего действия, обеспечивающие высокое быстродействие, с гидродублирующей системой и приборной частью, обеспечивающую работу клапанов в автоматическом режиме.

Клапаны регулирующие комплектуются пневматическими приводами П2 – двустороннего действия, так и электрическими или ручными приводами, и предназначены для дросселирования потока газа с целью поддержания выходного давления на газораспределительной станции.

Основными элементами клапана являются (рисунок 9):

- Единый литой корпус – 10;
- Поршень – 1;

- Шток поршня – 3;
- Шпиндель клапана – 2;
- Главные уплотнения – 16;
- Сепаратор – 6.

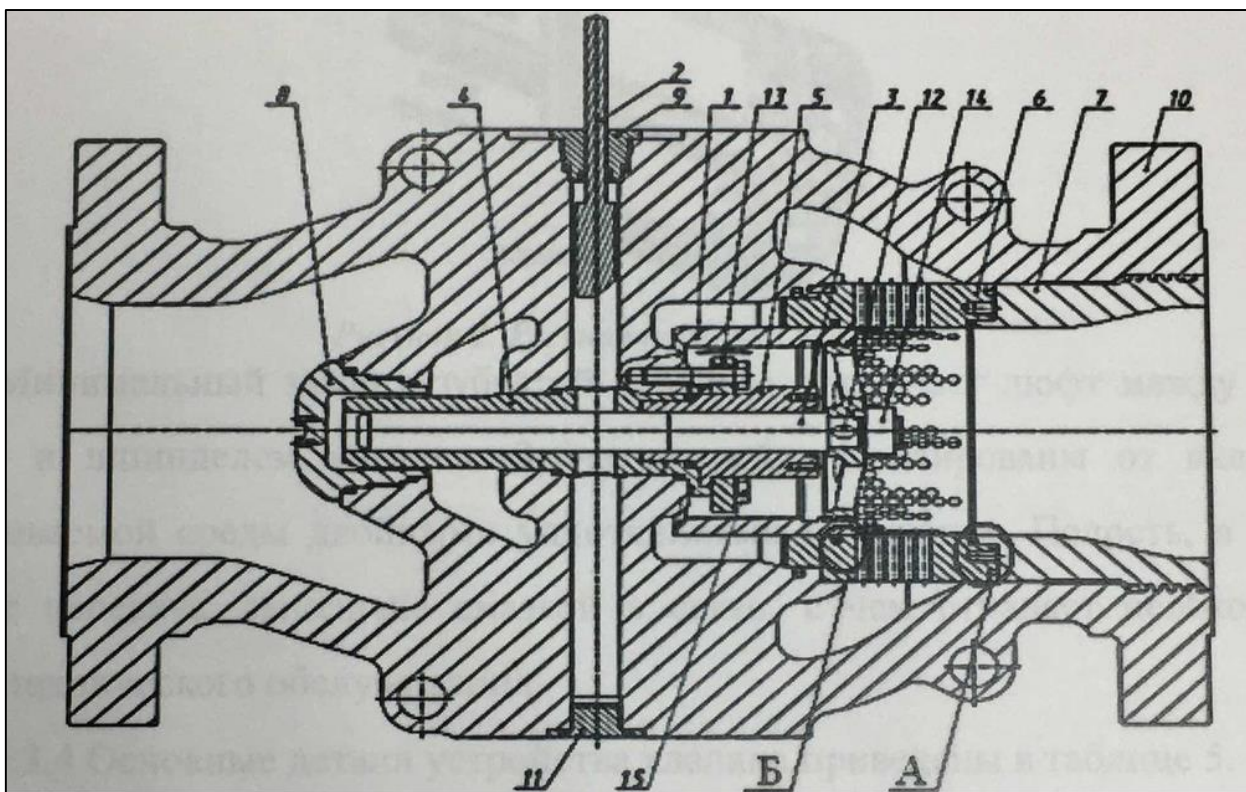


Рисунок 9 – Основные элементы клапана

Отличительные особенности клапана

Клапаны типа К – это регулирующие и антипомпажные клапаны с осевым перемещением поршня имеют следующие отличительные особенности:

1. Благоприятные условия протекания среды.

Геометрическая форма осевого корпуса клапана обеспечивает легкое прохождение через него среды независимо от положения регулирующего органа (поршня), а это снижает турбулентность и уровень шума.

2. Герметичность уплотнения.

Уплотнение выполнено в форме кольца трапецеидального сечения из мягкого уплотнительного материала. Специальная конструкция обеспечивает поджатие уплотнения давлением среды, гарантируя его герметичность.

3. Регулирование потока среды.

Механизм перекрывания потока осевого клапана состоит из перфорированного цилиндра (трима), вдоль оси которого перемещается полый поршень. Положение поршня по отношению к триму и форма отверстий трима определяют объем среды, пропускаемой клапаном.

4. Быстродействие.

Механизм перекрывания потока сконструирован таким образом, что поршень не испытывает почти никакого сопротивления вследствие перепада давлений на осевом клапане. Благодаря этому для работы клапана достаточно использовать легкий быстродействующий привод.

5. Приведение в действие.

Поршень осевого клапана закреплен на штоке с одной стороны. На другой стороне штока выполнены зубья с углом наклона 45 град., которые находятся в постоянном зацеплении, с аналогичными зубьями, на шпинделе. Перемещение шпинделя с помощью привода, приводит в линейное движение шток поршня вдоль трима, при перемещении шпинделя вверх поршень движется назад, и клапан принимает открытое положение.

Параметры рабочей среды

Рабочая среда – неагрессивный природный газ, содержащий жидкие углеводороды, этиленгликоль, турбинный масла, углекислый газ, метанол, воды и механические примеси в следующих количествах:

- влага и конденсат до 1500 мг/м³;
- размер отдельных частиц до 1 мм;
- сероводород (H₂S) не более 1 мг/м³;

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- натрий и калий (в сумме) не более 1 мг/м³;
- температура от минус 20°С до плюс 80°С, кратковременно до плюс 100°С;
- выше плюс 100°С по требованию заказчика.

Клапаны предназначены для эксплуатации на объектах газовых промыслов (ДКС, ПХГ и др.) для рабочих сред с повышенным содержанием сероводорода с углекислым газом до 30 % и более каждого и механических примесей до 25 мг/л, влаги и температурах выше 100°С изготавливают по требованию Заказчика, из материалов для указанных условий эксплуатации.

Направление потока среды – одностороннее, в соответствии со стрелкой на корпусе.

Клапаны антипомпажные и регулирующие с пневмоприводами, устанавливаются на трубопроводы горизонтального расположения. Клапаны регулирующие с электроприводами или ручными приводами, устанавливаются на горизонтальных, наклонных и вертикальных трубопроводах.

Клапаны сохраняют работоспособность в условиях эксплуатации свыше 6 до 9 по 12-ти бальной шкале сейсмической интенсивности MSK-64.

Условия безопасной эксплуатации

Для обеспечения безопасности работы при использовании клапана по назначению **ЗАПРЕЩАЕТСЯ**:

- Эксплуатировать при отсутствии паспорта на клапан настоящего РЭ;
- Перегружать клапан сверх указанной расчетной нагрузки трубопровода;
- Использовать клапан при рабочих параметрах, значения которых превышают указанные в паспорте;

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Эксплуатировать клапаны в случае протечки транспортируемой среды в окружающую среду.

Клапан не должен испытывать нагрузок от трубопровода (изгиб, сжатие, растяжение, кручение, перекосы, вибрацию, несоосность патрубков, неравномерность затяжки крепежа). При необходимости должны быть предусмотрены опоры или компенсаторы, снижающие нагрузку на клапан от трубопровода.

Перед техническим обслуживанием и ремонтом необходимо перекрыть клапан по входу и выходу, сбросить давление рабочей среды. Отсечь подвод управляющего газа на управление пневматическим приводом. Перед выполнением любых работ с электрооборудованием отключить подачу электропитания на него, обеспечить требования взрывобезопасности в условиях места производства работ.

При пусконаладочных работах и эксплуатации допускается возможность многократных гидравлических испытаний в составе технологической системы давлением 1,1 РN в закрытом состоянии клапана. Количество опрессовок – до 50 раз за назначенный срок службы.

Приварка клапана к трубопроводу должна производиться при открытом затворе, при этом следует обеспечить защиту внутренних полостей клапана и трубопровода от попадания варочного графа и окалины.

Обслуживающий персонал при проведении всех работ с клапаном (монтаж, разборки, ремонт, испытания и эксплуатации) должен иметь индивидуальные средства защиты рукавицы, спецодежду и т.д.).

Подготовка клапана к монтажу

Подготовка к монтажу клапанов производится в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.3-385-2009 с дополнениями и уточнениями.

Для обеспечения безопасной и безаварийной работы при монтаже клапана запрещается:

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Устранение перекосов патрубков трубопровода за счет деформации патрубков клапана;
- Использовать клапан в качестве опоры для оборудования и трубопровода;
- Класть на клапан отдельные детали, монтажный инструмент и посторонние предметы;
- Использовать ключи с удлиненными рукоятками;
- Использование клапанов в качестве технологического оборудования при проведении гидроиспытаний (на строящихся объектах), т.к. возможно засорение и поломка сепаратора, задир на поршне, выход и строя уплотнений с потерей герметичности и в конечном итоге потерей работоспособности клапанов.

Требования к месту установки

При установке регулирующего клапана в трубопровод необходимо: до места установки клапана и за ним предусмотреть прямые участки трубы (минимальная длина прямого участка – не менее 3 диаметра трубопровода до клапана и 3 диаметра после клапана). Прямые участки трубы обеспечат устойчивое течение газа на входе в клапан и сглаживание возмущений потока на выходе, перед тем как он войдет в изгиб трубопровода.

Место установки клапана должно быть выбрано с учетом возможности проведения регулярного контроля технического состояния приборов. Для управления клапаном в ручном режиме необходимо, чтобы был обеспечен доступ к гидродублиру.

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание клапанов должно проводиться в соответствии с разделом 8 СТО Газпром 2-2.3-385-2009 с дополнениями и уточнениями.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Технологическое обслуживание – комплекс организационных работ технических мероприятий по обслуживанию арматуры с целью поддержания ее в работоспособном состоянии и предотвращения выхода из строя.

Виды и периодичность технического обслуживания:

- Техническое обслуживание (ТО1) – один раз в месяц;
- Сезонное обслуживание (ТО2) – один раз в 6 месяцев.

Техническое диагностирование производится для определения их состояния, возможности дальнейшей эксплуатации, выполнения необходимых ремонтных работ без снятия клапанов с трубопровода.

Средний и капитальный ремонт арматуры проводится по результатам технического диагностирования.

Виды ремонта:

- Текущий ремонт, периодичность проведение – 1 год;
- Средний ремонт, периодичность проведения – 3 года;
- Капитальный ремонт по результатам технического диагностирования, периодичность проведения – 10 лет.

Возможные неисправности и способы их устранения

Таблица 3 – Основные неисправности и способы их устранения

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Клапан не открывается и не закрывается	Неисправность системы управления приводом	Проверьте подвод питания к приводу. Если привод питания в порядке, проверьте работу системы управления приводом

Продолжение таблицы 3

		при необходимости проведите ремонт.
	Неисправность привода	В случае применения клапана с пневматическим приводом проверьте работу привода.
Клапан не открывается и не закрывается полностью	Привод установлен неверно	Проверьте правильность установки привода, при необходимости переустановите привод
	Настройки привода заданы неверно	Проверьте правильность заданных параметров, при необходимости откорректируйте параметры настройки в соответствии с РЭ на привод
	Неисправность системы управления приводом	Проверьте подвод питания к приборной части. При необходимости восстановите источник питания. Проверьте подвод питания к электроприводу. При

Продолжение таблицы 3

		<p>необходимости восстановите подвод питания.</p> <p>Проверьте диапазон управляющего сигнала и отрегулируйте его.</p> <p>Проверьте работу элементов системы управления</p>
	Неисправность привода	Проверьте работу пневмопривода в соответствии с РЭ на привод.
Клапан не открывается и не закрывается при исправном состоянии привода	Произошло заклинивание поршня или есть внутреннее повреждение деталей или узлов клапана	<p>Демонтируйте клапан с трубопровода и проверьте, не заклинило ли поршень.</p> <p>При обнаружении удалите посторонний предмет.</p> <p>Проверьте, нет ли внутренних повреждений регулирующего клапана. При обнаружении неисправностей обратитесь на завод- изготовитель ОАО</p>

Продолжение таблицы 3

		«ТЭМЗ».
Небольшая утечка через закрытый регулирующий клапан	Легкое повреждение главного уплотнения	Откройте и закройте клапан несколько раз подряд. Проверьте, прекратилась ли течь. Если течь не прекратилась, необходима замена уплотнений. Для возможности замены уплотнений обратитесь на завод изготовитель ОАО «ТЭМЗ»
Большая утечка через закрытый регулирующий клапан	Регулирующий клапан закрыт не полностью	Проверьте работу привода
	Внутреннее повреждение деталей регулирующего клапана посторонними предметами	Демонтируйте клапана с трубопровода и проверьте, не заклинило ли поршень. При обнаружении удалите посторонний предмет. Проверьте, нет ли внутренних повреждений регулирующего клапана. При обнаружении

		неисправностей обратитесь на завод- изготовитель ОАО «ТЭМЗ»
--	--	--

3.3 Описание регулирующего антипомпажный клапан типа RZD

Регулирующий клапаны типа RZD фирмы «Mokveld Valves» спроектированы и созданы для использования в качестве отсечного или регулирующего элемента. Они предназначены для работы с газом и жидкостью и основаны на принципе осевого потока. Осевой поток формируется в прямолинейном симметричном проточном контуре между внутренним и наружным корпусами клапана. Регулирующий клапан представляет собой устройство поршневого типа. Он оснащен специально сконструированным тримом (седло, сепаратор, поршень и т.д.). [24]



Рисунок 10 – Антипомпажный клапан типа RZD фирмы «Mokveld Valves»[24]

Основными элементами регулирующего клапана являются: наружный корпус клапана, внутренний корпус, поршень, шток поршня, шток клапана и сепаратор (рис.1). внешний и внутренний корпуса представляют собой единую, цельнолитую деталь. [24]

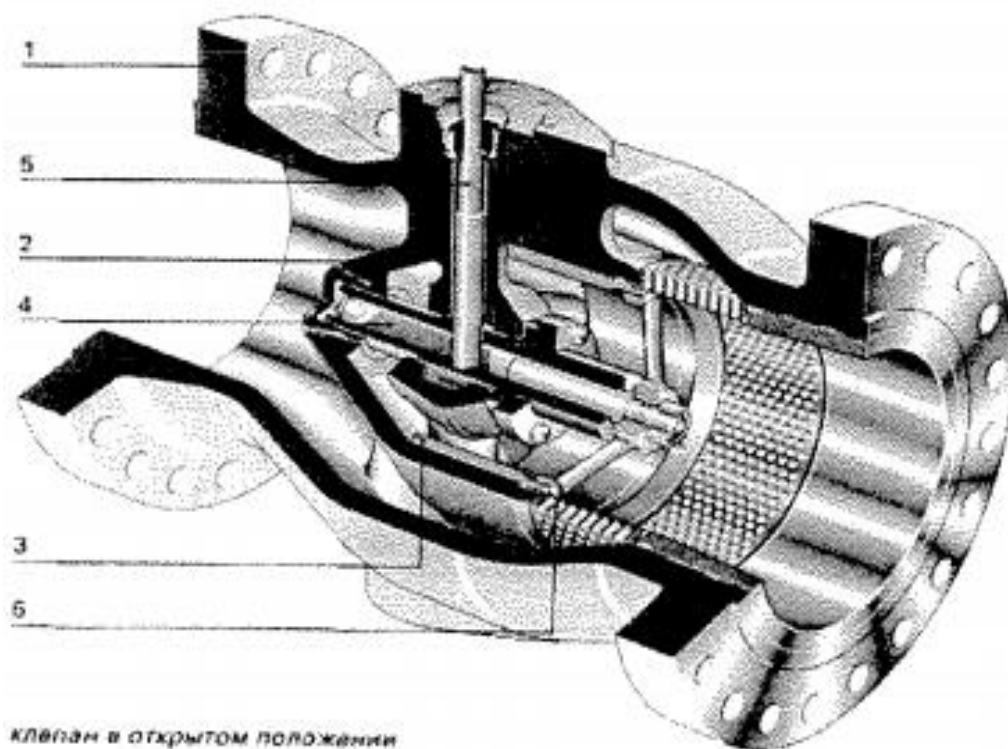


Рисунок 11 – Регулирующий клапан:

1 – наружный корпус клапана; 2 – внутренний корпус клапана; 3 – поршень; 4 – шток поршня; 5 – шток клапана; 6 – сепаратор [24]

Поршень движется в сепараторе. Дросселирование потока происходит между кромкой поршня и сепаратора. Поток всегда идет с наружной стороны сепаратора таким образом, что зона, в которой скорость среды максимальна, всегда находится в нем. При закрытии клапана главное уплотнение активируется за счет перепада давления в поршне. Это давление разжимает кольцо уплотнения и таким образом полностью отсекает поток.

Поршень перемещается при помощи реечной передачи, размещенной под углом 90° и состоящей из взаимоскользящих зубчатых реек с наклонными зубьями, выполненных на штоках поршня и клапана. Зубчатые

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

рейки, изолированные от внешней и перекачиваемой сред двойными уплотнениями на штоках. Полость, в которой работает передача, заполнена смазкой в связи с чем отпадает необходимость частого технического обслуживания.

Компоновка и работа системы управления

Регулирующий клапан типа RZD, используемый в качестве исполнительного органа в системе антипомпажного регулирования газоперекачивающих агрегатов и компрессорных цехов представляет собой сам клапан, пневмопривод одностороннего действия (нормально открытый) с гидродублирующей системой и приборную часть (комплект приборов), обеспечивающую работу клапана в автоматическом режиме.

Для работы антипомпажного клапана на приборную часть подается газ давлением 45-65 бар, который очищается от механических примесей в фильтре высокого давления, понижается до давления 6-12 бар в редукторе высокого давления и направляется в ресивер (емкость), расположенный в верхней части цилиндра пневмопривода.

Из ресивера газ выходит в трех направлениях:

- Первое – на предохранительный клапан, срабатывающий при повышении давления в ресивере свыше 15 бар;
- Второе – идет на два редуктора с фильтрами;
- Третье идет на бустер, который перепускает большой объем газа на поршень пневмопривода в зависимости от пневмосигнала с позиционера.

Дроссель служит для регулировки времени открытия и закрытия клапана и настраивается на заводе-изготовителе.

При получении управляющего электрического сигнала 20 мА, срабатывает электропневмопреобразователь и подает пневмосигнал на

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

позиционер, который усиливает его и подает в бустер. Последний перепускает газ из ресивера на пневмопоршень привода, заставляя его под действием давления газа опускаться вниз, сжимая пружины и, через систему реечного механизма шток привода – шток клапана, перемещать поршень клапана, перекрывая поток перекачиваемой среды.

При снижении управляющего электрического сигнала до 4 мА, уменьшается пневмосигнал и бустер перекрывает поток газа из ресивера на привод. Поршень последнего, под действием пружин поднимается вверх, сбрасывая газ через бустер и позиционер в атмосферу.

При получении электрического сигнала в пределах от 4 до 20 мА – открытие клапана пропорционально величине сигнала.

На случай аварийной ситуации (отключение подачи газа или электросигнала), система регулирования снабжена дублирующим устройством – гидросистемой с ручным насосом.

Для нормального функционирования системы управления осуществляется постоянный обогрев ее элементов при помощи обогревающей ленты и электротермообогревателя.

Требования к месту установки

При установке регулирующего клапана в трубопровод необходимо до места установки клапана и за ним предусмотреть прямые участки трубы (минимальная длина прямого участка – 3 диаметра трубопровода до клапана и 3 после него), обеспечивающие устойчивое течение газа на входе в клапан и сглаживание возмущений потока на выходе, перед тем как он выйдет в изгиб трубопровода.

Место установки клапана должно быть выбрано с учетом возможности проведения регулярного контроля за техническим состоянием приборов. Для управления регулирующим клапаном в ручном режиме необходимо, чтобы был обеспечен доступ к гидродублиру.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Техническое обслуживание

Регулирующие клапаны фирмы «Mokveld Valves» являются высокоточным, технологическим оборудованием не нуждающимся в регулярном техническом обслуживании. Они изготовлены для работы с длительным сроком службы при нормальных условиях эксплуатации и, если необходимо, без обслуживания.

Проверки технического состояния клапанов, находящихся в эксплуатации, предполагают поиск неисправностей (дефектов), приводящих к отключению в их работе и делятся на текущие и плановые (по графику).

Текущие проверки проводятся для проверки функционирования регулирующего клапана, его систем и отсутствия утечек.

К ним относятся:

- Ежедневные – выполняемые в соответствии с требованиями, предъявляемыми к регулирующей арматуре на предприятиях газовой промышленности.
- Плановые проверки – проводятся один раз в год или через несколько (3-5) лет работы клапанов и включают в себя ревизию приборной части, а в некоторых случаях и разборку клапана с заменой вышедших из строя узлов и деталей. Интервал между проверками зависит от условий эксплуатации. Тяжелые условия работы клапана предполагают более короткие интервалы между проверками. Рекомендуемый средний интервал – 5 лет.

Возможные неисправности

В процессе эксплуатации регулирующих клапанов возможно возникновение отдельных неисправностей. Для их устранения в таблице 4 приведена информация по некоторым неисправностям и способам их устранения.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4 – Основные неисправности и способы их устранения

Неисправность	Возможная причина	Способ устранения
Клапан не закрывается	Отсутствие питания привода или управляющего сигнала	Проверьте подвод питания и управляющего сигнала.
	Неисправность системы управления приводом.	Проверьте работ элементов системы управления и устраните неисправность.
	Неисправность привода.	Проверьте работу привода, отсоединив его от клапана
	Попадание между поршнем и сепаратором инородного тела.	Произведите демонтаж и ревизию клапана.
Клапан не открывается	Переключатель работы в положение «РУЧНОЕ».	Установить переключатель в положение «АВТОМАТИЧЕСКОЕ».
	Неисправность привода	Проверьте работу привода, отсоединив его от клапана.
	Попадание между поршнем и сепаратором инородного тела	Произведите демонтаж и ревизию клапана.

Продолжение таблицы 4

Клапан полностью не открывается или не закрывается	Упоры привода установлены неправильно.	Проверьте установку и при необходимости откорректируйте ее.
	Низкое давление питания привода	Проверьте подвод питания к приводу.
	Смещен диапазон управляющего сигнала	Проверьте диапазон управляющего сигнала и откорректируйте его.
	Неисправность в системе управления приводом.	Проверьте работу элементов системы управления
	Неисправность привода.	Проверьте работу привода, отсоединив его клапана
	Попадание инородного тела между поршнем и сепаратором	Произведите демонтаж и ревизию клапана.
Утечка через закрытый клапан: - незначительная - значительная	1. Незначительное повреждение уплотнения.	1. Несколько раз откройте и закройте клапан.
	1. Поршень клапана не дошел до конечного положения.	1. Проверьте источники питания. 2. Проверьте настройку позиционера.
	2. Значительное повреждение	2. Произведите демонтаж и ревизию

Продолжение таблицы 4

	уплотнения из-за попадания инородного тела	клапана. Замените уплотнение.
Утечка через опломбированный разгрузочный клапан	Уплотнение высокого давления не обеспечивает герметичность (повреждено или изношено).	Откройте и закройте несколько раз регулирующий клапан. ЗАКРОЙТЕ разгрузочный клапан и проверьте работу регулирующего клапана. При первой возможности замените уплотнения (в соответствии с графиком обслуживания).

Действия при чрезвычайных обстоятельствах

Если антипомпажный клапан подвергся воздействию чрезвычайных условий работы или окружающей среды, необходимо проверить:

- Визуально, нет ли внешних повреждений;
- Нет ли утечки через уплотнения;
- Правильно ли работает регулирующий клапан, привод и система управления;
- При работе с температурой газа превышающей допустимую, замените все уплотнения в клапане. Именная табличка на корпусе показывает допустимую рабочую температуру.

3.4 Сравнительная характеристика основных параметров антипомпажных клапанов

Таблица 5 – Сравнительная характеристика основных параметров антипомпажных клапанов

Основные параметры и характеристик и	Клапан осесимметричный DN700	Клапан осевой типа К	Антипомпажный клапан типа RZD фирмы «Mokveld Valves»
Рабочая среда	Неагрессивный природный газ	Неагрессивный природный газ	Природный газ
Применение	Запорно-регулирующая арматура, отсечная и антипомпажная арматура	Запорно-регулирующая арматура, отсечная и антипомпажная арматура	Запорно-регулирующая арматура, отсечная и антипомпажная арматура
Где применяется	Технологические обвязки КС, ДКС, ПХГ, газопроводы	Магистральные газопроводы, газозаправочные станции, технологические обвязки КС, ДКС, ПХГ	Технологические обвязки КС, ДКС, ПХГ, газопроводы
Класс опасности	3 по ГОСТ 12.1.007	3 по ГОСТ 12.1.007	3 по ГОСТ 12.1.007
Установка	Надземная на открытом воздухе,	Надземная на открытом воздухе	Надземная

Продолжение таблицы 5

	подземная		
Наличие защитных сооружений	Не требуется	Не требуется	Не требуется
Климатические условия	Макроклиматические условия с холодным климатом (ХЛ1), макроклиматические условия с умеренным климатом (У1)	Макроклиматические условия с холодным климатом (ХЛ1), макроклиматические условия с умеренным климатом (У1), макроклиматические условия с умеренным и холодным климатом (УХЛ1)	Макроклиматические условия с холодным климатом (ХЛ1), макроклиматические условия с умеренным климатом (У1)
Температура рабочей среды	От минус 60°С до плюс 80°С, кратковременно до 100°С	От минус 20°С до плюс 80°С, кратковременно до плюс 100°С	От минус 60°С до 93°С
Номинальное давление	4,0-25,0 МПа	2,5-25,0 МПа	2,0-42,0 МПа
Управление	Пневматический привод, ручной привод	Пневматический привод, электрический привод, ручной привод	Пневматический привод, гидравлический привод, электрический

Продолжение таблицы 5

			привод, ручной привод
Присоединение к трубопроводу	Фланцевое соединение	Фланцевое соединение, под приварку	Фланцевое соединение
Направление движения рабочей среды	Одностороннее, по направлению стрелки на корпусе	Одностороннее, по направлению стрелки на корпусе	Одностороннее, по направлению стрелки на корпусе
Срок эксплуатации	30 лет	10 лет	30 лет
Антикоррозион ное покрытие	Заводские наружное	Заводские наружное	Заводские наружное
Время открытия/закры тия	От 2 сек.	Менее 2 сек.	Менее 2 сек.
Класс герметичности	А; В; III; IV по ГОСТ 3056	А; В; III; IV по ГОСТ 3056	В соответствует стандарту ISO 15848-1
Размер	DN 150-1200 мм	DN 50-500 мм	DN 50-1820 мм
Сейсмичность районов эксплуатации ГОСТ 30546	До 9 баллов по шкале MSK-64	До 9 баллов по шкале MSK-64	До 9 баллов по шкале MSK-64
Техническое обслуживание (ТО 1)	Один раз в месяц	Один раз в месяц	Один раз в месяц

Продолжение таблицы 5

Сезонное обслуживание (ТО 2)	Один раз в год	Один раз в 6 месяцев	Один раз в 5 лет
Страна изготовитель	Россия, г. Волгодонск	Россия, г. Томск	Голландия, г. Гауда

Наиболее распространённое применение получили газовой отрасли получили антипомпажные клапаны DN700, типа К и типа RZD. Но какой клапан лучше? В чем их принципиальное различие и сходство?

Из зарубежных производителей самым надежным является клапан типа RZD голландской фирмы «Mokveld Valves». Фирма зарекомендовала себя как поставщик высокоэффективной и надежной продукции, способной обеспечить бесперебойную работу оборудования в эксплуатации. Антипомпажные клапаны показывают высокую точность регулирования даже при минимальной степени открытия. Динамический шум от корпуса снижен до минимума. Клапан компактен, имеет широкий диапазон регулирования, высокую пропускную способность – все эти показатели говорят о преимуществе данного клапана над другими. Установка клапана надземная с применением защитного кожуха, который позволяет продлить срок службы клапана без технического обслуживания. Конструкция клапана и материалы, из которых он изготовлен, позволяет пропускать рабочую среду температурой от минус 60°С до 93°С без вреда для клапана. Техническое обслуживание проводится раз в месяц для проверки функционирования систем и отсутствия утечек. Широкий диапазон диаметров (размеров) клапанов позволяет подобрать подходящий к определенному газопроводу. Самым важным показателем при выборе антипомпажного клапана является время срабатывания клапана. Клапаны типа RZD срабатывают менее чем за две секунды после получения сигнала с пульта управления. Это очень короткое время, которое позволяет избежать значительных затрат на ремонт

узла, где применяется данный клапан, или замену узла в целом. Срок эксплуатационной службы составляет 30 лет.

Отечественные производители в городах Волгодонск и Томск выпускают антипомпажную арматуру – клапаны осесимметричный DN700 и осевой типа К, соответственно.

При сравнении двух этих клапанов, клапан осесимметричный DN700 не значительно, но лидирует по нескольким позициям:

- Установка клапана может быть, как на надземный газопровод, так и на подземный;
- Широкий диапазон температуры рабочей среды от минус 60°C до плюс 80°C;
- Диаметр (размер) клапана от 150 до 1200 мм;
- Срок эксплуатации 30 лет.

В свою очередь, клапан осевой типа К не имеет большого срока эксплуатации и большого диаметра (размера), что говорит о не повсеместном применении данного клапана. Но имеет наименьшее время срабатывания клапана – менее 2 секунд. Так же клапан типа К имеет два исполнения привода – пневматический и электрический привод. Хотя диаметр (размер) клапана не большой, максимальный 500 мм, он имеет высокую пропускную способность. Так же клапан имеет такие плюсы как: плавность и точность регулирования, двустороннюю герметичность. Безопасное положение в случае аварии обеспечивается требованием по установке клапана. Установка клапана производится при удовлетворении наличия прямого участка перед клапаном и после него. Длины участков должны быть не менее трех диаметров трубопровода.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Вывод по разделу:

Разработка антипомпажного клапана осевого типа К началась в 2013 году. Данная разработка является собственной разработкой компании ТРЭМ с применением передовых технологий проектирования и компоновки. Контроль качества производится на всех этапах производства клапанов: от контроля качества заготовок и комплектующих до выпуска готовой продукции. До 2023 года ТРЭМ выпустит 903 клапана для газопроводов «Сила Сибири».

В то время как ТРЭМ занимается разработкой антипомпажного клапана 8 лет, фирма «Mokveld Valves» разрабатывает данный клапан на протяжении 50 лет.

Выбор антипомпажного клапана основан на представлениях о его конструкции и стоимости клапана. Антипомпажный клапан типа RZD фирмы «Mokveld Valves» проигрывают только по этому критерию. Стоимость клапана типа RZD значительно выше стоимости отечественных клапанов.

Антипомпажные клапаны являются важнейшими элементами в технологических схемах. Неисправность или отказ регулирующего клапана может серьезно повлиять на работу установки, состояние окружающей среды и, в конечном итоге, получаемую прибыль. Выбор клапана должен основываться на серьезных технических и экономических аргументах, с учетом долгосрочной перспективы. Клапаны фирмы «Mokveld Valves», с подтвержденными на практике эксплуатационными качествами, позволяют снизить расходы на техническое обслуживание и потери производственного времени. Антипомпажный клапан типа RZD обеспечат безопасную и надежную работу установки.

					Анализ применения антипомпажных клапанов отечественного и зарубежного производства	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

производительность. Для каждого газоперекачивающего агрегата используют оборудование с разными техническими характеристиками.

3D модель имеет не мало важную роль для конструирования клапана, так как при создании трехмерной модели, в специальных программах, типа SolidWorks, Ansys, можно смоделировать течение рабочего агента через клапан и посмотреть, как он будет вести себя в рабочем режиме, где будут максимальные нагрузки, обеспечит ли клапан требуемое направление течения газа. На основе расчетов и трехмерной модели ведется конструирование, учитываются состав перекачиваемой среды, требования заказчика касаясь восстановления давления клапаном, подбирают необходимый сепаратор (трим).

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Срок службы	0,13	3	2	0,39	0,26
2. Ремонтопригодность	0,1	4	2	0,4	0,2
3. Надежность	0,12	3	3	0,36	0,36
4. Простота ремонта	0,1	3	2	0,3	0,2
5. Удобство в эксплуатации	0,08	4	3	0,32	0,24
6. Уровень шума	0,11	4	3	0,44	0,33
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	0,12	0,09
2. Уровень проникновения на рынок	0,08	4	2	0,32	0,16
3. Цена	0,1	3	3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	0,28	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	3	0,24	0,18
6. Наличие финансирования поставщиками оборудования	0,02	2	3	0,04	0,06
Итого	1	43	33	3,51	2,66

Б_ф – Применение клапана осевого типа «Mokveld»;

$B_{к1}$ – Применение антипомпажного клапана осевого потока.

По таблице 6 видно, что наиболее эффективно использовать клапан фирмы «Mokveld», так же он является наиболее конкурентоспособным к другому виду, так как обладает рядом преимуществ, например, уникальная система уплотнений, не требующая частого обслуживания, а также минимальное 88 количество подвижных частей, что обеспечивает оперативность открытия и закрытия клапана.

$$k_1 = \frac{B_{\phi}}{B_{к1}} = \frac{43}{33} = 1,3 \quad (10)$$

4.2 SWOT – анализ

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

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа:

1. Сильные стороны проекта:

- Простота механизма;
- 100% герметичность во всем диапазоне давлений;
- Использование 3D моделирования;
- Квалифицированный персонал.

2. Слабые стороны проекта:

- Дороговизна клапана и вспомогательного оборудования;

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Невозможность проверки технических характеристик на лабораторных стендах;

- Внутренние производственные проблемы.

3. Возможности проекта:

- Сотрудничество с изготовителями антипомпажных клапанов осевого типа;

- Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;

- Повышение стоимости конкурентных разработок.

4. Угрозы проекта:

- Отсутствие спроса на новые производства;

- Снижение бюджета на разработку;

- Высокая конкуренция в данной отрасли.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа. Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 2, табл. 3, табл. 4, табл. 5.

Таблица 8 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	-	0
	B2	-	-	+	-
	B3	-	0	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: В1С1С2, В2С3.90

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: В1Сл1.

Таблица 10 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

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

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1У3С1С2.

Таблица 11 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	0
	У2	-	0	-
	У3	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (табл. 12).

Таблица 12 – Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	научно-исследовательского проекта: С1: Простота механизма; С2: 100% герметичность во всем диапазоне давлений; С3: Использование 3D моделирования; С4: квалифицированный персонал.	научно-исследовательского проекта: Сл1: Дороговизна клапана и вспомогательного оборудования; Сл2: Невозможность проверки технических характеристик на лабораторных стендах; Сл3: Внутренние производственные

Продолжение таблицы 12

		проблемы;
<p>Возможности:</p> <p>В1: Сотрудничество с изготовителями антипомпажных клапанов осевого типа;</p> <p>В2: Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В3: Повышение стоимости конкурентных разработок;</p>	<p>В1С1С2 – данный клапан, обладающий такими сильными сторонами как простота и полная герметичность, можно успешно продвигать на рынке, внедряя его в компании различных размеров.</p> <p>В2С3 – при использовании инфраструктуры ТПУ можно использовать оборудование университета и создавать 3D модели для последующего расчета.</p>	<p>В1Сл1 – проблему дороговизны можно решить путем применения более дешевых материалов с аналогичными свойствами, а также изменить технологию производства клапана и его элементов в сторону удешевления. При этом необходимо сохранить технические характеристики клапана.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1: Отсутствие спроса на новые производства;</p> <p>У2: Снижение бюджета на разработку;</p> <p>У3: Высокая конкуренция в данной отрасли.</p>	<p>У1У3С1С2 – клапан прост в устройстве и имеет уникальную систему уплотнений. Эти показатели являются одними из важнейших, в дальнейших разработках будут применяться те же самые принципы, следовательно, клапан будет так же востребован, как и сейчас. По этим же</p>	<p>У1Сл1 – угроза отсутствия спроса обусловлена ценой клапана и дополнительного оборудования. Необходимо прибегнуть к снижению цены за счет удешевления производства клапана, а также акцентировать внимание возможного</p>

Продолжение таблицы 12

	<p>показателям велика вероятность, что клапан будет дальше занимать свою нишу на рынке</p>	<p>потребителя на сильных сторонах проекта, т.е. за счет надежности, редкого обслуживания, легкости в ремонте, клапан быстро окупает себя.</p>
--	--	--

4.3 Планирование выполнения работ

4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Определение структуры работ в рамках научного исследования;
- Определение участников каждой работы;
- Установление продолжительности работ;
- Построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 13

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы исследований	1	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, исполнитель
	2	Выбор алгоритма исследований	Руководитель,
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Руководитель,
Разработка тех. задания	4	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	Исполнитель
	6	Проектирование модели и проведение экспериментов	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель, Исполнитель
Оформление отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, Исполнитель

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к.

зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5} \quad (11)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{t_i} \quad (12)$$

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

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

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

4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих 95 дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (13)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (14)$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22 \quad (15)$$

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

Все рассчитанные значения сведены в табл. 14.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих	Длительность работ в календа
	t_{min} , Чел - дни	t_{max} , Чел- дни	$t_{\text{ож}}$, Чел- дни			

Продолжение таблицы 14

					дней, T_{pi}	рных дней, T_{ki}
Календарное планирование работ по теме	3	6	4,2	Руководитель, Исполнитель	2	3
Составление и утверждение тех. задания	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	16
Согласование материалов по теме	5	8	6,2	Руководитель	6	8
Проведение теоретических расчетов и обоснование	6	18	10	Исполнитель	10	13
Проектирование 3D модели клапана	3	12	6,6	Исполнитель	7	9
Оценка результатов исследования	3	5	3,8	Руководитель, Исполнитель	2	3
Составление пояснительной записки	7	16	11,4	Руководитель, Исполнитель	6	8

На основе таблицы 14 строим план график, представленный в таблице 15.

Таблица 15 - Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Ткi, кал. дни	Продолжительность выполнения работ														
				Фев.		Март			Апрель			Май						
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	Составление и утверждение тех. задания	Р	3															
2	Подбор и изучение материалов по теме	И	18															
3	Согласование материалов по теме	Р	9															
4	Календарное планирование работ по теме	Р,И	3															
5	Проведение теоретических расчетов и обоснование	И	15															
6	Проектирование 3D модели клапана	И	10															

Продолжение таблицы 15

7	Оценка результатов исследования	Р,И	3,8																	
8	Составление пояснительной записки	Р,И	9																	

■ - руководитель □ -исполнитель

4.4. Бюджет проведения работ

Материальные затраты включают затраты на изготовление опытного образца. Все необходимое спецоборудование и затраты на его приобретение представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Смета затрат на реализацию проекта

№	Оборудование	Количество, шт.	Цена за шт., руб.	Стоимость комплекта, руб.
1	Регулирующий клапан Mokveld RZD	1	1300000,00	1300000,00
2	Пневмопривод Mokveld DW (при исполнении 1)	1	850000,00	850000,00
3	Гидравлический привод Mokveld (при исполнении 2)	1	1250000,00	1250000,00
4	Фильтр высокого давления Epe	1	16301,60	16301,60
5	Редуктор высокого давления Fisher	1	83751,36	83751,36
6	Редуктор с фильтром Fairchild	2	15778,16	31556,32
7	Позиционер Moore	1	80012,46	80012,46

Продолжение таблицы 16

8	Эл-пневмопреобразователь Hartman&Braun	1	80984,57	80984,57
9	Предохранительный клапан Welker	1	18470,17	18470,17
10	Ленточный нагревательный кабель Bartec	1	46287,58	46287,58
11	Конечный выключатель Bartec	2	10917,59	21835,18
12	Блокирующий клапан Fisher	1	58625,95	58625,95
13	Нагревательный элемент Intertec	1	40081,01	40081,01
14	Гидроблок в сборе	1	160270,99	160270,99
15	Гидрожидкость Shell Aerofluid 41	3	882,56	2647,68
16	Комплект фитингов приборной части	1	81283,69	81283,69
	Итого:			При исполнении 1: 2872108,56 При исполнении 2: 3272108,56

Для проведения научного исследования нам необходим компьютер, с установленными на него специальными программами и с нужным нам программным обеспечением

Затраты на покупку компьютера:

$$Z = d_k + d_{\text{по}} = 25000 + 3000 = 28000 \text{ руб.} \cdot 100 \text{ (16)}$$

где d_k – стоимость компьютера;

$d_{\text{по}}$ – стоимость программного обеспечения.

Установка специальных программ для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Таблица 17 - Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнитель и по категориям	Трудоемкость исполнения 1 (исполнения 2), чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу для исполнения 1 (исполнение 2), тыс. руб.
1	Календарное планирование работ по теме	Р,И	2 (3)	1,16	2,32 (3,48)
2	Выбор темы исследований	Р	7 (9)	0,93	6,51 (8,37)
3	Составление	Р	2 (2)	0,93	1,86 (1,86)

Продолжение таблицы 17

	и утверждение тех. задания				
4	Подбор и изучение материалов по теме	И	12 (12)	0,23	2,76 (2,76)
5	Проведение теоретически х расчетов и обоснование	И	8 (9)	0,23	1,84 (2,07)
6	Проектирован е 3D модели клапана	И	6 (9)	0,23	1,38 (2,07)
7	Оценка результатов исследования	Р,И	4 (5)	1,16	4,64 (5,8)
8	Составление пояснительно й записки	Р,И	5 (5)	1,16	5,8 (5,8)
Итого:					27,11 (32,21)

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (17)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}} \quad (18)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51413 \cdot 10,4}{185} = 2285 \text{ руб.} \quad (19)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

Таблица 18 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	66	66
Потери рабочего времени:	62	72

Продолжение таблицы 18

- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	234	227

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} = 23264 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 51413 \text{ руб.},$$

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

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

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

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $З_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $Tci = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и 103 учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

За основу оклада берется ставка работника ТПУ, согласно занимаемой должности. Из таблицы окладов для доцента (степень – кандидат наук) – 23264 руб., для ассистента (степень отсутствует) – 14584 руб.

					Лист
					91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Таблица 19 - Расчет основной заработной платы для исполнения 1

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,285	20	45,7
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	0,869	37	32,153
Итого:								77,853

Таблица 20 - Расчет основной заработной платы для исполнения 2

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	23264	0,3	0,4	1,3	51413	2,285	24	54,84
Исполнитель	14584	0	0	1,3	18959	0,869	43	37,4
Итого:								92,24

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и 104 общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 45700 = 5941 \text{ руб}; (21)$$

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 32153 = 4180 \text{ руб}, (22)$$

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

Для исполнения 2 расчет дополнительной заработной платы составит:

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 54840 = 7129 \text{ руб; (23)}$$

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,13 \cdot 37367 = 4858 \text{ руб, (24)}$$

Таблица 21 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс. руб
	Исполнение 1 (Исполнение 2)	
Руководитель	45,700 (54,840)	5,941 (7,129)
Исполнитель проекта	32,153 (37,367)	4,180 (4,858)
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого		
Исполнение 1 (Исполнение 2)	26,568 (31,467)	

Прочие расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, пишущие принадлежности, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 22 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб. (исполнение 1)	Сумма, руб. (исполнение 2)	Примечание
1. Материальные затраты	2872108	3272108	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	77853	92207	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10121	11987	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	26568	31467	
5. Затраты на покупку компьютера	28000	28000	
6. Прочие расходы	24000	24000	
7. Накладные	482152	553561	
8. Бюджет затрат НТИ	3495602	4013330	Сумма ст. 1-6

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проведения работ

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель 107 финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (25)$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Для 1-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{3495602}{4013330} = 0,871$$

Для 2-ого варианта исполнения имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{4013330}{4013330} = 1$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (26)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Таблица 23 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэф.	Клапан осевого типа с гидравлическим приводом	Клапан осевого типа с другим видом привода	Клапан осевого типа с пневмоприводом
1. Безопасность	0,1	4	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	3	4	4
3. Срок службы	0,15	3	3	5
4. Ремонтопригодность	0,20	3	5	5
5. Надёжность	0,25	4	4	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	3	5
Итого:	1	3,5	3,9	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,6.$$

$$I_p = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,9.$$

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

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

Таким образом, клапан осевого типа «Mokveld» с пневмоприводом остается эффективным и сохраняет конкурентоспособность.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность данного технического решения. Также был посчитан

бюджет НИИ, равный для первого и второго исполнений соответственно 3495602 и 4013330 руб., основная часть которого приходится на материальные затраты, связанные с приобретением спецоборудования. Внедрение клапана осевого типа «Mokveld» позволяет получить большой экономический эффект за счет простоты конструкции, и как следствие, снижения затрат на его обслуживание. Герметичность клапана позволяет предотвратить утечки рабочего агента, что положительно сказывается на устойчивости работы всей системы, а значит предотвращает вероятность чрезвычайной ситуации, последствия которой влекут большие материальные убытки.

					Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лист
						97
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Выпускная квалификационная работа посвящена исследованию антипомпажного регулирования на компрессорных станциях, которые используются для компримирования газа. В связи с этим данный раздел ВКР посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при работе с центробежным компрессором, входящим в состав ГПА ДКС. В качестве персонала рассматривается машинист технологических компрессоров.

Рабочим местом машиниста является машинный зал газоперекачивающего агрегата.

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

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях			
Разраб.		Байдулатова М.А.			Социальная ответственность	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Сарцев А.Л.					98	117
Консульт.		Фех А.И.				ТПУ гр. 257А		
Рук-ль ООП		Бричник О.В.						

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Дожимная компрессорная станция (ДКС) является объектом повышенной опасности для всего персонала. Она также является объектом, на котором установлено дорогостоящее оборудование, эксплуатировать которое должны специалисты предприятия, прошедшие обучение и имеющие допуск к работе оборудования, транспорта. Такие специалисты должны знать, как действовать в нештатных ситуациях и в случаях аварий. Правила безопасного ведения работ регламентируются ФНП N 101 от 12.03.2013 "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности", который разработан в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 года N 401 "О Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору".

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке. Лица женского пола могут привлекаться к проведению отдельных газоопасных работ, предусмотренных технологическими регламентами и инструкциями и допускаемых законодательством о труде женщин. К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.

Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда; руководителей и специалистов, лиц, ответственных за безопасную эксплуатацию газового хозяйства и ведение технического надзора, а также

					Социальная ответственность	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

лиц, допускаемых к выполнению газоопасных работ, должно проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию. Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

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

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

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

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

Вывод: в данном разделе проведен анализ вредных факторов таких как повышенный уровень шума, повышенный уровень вибрации. Выявлены опасные факторы производства: повышенная температура маслосистемы, пожаровзрывоопасность, наличие вращающихся механизмов.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						100
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5.2 Производственная безопасность

Таблица 24 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Повышенная температура маслосистемы	-	-	+	ГОСТ 12.2.062 Оборудование производственное. Ограждения защитные.
Пожароопасность	-	-	+	Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
Наличие вращающихся механизмов	-	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
Повышенный уровень шума на рабочем	-	+	+	ГОСТ 12.1.003-14 ССБТ Шум. Общие требования

Продолжение таблицы 24

месте				ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ Средства и методы защиты от шума. Общие требования.
Повышенный уровень вибрации	-	-	+	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ Вибрационная безопасность. Общие требования.

Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.

На дожимной компрессорной станции основным рабочим органом является привод и центробежный компрессор. На данных агрегатах имеются вращающиеся механизмы. Размещение оборудования, расположение рабочих мест, ширина проездов и проходов предусмотрены в соответствии с нормами технологического проектирования (СН 433-71, ВНТП 01-81) и обеспечивают свободный доступ к оборудованию, безопасное ведение работ (ширина проходов между технологическим оборудованием составляет не менее 0,5 метра). Также в качестве средств защиты необходимо использовать защитные экраны, закрывающие непосредственно рабочие части агрегата по ГОСТ 12.2.062-81.

Причиной пожара может стать утечка газа, дизельного топлива, которые используются в качестве топлива в приводе. В качестве меры профилактики должны использоваться системы контроля загазованности. На компрессорной станции должна предусматриваться система пенного пожаротушения, состоящая из резервуара с водой, насосной станции, сети пенных трубопроводов. Также должен быть противопожарный трубопровод с

установленными гидрантами. Обязательно наличие огнетушителей на территории компрессорной станции.

Маслосистема представляет собой совокупность трубопроводов, окутывающих центробежный компрессор. Контакт с системой при работающем агрегате может привести к ожогам различной степени, в зависимости от времени контакта и температуры. В качестве средства защиты необходимо использовать термостойкие перчатки.

Внедрение клапана осевого типа фирмы «Mokveld» требует установку дополнительных датчиков для контроля работы клапана и всей системы в целом. Потребление электроэнергии невелико, следовательно, установка дополнительной молниезащиты и защиты от статического электричества не требуется. Питающее напряжение, необходимое для работы датчиков, мало и в случае возникновения искр является недостаточным для возгорания маслосистемы. Таким образом, дополнительное электрооборудование не является возможной причиной пожара.

Анализ выявленных вредных факторов производственной среды

Клапан осевого типа фирмы «Mokveld» обеспечивает полную герметичность, следовательно, утечки газа возможны через фланцевые соединения, участки трубопроводов. Особенностью природного газа, такого как метан, является отсутствие цвета и запаха. Для обнаружения утечки необходимо производить одоризацию газа – добавление специальных веществ со специфическим «запахом газа». Предусмотрен периодический контроль качества воздуха на рабочих площадках с отбором проб и их анализом в испытательной лаборатории месторождения.

В зависимости от длительного и интенсивного воздействия шума происходит снижение чувствительности органов слуха, которое выражается временным смещением порога слышимости, исчезающим после прекращения воздействия шума. При большой интенсивности и длительности шума

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						103
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

происходят такие необратимые потери слуха, как тугоухость, которая характеризуется постоянной изменой порога слышимости.

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

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

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

Октавные уровни звукового давления в соответствии с дополнением 4 к СНиП 1.02.01-85 и на рабочих площадках не должны превышать 80 дБ. Однако при работе уровень шума на ДКС может достигать 120 дБ.

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

Для локализации источников шума установки предусмотрено расположение оборудования на отдельных технологических площадках.

Согласно ГОСТ 12.1.029-80 внутреннюю часть стен блока, где находится ЦК, следует покрыть шумопоглощающей изоляцией. Также возможно применение звукоизолирующего кожуха непосредственно для центробежного компрессора. В качестве средств индивидуальной защиты согласно ГОСТ 12.1.029-80 у персонала должны быть противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи, либо противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход и прилегающие к нему.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						104
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

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

Воздействие локальной вибрации на организм человека приводит к головным болям, тошноте; оказывает воздействие на процесс кровообращения и нервные окончания. По ГОСТ 26568-85 к коллективным средствам защиты от вибрации относятся активные средства виброзащиты. К индивидуальным средствам защиты от вибрации относятся специальные вибродемпфирующие перчатки, рукавицы, нагрудники, специальные костюмы, обувь.

5.3 Экологическая безопасность

Защита селитебной зоны

При строительстве дожимных компрессорных станций, в которых в качестве привода центробежных компрессоров используются газотурбинные установки, газопоршневые, дизельные двигатели, учитываются нормы санитарно-защитной зоны согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Для снижения неблагоприятного воздействия на организм человека и на окружающую среду для станции данная зона составляет 500м. С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми приводами, размещение приводов осуществляется с учетом господствующего направления ветра, чтобы уменьшить попадание веществ, загрязняющих атмосферный воздух, на селитебную зону.

Воздействие на атмосферу

Приводом центробежного компрессора на ДКС является газотурбинная установка, использующая в качестве топлива природный газ, дизельное топливо. В общем случае продукты сгорания данного топлива могут содержать:

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						105
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

- Продукты полного сгорания горючих компонентов топлива;
- Компоненты неполного сгорания топлива.

Выхлопные газы с продуктами неполного сгорания загрязняют атмосферу. Частицы, содержащиеся в выхлопном газе, наносят вред здоровью человека, попадая в органы дыхания.

Для снижения концентрации вредных веществ выхлопных газов необходима более тщательная подготовка топливного газа, для снижения содержания механических примесей, т.е. его дополнительное очищение.

Воздействие на гидросферу

Возможным воздействием является разлив смазочно- охлаждающих жидкостей, а также отработанного масла поршневого компрессора и двигателя, в случае несоблюдения правил замены жидкостей и их транспортировки.

Воздействие на литосферу

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

Решения по обеспечению экологической безопасности

При выполнении работ по наливу, сливу, зачистке транспортных средств и хранилищ следует соблюдать инструкции и правила техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности, разработанные для каждого предприятия с учетом специфики производства. Работающие с нефтепродуктами должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-15.

					Социальная ответственность	Лист
						106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

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

Устройства полигонов твердых бытовых отходов должны организовываться в соответствии с СанПиНом 2.1.7.1038-01.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Нефтегазодобывающие, газотранспортные предприятия являются источником техногенных чрезвычайных ситуаций, однако на территориях их расположения могут возникать и чрезвычайные явления природного происхождения. Основным документом, регламентирующим пожарную безопасность в РФ, являются Правила противопожарного режима.

Для координации пожарно-профилактической работы на объектах предприятия издается приказ, которым определяются мероприятия по предупреждению и подготовке к тушению природных пожаров; перечень техники, выделяемой для тушения пожаров; разрабатывается порядок взаимодействия с подразделениями пожарной охраны.

Вопросы пожарной безопасности рассматриваются на ежемесячных селекторных совещаниях по охране труда, промышленной и пожарной безопасности под руководством главного инженера. В соответствии с требованиями приказа МЧС РФ от 12 декабря 2007 г. № 645 «Об

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						107
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

утверждении Норм пожарной безопасности «Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций» проводится работа по обучению персонала мерам пожарной безопасности:

- Обучение по программам пожарно-технического минимума;
- Проведение инструктажа по пожарной безопасности работникам сторонних организаций, привлекаемых для работы на объектах организации;
- Проведение противопожарных инструктажей для работников.

В подразделениях предприятия регулярно проводятся теоретические и практические занятия (тренировки) с добровольными пожарными дружинами, а также практические тренировки по эвакуации людей в случае возникновения пожара на объектах с массовым пребыванием людей.

Возможные чрезвычайные ситуации техногенного характера, возникновение которых вероятно при работе ДКС, а также способы их предотвращения, и устранения сведены в таблицу 2.

При всех возникших чрезвычайных ситуациях персонал ДКС, не участвующий в ликвидации последствий, следует эвакуировать. Кроме того, для снижения последствий той или иной аварии должно быть организовано систематическое обучение персонала ДКС действиям во время чрезвычайных ситуаций.

Во время чрезвычайных ситуаций на ДКС управление объектами осуществляет комиссия, организуемая на ДКС, под управлением начальника ДКС или сменного диспетчера, или старшего по смене - сменного инженера или начальника цеха. Комиссия обеспечивает эвакуацию людей из зоны аварии, четкую работу специализированных служб ДКС, взаимодействия с подразделениями пожарной охраны, спасательными отрядами и воинскими подразделениями. При возникновении пожара производственный персонал обязан действовать согласно плану ликвидации возможных аварий.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						108
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть на объекте

Таблица 25 – Анализ возможных чрезвычайных ситуаций на ДКС

Наименование возможной ЧС	Условия возникновения ЧС	Возможные последствия ЧС	Методы и средства предотвращения ЧС	Мероприятия по локализации
Пожар на территории ДКС	Нарушение правил противопожарного режима	Распространение пожара по всей территории, угроза взрыва оборудования, человеческие жертвы, экологическая катастрофа	- соблюдение правил противопожарного режима - в пожароопасный период необходимо обеспечивать противопожарные мероприятия	- вызвать пожарную бригаду, при небольших масштабах пожара приступить к его тушению собственными силами до приезда пожарных - в случае воспламенения газа на коммуникациях ДКС и невозможности быстрой ликвидации возгорания – остановка ГТУ со стравливанием газа из всей обвязки ДКС - эвакуировать людей
Воспламенение масла	Разрыв маслопровода, попадание масла на горячие участки оборудования, проведение пожароопасных работ вблизи масло-объектов	Аварийная ситуация на ГПА, выход из строя системы защиты, пожар.	Контроль за плотностью разъемов маслопроводов, проведение пожароопасных работ при наличии средств пожаротушения	Использование пожарной сигнализации и средств пожаротушения, прекращение подачи масла на объект
Взрыв природного	Утечка природного	Взрыв с разрушением	Постоянный контроль за	Использование пожарной

Продолжение таблицы 25

газа, используемого в качестве рабочего тела ГТУ	газа, наличие открытого источника пламени	конструкций укрытия и агрегата, пожар	плотностью тракта, особый контроль при проведении ремонтов, запрет пожароопасных работ при наличии газа в обвязке; планово-предупредительные обследования трубопроводов	сигнализации и средств пожаротушения, прекращение подачи топливного газа. Расчет остекления помещения нагнетателя.
Разрыв газопровода и утечка газа	Повреждение газопровода	Взрыв, пожар, прерывание транспорта газа	Контроль параметров компримируемого газа, планово-предупредительное обследование трубопроводов	Останов работы ДКС, закрытие арматуры, стравливание газа
Короткое замыкание и возгорание кабелей	Механические повреждения, попадание воды, износ проводки, чрезмерное нагружение электросети	Пожар на ГЩУ, авария генератора	Эксплуатация электропотребителей на ГЩУ, и кабелей генератора согласно утвержденным правилам технической эксплуатации	Использование пожарной сигнализации и средств пожаротушения, отключение от сети энергопотребителей
Разрушение укрытия, повреждения оборудования или агрегата	Сильные снегопады, сильный ветер, ураган	Поломка оборудования, взрывопожароопасная ситуация, повреждение линий связи	Прогноз погоды, оповещение персонала	Аварийный останов агрегата, разбор завалов, устранение повреждений

Также возможными ЧС на объекте могут быть:

- Аварийная остановка при превышении частоты вращения;
- Нарушение рабочего режима маслосистемы;
- Аварийная остановка при превышении уровня вибрации;
- Аварийная остановка при превышении уровня шума;
- Аварийная остановка при превышении допустимой температуры деталей компрессора;
- Пожар при повреждении системы подачи топлива в привод.

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для предупреждения проявления данных чрезвычайных ситуаций необходимо соблюдать график технического обслуживания, текущего и капитального ремонта, для выполнения своевременной затяжки крепежных элементов, проверки работы деталей и механизмов, проверки и замены различных уплотнений, замены масла в маслосистеме, проверке работоспособности различных контрольных датчиков. Необходимо проверять знания и компетентность рабочего персонала, обслуживающего агрегаты на ДКС.

Основной причиной возникновения ЧС при работе ЦК является аварийная остановка при превышении допустимой температуры. В случае, когда антипомпажный клапан открыт, часть компримируемого газа направляется из нагнетательного трубопровода во всасывающий, а так как газ при сжатии нагревается, то при перепуске этого газа нагреваются все элемента компрессора.

В качестве меры защиты от перегрева необходимо обеспечить минимальное время работы клапана в открытом положении, сохранив при этом устойчивость работы. Другой мерой защиты является установка

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						111
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

промежуточного аппарата воздушного охлаждения (АВО) между клапаном и всасывающим трубопроводом, чтобы охладить перепускаемый газ.

Вывод по разделу: Неправильная эксплуатация антипомпажного клапана, невыполнение требований охраны труда и промышленной безопасности могут нанести значительный вред рабочему персоналу и окружающей среде, так как работа в данной отрасли связана с высоким давлением, температурами, вероятностью падения тяжелых предметов, разгерметизацией сосудов. Поэтому при выполнении любых работ на территории ДКС необходимо соблюдать технику безопасности, в полной мере знать устройство и принцип действия оборудования, иметь средства индивидуальной и коллективной защиты. Регулярно должны проводиться учения ПЛВА (учения по предотвращению и ликвидации возможных аварий), чтобы выработать у сотрудников навыки и умения действий в нештатных ситуациях.

					<i>Социальная ответственность</i>	<i>Лист</i>
						112
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были выявлены природа и причины помпажного явления в центробежном компрессоре. Определена сущность антипомпажного регулирования, которое применяется для предупреждения и ликвидации помпажа.

В условиях эксплуатации, антипомпажное регулирование подразумевает внедрение специального антипомпажного регулятора, на вход которого поступает информация о давлении в линии всасывания, линии нагнетания и расход на вход в компрессор.

В ходе работы были рассмотрены 3 антипомпажных клапана отечественного и зарубежного производства. Была составлена сравнительная характеристика ключевых параметров, на которые стоит обратить внимание при выборе антипомпажного клапана. На основе данной характеристики сделан вывод: для компрессорных станций, работающих под давлением от 2,5 МПа до 10,0 МПа преимущественна установка зарубежных антипомпажных клапанов типа RZD фирмы «Mokveld Valves», а для компрессорных станций с давлением от 1,2 МПа до 2,5 МПа лучше применять антипомпажные клапаны отечественного производства.

Предоставленное решение поможет избежать лишних затрат на покупку клапана, его установку и техническое обслуживание. Обеспечит длительный срок службы агрегата без остановки функционирования технологического процесса.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях		
Разраб.		Байдулатова М.А.			Заключение		
Руковод.		Сарцев А.Л.					
Консульт.					Лит.	Лист	Листов
Рук-ль ООП		Брисник О.В.				113	117
					ТПУ гр. 257А		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Газотурбинный установки для транспорта природного газа: учебное пособие: учебное пособие / А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 217с.
2. Попов М. В. Исследование помпажа в центробежных компрессорах / М. В. Попов; науч. рук. С. С. Васенин // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина, Томск, 3-7 апреля 2017 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2. — [С. 652-653].
3. Футин В.А. Определение переменных аэродинамических нагрузок и динамических напряжений, действующих на рабочее колесо центробежного компрессора: диссертация кандидата технических наук. Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, 2006.
4. Кислород [Текст]: Справочник / Под ред. канд. техн. наук Д. Л. Глизманенко. - Москва: Металлургия. Т. 1, ч. 1. - 1967. - 422 с.
5. Справочник машиниста насосных и компрессорных установок. Серебренников В.В., Быков В.В. – Издательство «ТЕХНИКА», Киев, 1970. - 236 с.
6. М.Б. Хадиев, Механизм помпажа в центробежных компрессорах/ М.Б. Хадиев, Н.Х. Зиннатуллин, И.М. Нафиков. – Т. 1. – 2014. – 262-266 с.

					<i>Технологические особенности антипомпажного регулирования на компрессорных станциях</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Байбулатова М.А.</i>			<i>Список использованных источников</i>		
<i>Руковод.</i>		<i>Сарцев А.Л.</i>					
<i>Консульт.</i>							
<i>Рук-ль ООП</i>		<i>Брцсник О.В.</i>					
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						144	117
					ТПУ гр. 2Б7А		

7. Е.В. Пугачёв, Исследование воздействия помпажа турбокомпрессора на энергетические характеристики приводного двигателя/ Е.В. Пугачёв, М.В. Кипервассер, А.В. Герасимчук. Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, 2015. – 84-90 с.

8. Попов М. В. Антипомпажное регулирование производительности в центробежных компрессорах / М. В. Попов; науч. рук. Л. А. Саруев // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина, Томск, 8-12 апреля 2019 г.: в 2 т. — Томск: Изд-во ТПУ, 2019. — Т. 2. — [С. 509-511].

9. Компрессор САС [Электронный ресурс] / Помпаж компрессоров: причины и следствия – Режим доступа: <http://www.blowers.ru/pages/services/pompaж>, свободный. – Дата обращения 05.03.2021 г.

10. Emerson exchange 365 [Электронный ресурс] / статья: Что такое помпаж компрессора? – Режим доступа: <https://emersonexchange365.com/worlds/russia/b/weblog/posts/compressor-surge>, свободный. – Дата обращения 07.03.2021 г.

11. Разработки нефтегазовая промышленность [Электронный ресурс] / Ярослав Евдокимов. Регулирование ГПА: возникающие проблемы и пути их решения, 2009 – Режим доступа: <https://docplayer.ru/45313-Regulirovanie-gpa-voznikayushchie-problemy-i-puti-ih-resheniya.html>, свободный. – Дата обращения 07.03.2021 г.

12. Compressor controls corporation [Электронный ресурс] / Совместные системы автоматического регулирования турбокомпрессорных агрегатов, 2011 – Режим доступа: http://accontrols.ru/files/upload/page/406/Sistemy_avtomaticheskogo_regulirovani

					Список использованных источников	Лист
						115
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[ya SAR turbokompressornyh agregatov.pdf](#), свободный. – Дата обращения 08.03.2021 г.

13. [Электронный ресурс] / Ницета В.В. Антипомпажное регулирование и защита / Ницета В.В., Овчинников В.П. Трифонов М.Г., Таргонский В.О. – журнал: Нафтогазова промисловість – Режим доступа: http://masters.donntu.org/2008/fema/brizhitskaya/library/konf_7.html, свободный. – Дата обращения 09.03.2021 г.

14. Михайлов, Д.Я. Расчёт предпомпажных состояний газотурбинной установки / Д. Я. Михайлов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2009. — № 2 (2). — С. 18-22. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/2/136/>, свободный. – Дата обращения: 09.03.2021 г.

15. Neftegaz.RU [Электронный ресурс] / новостная статья: Газпром добыча Ямбург, дочка Газпрома, ввела в эксплуатацию дожимную компрессорную станцию (ДКС) на Заполярном месторождении; Е. Алифирова – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/dobycha/196023-na-zapolyarnom-mestorozhdenii-vvedena-v-ekspluatatsiyu-dozhimnaya-kompressornaya-stantsiya-na-senoma/>, свободный. – Дата обращения 14.03.2021 г.

16. [Электронный ресурс] / Газоперекачивающий агрегат – Режим доступа: <https://stavropol-tr.gazprom.ru/press/proekt-azbuka-proizvodstva/gazoperekachivayushchij-agregat/>, свободный. – Дата обращения 25.04.2021г.

17. СТО Газпром 2-3.5-113-2007 Методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем. – Москва, 2007

18. Методические указания ОАО "Газпром" ПР 51-31323949-43-99 Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов

					Список использованных источников	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

19. СТО Газпром 2-3.5-051-2006 Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. – Москва, 2006.

20. Mokveld [Электронный ресурс] / Надежные регулирующие антипомпажные клапаны быстрого действия – Режим доступа: <https://mokveld.com/ru/page/337>, свободный. – Дата обращения 18.04.2021 г.

21. Mokveld [Электронный ресурс] / Регулирующий клапан осевого типа – Режим доступа: <https://mokveld.com/ru/page/166>, свободный. – Дата обращения 18.04.2021 г.

22. Mokveld [Электронный ресурс] / статья: Регулирующий клапан осевого типа. Конструкция со спрямленным течением среды, отвечающая высоким требованиям – Режим доступа: <http://www.mokveldm.ru/attachments/article/10/1-2.pdf>, свободный. – Дата обращения 18.04.2021 г.

23. [Электронный ресурс] / Конструкция антипомпажного клапана – Режим доступа: <https://helpiks.org/6-83638.html>, свободный. – Дата обращения 20.04.2021 г.

24. [Электронный ресурс] / Регулирующий клапан фирмы “Mokveld Valves” – Режим доступа: <https://studopedia.org/index.php?vol=2&post=57647>, свободный. – Дата обращения 25.04.2021 г.

25. ГЭСН 81-02-25-2017. Государственные элементные сметные нормы на строительные и специальные строительные работы. Сборник 25. Магистральные и промысловые трубопроводы. – М.: Госстрой, 2017. – 248с.

26. ФНП N 101. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности (с изменениями на 12 января 2015 года), 2013. – 112с.

					Список использованных источников	Лист
						117
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		