



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: 21.03.01 Нефтегазовое дело

ООП/ОПОП: Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЦИФРОВИЗАЦИИ НАСОСНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПО ТРУБОПРОВОДАМ</b>

УДК 622.691.4:620.179.1

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б92	Ящук Глеб Станиславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бурков В.П.	-		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП НИ ТПУ	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев М.В.	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чухарева Н.В.	к.х.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>УК(У)-9</b>	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Универсальные компетенции университета</b>	
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
<b>Общепрофессиональные компетенции университета</b>	
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способностью использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
<b>ПК(У)-2</b>	Способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа
<b>ПК(У)-3</b>	Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу

	полученных экспериментальных данных
<b>ПК(У)-4</b>	Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
<b>ПК(У)-5</b>	Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
<b>ПК(У)-6</b>	Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
<b>ПК(У)-7</b>	Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
<b>ПК(У)-8</b>	Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
<b>ПК(У)-9</b>	Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
<b>ПК(У)-10</b>	Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
<b>ПК(У)-11</b>	Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
<b>ПК(У)-12</b>	Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
<b>ПК(У)-13</b>	Способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда
<b>ПК(У)-14</b>	Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
<b>ПК(У)-15</b>	Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам



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: 21.03.01 Нефтегазовое дело

ООП/ОПОП: Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП ОНД ИШПР

\_\_\_\_\_  
(Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата) Чухарева Н.В.  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
2Б92	Ящук Глеб Станиславович

Тема работы:

**«Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам»**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

05.06.2023 г. №152-37/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

13.06.2023 г.

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

**Исходные данные к работе**

Центробежные насосные агрегаты

Учебный стенд

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация к защите ВКР
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Рыжакина Татьяна Гавриловна к.э.н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гуляев Милий Всеволодович Старший преподаватель

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бурков В.П.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б92	Ящук Глеб Станиславович		

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: 21.03.01 Нефтегазовое дело  
 ООП/ОПОП: Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

Форма представления работы:

бакалаврская работа

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.01.2023	1. Составление технического задания и выбор направления исследований	10
16.02.2023	2. Разработка общей методики проведения исследований	10
16.03.2023	3. Подбор и изучение материалов по теме	10
16.04.2023	4. Проведение необходимых экспериментальных исследований и проверка полученных результатов	30
30.04.2023	5. Обработка полученных данных	20
14.05.2023	6. Оформление выполненной работы	10
28.05.2023	7. Подготовка к защите	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бурков В.П.	-		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Чухарева Н.В.	К.х.н, доцент		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2Б92	Ящук Глеб Станиславович

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение школы</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 «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>Материальные затраты 8290 руб. Затраты на спецоборудование 2692,7 руб. Основная заработная плата исполнителей НИИ 203035 руб. Дополнительная заработная плата исполнителей темы 24364 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 68674 руб. Накладные расходы 13251 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Районный коэффициент города Томска -1,3</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Размер отчислений во внебюджетные фонды – 30%.</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности проекта</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
---------------	------------	----------------	-------------

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

<b>Группа</b> 2Б92		<b>ФИО</b> Ящук Глеб Станиславович	
<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	21.03.01 «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки»

Тема ВКР:

Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> промышленные нефтепроводы  <i>Область применения:</i> предназначен для приема, хранения, подготовки, учёта и выдачи нефти и нефтепродуктов.  <i>Рабочая зона:</i> операторная.  <i>Размеры помещения:</i> 5×8.  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> компьютер, два рабочих стола, два стула, электрощит.  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров дистанционно в операторной, переключения оборудования.</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 27 июня 2018 г. № 420н «Об утверждении профессионального стандарта «Оператор товарный»».          «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2021) // Собрание законодательства РФ – Глава 34, ст. 212.          Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда.          ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов;</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора.</li> </ul>	<p><b>1.1. Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работающего;</li> <li>2. Повышенный уровень шума;</li> <li>3. Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>4. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу;</li> <li>5. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.</li> </ol> <p><b>1.2. Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Производственные факторы, связанные с электрическим током;</li> <li>2. Пожаровзрывоопасность;</li> <li>3. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением.</li> </ol>

<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<i>При ремонте МН воздействия оказывают как производственные процессы, так и объекты постоянного и временного назначения. Ремонт трубопровода сопровождается: загрязнением атмосферного воздуха; нарушением гидрогеологического режима; загрязнением поверхностных водных источников и подземных вод; повреждением почвенно-растительного покрова;</i>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<i>Чрезвычайные ситуации на магистральном нефтепроводе могут возникнуть в результате внезапной разгерметизации линейной части.</i>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
<b>01.03.2023</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б92	Ящук Глеб Станиславович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 118 страниц, 33 рисунка, 35 таблицы, 25 источников литературы.

**Ключевые слова:** цифровизация, магистральный трубопровод, центробежные насосные агрегаты, методы контроля и мониторинга.

**Объект исследования:** насосный агрегат для перекачки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам.

**Цель работы:** Разработать методику цифровизации насосного агрегата и обосновать эффективность применения ЧРП на магистральных объектах транспорта нефти и нефтепродуктов.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Проанализировать текущее состояние объектов транспорта нефти и нефтепродуктов;
- Изучить существующие способы, средства и методы цифровизации насосных агрегатов;
- Аппроксимировать процессы, протекающие при транспортировке нефти и нефтепродуктов в магистральном трубопроводе;
- Разработать аналитическую методику многокритериальной оценки интеграции цифровых систем в управление магистральными насосами с ЧРП;
- Провести исследование на стенде и предложить способы модернизации системы.

Область применения: транспортировка нефти по трубопроводам.

					Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Яцук Г.С.				РЕФЕРАТ	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Бурков В.П.						10	118
Рук. ООП	Чухарева Н.В.					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б92		

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	13
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	14
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	15
1.1 Описание технологического процесса транспортировки нефти.....	15
1.2 Сравнение способов согласования работы насосных станций на участке трубопровода.....	19
1.3 Анализ применения метода частотного регулирования в промышленности .....	22
1.4 Методы моделирования .....	27
1.5 Математическая модель процесса перекачки высоковязкой нефти.....	30
1.6 Гидравлический расчет участка нефтепровода .....	33
1.7 Системы диагностики и управления транспортом нефти .....	35
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ .....	38
2.1 Фильтр Калмана как модель исследуемой системы .....	38
2.2 Математическая модель сложной неоднородной распределенной системы перекачки жидкости.....	44
2.3 Аппроксимация напорных характеристик центробежного насоса.....	50
2.4 Разработка моделей конструктивных элементов системы управления давлением магистрального трубопровода.....	52
2.4.1 Блок аппроксимации напорной характеристики насоса.....	52
2.4.2 Блок моделирования насосной станции. ....	58
2.4.3 Изменение давления на участке трубопровода .....	61
2.5 Модель системы управления давлением.....	65
2.6 Экспериментальное исследование системы управления давлением в магистральном трубопроводе.....	73
3 РАБОТА НА УЧЕБНОМ СТЕНДЕ.....	76
3.1 Основные технические характеристики стенда.....	76
3.2 Тестирование режимов: пуск-остановка .....	77
3.3 Тестирование переходных режимов .....	78
3.4 Обозначение рекомендаций по модернизации стенда.....	79

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СОДЕРЖАНИЕ				

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕН, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	81
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	82
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	83
5.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	87
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	87
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	88
5.3. Бюджет научно-технического исследования.....	91
5.3.1 Материальные затраты.....	91
5.3.4 Дополнительная заработная плата.....	94
5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	95
5.3.6 Накладные расходы.....	95
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	96
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	99
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	100
5.2 Производственная безопасность .....	103
Производственная безопасность .....	104
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	105
5.3.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.....	105
5.3.2 Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работающего.....	106
5.3.3 Нервно-психические перегрузки и монотонность труда.....	107
5.3.5 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу.....	108
5.3.6 Производственные факторы, связанные с электрическим током...	110
5.4 Экологическая безопасность .....	111
5.5 Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	116
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	117

## Введение

**Актуальность.** Вопрос оптимизации работы МН возникает еще на этапе проектирования магистральных сетей от нефтедобывающего предприятия до потребителей. В первую очередь следует учитывать объем поставок, протяженность магистральной ветки, климатические и геологические особенности. Все эти факторы напрямую влияют на компоновку объектов и их расположение вдоль ветки магистрального трубопровода. В последнее время объемы поставок нефти и нефтепродуктов не являются постоянными и устойчивыми, причиной тому стали экономические и геополитические факторы, в такие моменты крайне важно грамотно и своевременно реорганизовать процессы поставок нефти и нефтепродуктов до ключевых потребителей и рынков сбыта. Текущие популярные методы согласования работы НС: дросселирование и циклическая перекачка не являются высоко-эффективными и финансово выгодными. На текущий момент 80% НС работают в режимах пуск/остановка, что влечет к: снижению электро-механических характеристик насосов, снижению КПД, износу механических частей, регулярным заменам роторных частей и финансовым затратам на ремонт, обслуживание, эксплуатацию, а главное – упущенные время и выручка [25]. Все эти аспекты позволяют сделать вывод о важности плавного внедрения ЧРМ на объекты НС.

**Цель работы.** Разработать комплекс мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам.

**Объект исследования** – центробежный насосный агрегат для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам

					<i>Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Ящук Г.С.						
<i>Руковод.</i>		Бурков В.П.					13	118
<i>Рук. ООП</i>		Чухарева Н.В.						
						Отделение нефтегазового дела Группа 2Б92		

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

### Термины и определения

В данной работе используются следующие термины:

ЧРП частотно – регулируемый привод

МТП магистральный трубопровод

СПЛК свободно программируемый логический контроллер

НПС нефтяная перекачивающая станция

МН магистральный насос

ПЧ преобразователь частоты

МЧР Магистральный частотный регулятор

ЭД электродвигатель

SCADA система диспетчерского управления и сбора данных НМ магистральный насос

ЦН центробежный насосы

					Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Ящук Г.С.						
Руковод.		Бурков В.П.					14	118
Рук. ООП		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б92		

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Описание технологического процесса транспортировки нефти

Нефте-транспортирующими трубопроводами (магистральными) называются те, по которым нефтегрузы перемещаются от места добычи до перерабатывающих их предприятий.

Магистральные трубопроводы обладают следующими конструктивными элементами:

трубопровод;

насосные станции с подводом электроэнергии, предназначенные для перекачивания нефти по магистральным трубопроводам;

много сетевые линии связи, которые помогают осуществлять удалённое управление, а также обеспечивают взаимосвязь с различными частями нефтепровода по мере передвижения нефти.

Перекачка нефти может осуществляться посредством следующих схем:

переливным способом из насоса в насос;

посредством подключенных к магистрали резервуаров для отвода нефтегруза.

На магистральных нефтепроводах зачастую данные схемы комбинируются, так как на разных участках необходимы различные типы схем. Данное явление связано с тем, что, комбинируя две схемы сочетаются их достоинства, которые заключаются в удобстве и простоте применения, а также независимости от гидравлического давления.

Как правило, основным составляющим магистрального трубопровода является насосная станция, перекачивающая нефть.

Данный объект позволяет транспортировать нефтегрузы за счёт передачи энергии входящему потоку нефти для дальнейшего его перемещения по трубопроводу с момента его забора в насосное оборудование до момента покидания насосной станции.

Магистральный трубопровод имеет определённую структуру, которую можно представить, как комплекс, направленный на обеспечение транспортировки нефтегрузов по магистрали. Нефтеперекачивающие станции являются одними из важнейших элементов таких трубопроводов, и могут классифицироваться на основные и промежуточные.

					<i>Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Ящук Г.С.			ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Бурков В.П.					15	118
<i>Рук. ООП</i>		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б92		

Основные нефтеперекачивающие станции принимают нефть с нефти добывающих цехов, а промежуточные, в основном, нужны для поддержания давления магистральном трубопроводе. Состав основных насосных станций определяется наличием в них центральной магистральной и подпорной насосной станции, парком резервуаров, а также регулирующих устройств. Регулирующие устройства чаще всего могут быть следующими: различные задвижки и фильтры, установленные на центре приёма и пуске скребка.

Промежуточная насосная станция нужны для компенсации потери напора магистрали, и чаще всего располагаются по всей протяженности трубопровода. Они помогают поддерживать давление насосной системы. Состав данной станции отличается от основной только тем, что в них присутствуют узел регулирования давления, и отсутствуют резервуарные парки, которые могут устанавливаться лишь в отдельных случаях. Однако подпорные насосы в данной установки имеют место.

Насосы подключаются в определённой последовательности, что является приоритетом в установленном режиме для эксплуатации магистрального трубопровода. Поэтому вследствие изменений работы хотя бы одного из насосов, установленных на магистральном трубопроводе, будут изменены параметры давления всего процесса. Данную проблему решить возможно путём плавного регулирования параметров для каждого насоса и вследствие их подачи нефтепродуктов в магистраль.

Однако данный способ приводит к возможному неполному использованию мощности основных аппаратов, а также к частым пускам мощных насосных станции, которые будут расходовать неоправданное количество электроэнергии, что делает процесс нерентабельным. Данное явление связано с тем, что при постоянных запусках насосного оборудования расходуется мощность, которая превосходит ту, что расходуется вследствие работы магистрального трубопровода.

Снижение пропускной способности на участках магистрального нефтеперекачивающего трубопровода может возникнуть вследствие следующих факторов:

- непрерывная загрузка трубопровода может быть обусловлена графиком поставки нефти с нефтедобывающих предприятий на нефтеперерабатывающие заводы;
- в связи с изменением свойств и характеристик нефтегрузов, обусловленных сезонными факторами (температура, влажность и так далее), способные повлиять на состав нефтепродукта, в котором присутствуют разные соотношения воды, парафинов и иных веществ, способных вступать в реакцию под их воздействием

					ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

данных.

- факторы технологического процесса — параметры насосного оборудования, а также плановые и внеплановые включения и выключение, наличие свободных резервуарных парков, а также изменения приёмных и сдаточных операциях на магистральном трубопроводе точка;
- ремонтные работы, которые проводятся вследствие чрезвычайных или аварийных ситуаций на различных частях нефтепровода или на насосном оборудовании [16].

Приведённые выше факторы способны воздействовать на нефтегрузы как комплексно, так и с периодичностью. Они способны менять мощностные нагрузки в системе нефтеперекачивающие магистрали регулярно, что будет приводить к излишним расходам электроэнергии.

В подобных нефтепроводах скачки напряжений практически неизбежны поскольку невозможно исключить все воздействующие на магистраль факторы. При проведении анализа работы магистральных трубопроводов для транспортировки нефтегрузов, было выявлено, что наиболее частыми причинами перерасхода энергии, выхода из строя силовых агрегатов и механическими дефектами является неверный режим работы насосного оборудования. Большие потери электричество могут возникнуть при низкой подаче в трубопровод транспортируемого сырья, что является следствием работы насосов. При низком коэффициенте полезного действия насосы не добирают необходимую мощность для перекачивания потока в трубопровод магистрали. Также в связи с тем, что происходит недобор нефти от нефтеперекачивающей станции, возникает потребность в переходе на новые режим работы до и после ликвидации аварийной остановки насосного оборудования. Это необходимо, чтобы компенсировать недобор нефтяного продукта и уравновесить количество нефтегруза в магистрали. Данный режим работы уместен до момента равновесие и далее плавно переходят в привычные объёмы перекачки. Такая же ситуация возникает при плавных изменениях пропускных способностей насосов, которые требуют при этом от общей сети насосной станции [3]. В любом случае в рамках данных факторов так или иначе расходы на электроэнергию будут как повышаться, так и понижаться. Данное явление негативно сказывается на работе насосного оборудования и их электродвигателях. Тем самым увеличивается себестоимость перекачки нефтегрузов.

На рисунке 1.1 можно рассмотреть, как распределяется электроэнергия по насосной станции в зависимости от способа её применения. Транспортировка нефти составляет 67,1%. Однако более половины этого показателя расходуется на потери,

					ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

связанные с перегрузкой насосного оборудования. Вследствие этого основное оборудование теряет 30,7% от общих энергозатраты (двигатели 4,6% и насосы 26,1%). Установлено, что на линиях под воду электроэнергии регулярно теряется 2,2% от общих потерь [3].

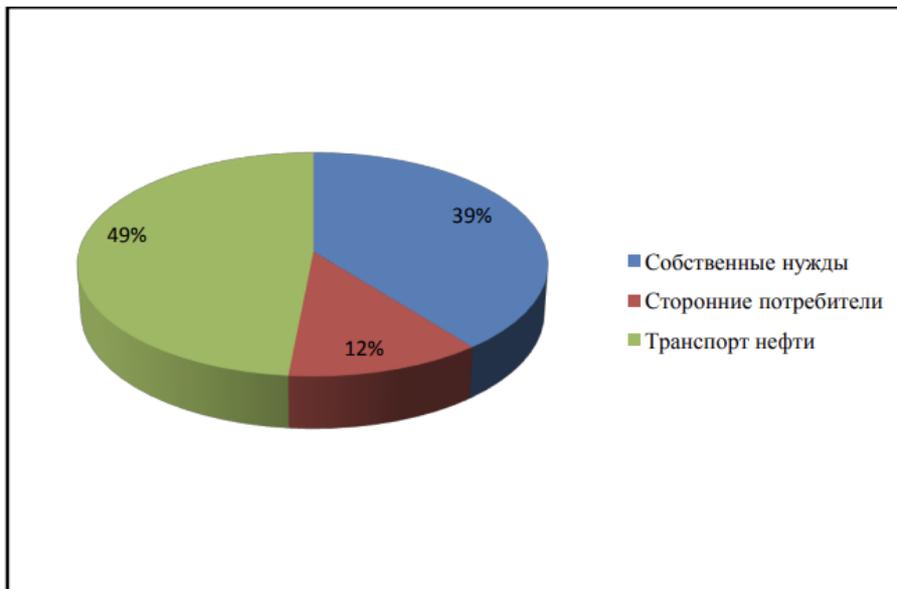


Рисунок 1.1 – Фактическое распределение электроэнергии на НПС по характеру использования

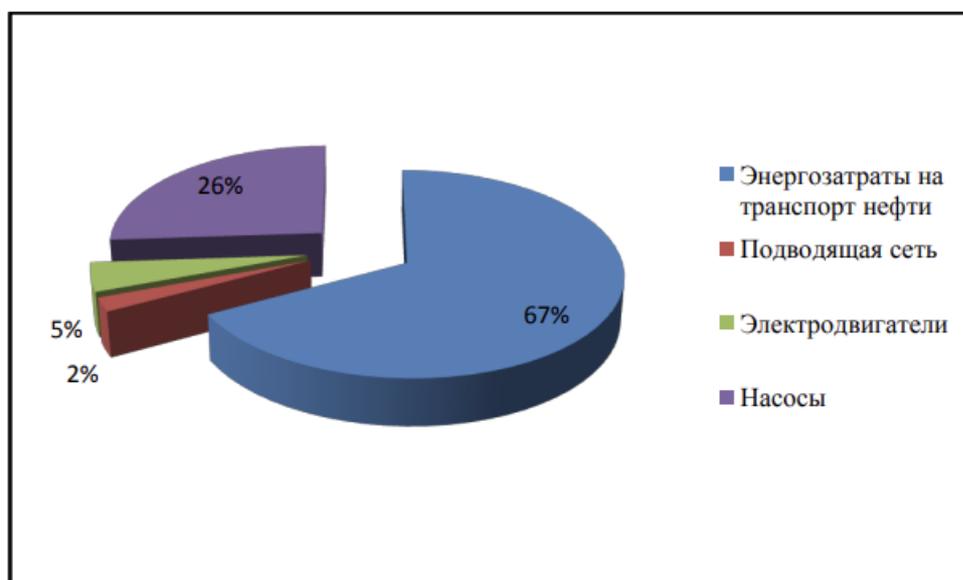


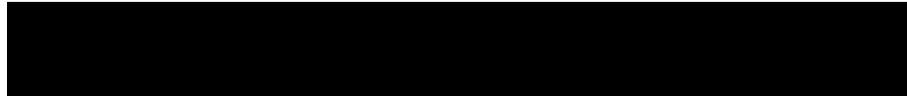
Рисунок 1.2 – Распределение электроэнергии на транспорт нефти





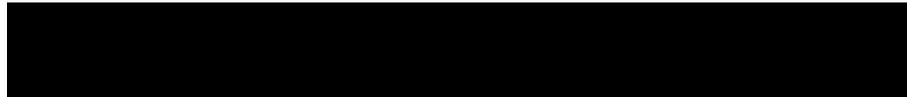
(1.1)

При перепуске КПД получаем:



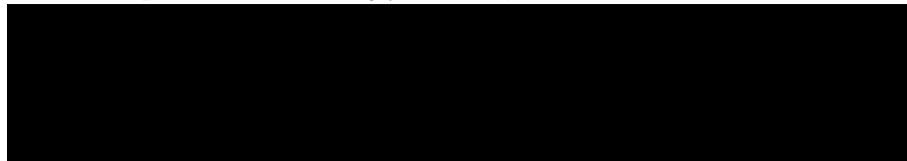
(1.2)

Выразим  $\eta_{п}$ :



(1.3)

Учитывая равенство  $H_* = H_{см*} - H'$  получим:



(1.4)

Крутящий момент:

$$\frac{N_{\partial в}}{n_{\partial в}} = \frac{N_*}{n_*} \quad (1.5)$$

где  $N_{\partial в}$  и  $n_{\partial в}$  – мощность и частота вращения для двигателя;

$N_*$  и  $n_*$  – соответственно мощность и частота для насоса.

КПД в соответствие с формулами выше равен  $\frac{n_*}{n_{\partial в}}$ . Полный КПД равен ( $\eta_{полн}$ ).

Максимальный КПД рассчитывается по формуле:

$$\eta_{max} = \frac{n_I}{n_{\partial в}} \quad (1.6)$$

КПД наибольшее:

$$\eta_m = \frac{n_*}{n_I} \quad (1.7)$$



(1.7)

Максимальный КПД  $\eta_{max}$  для гидромурфт находится в диапазоне от 0,97 до 0,98; для магнитных - в пределах 0,93 – 0,95; КПД  $\eta_m$  выражается зависимостью  $H_* = H_{cm*} - H'_*$  в соответствии с теорией подобия:

$$\eta_{др} = \frac{Q_* H_*}{Q_* H_{cm*}} \quad (1.8)$$

$$\eta_{п} = \frac{Q_* H_*}{Q_0 H_{cm*}} \quad (1.9)$$

$$\eta_{др} = \frac{Q_* H_*}{Q_* H_{cm*}} \quad (1.9)$$

$$\eta_{п} = \frac{Q_* H_*}{Q_0 H_{cm*}} \quad (1.10)$$

Приведенные выше расчёты подтверждают, что применение частотных преобразователей является выгодным. Эффективность регулирования данным методом способна понижаться, но прямо пропорционально частоте и продолжительности применения данного метода регулирования напора. При сравнении данного метода регулирования напора с другими необходимо руководствоваться не КПД, а полным КПД  $\eta_{м.полн}$ . Далее сравним регулирование методом дросселирования и перепуском. По формулам ниже следует:

$$\eta_{др} = \frac{Q_* H_*}{Q_* H_{cm*}} \quad \text{и} \quad \eta_{п} = \frac{Q_* H_*}{Q_0 H_{cm*}} \quad (1.11)$$

Установлено, что  $Q_0 H_{cm*} > Q_* H_*$ , то  $\eta_{п} < \eta_{др}$ . Исходя из приведённого равенства следует, что мощность, которую во время работы потребляет насос, увеличивается по

мере того как увеличивается напор. Данная разница в том, что наиболее выгодным является применение дросселирования. И обратно мощность, потребляемая насосом будет уменьшаться в соответствии с уменьшением напора на трубопровод.

Насосы, установленные на транспортировочных нефтепроводах, обладают такими характеристиками как  $Q-H$ ; для них зависимость  $N=N(Q)$  – является возрастающей последовательностью [4].

### 1.3 Анализ применения метода частотного регулирования в промышленности

На сегодняшний день частотное регулирование электроприводов на насосных станциях в магистральных трубопроводах является одним из наиболее эффективных методов, применяемых в нефтяной промышленности. Важнейшую роль современной транспортировки нефтепродуктов и иных топлив играют магистральные трубопроводы, по которым производится транспортировка более половины грузов нефтехимических производств. Данные трубопроводы требуют современного средства автоматизации, и компьютере, что может усовершенствовать или облегчить их эксплуатацию. В связи с развитием нефтехимической промышленности данное средство транспортировки нефтегрузов нуждается в улучшении своей технической оснащённости и регулярно подвергается изменениям.

Во время своего существования магистральные трубопроводы зарекомендовали себя транспортом, который является:

- одним из самых эффективных видов транспорта, предназначенных для крупногабаритных грузов. Установлено, что четверть России транспортируется посредством магистралей. Данная конструкция требует регулярное обслуживание, которое осуществляют более 20 000 человек. Обслуживание такой магистрали превышает в 30 раз человеческий эквивалент в иных транспортных средствах [1];
- транспортом, который обеспечивает надёжность и безопасность перевозимых грузов. Рассматривая предыдущий год можно прийти к выводу, что на магистральных трубопроводах произошло 20 аварийных остановок, в отличие от автомобильных и железнодорожных путей, морских и авиационных перевозок меньше более чем в 50 раз [2];
- экономичным видом транспорта, который расходует минимальное количество энергии, что составляет в расчёте на 1 000 км энергию размером 0,01%. По подсчётам

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ				

специалистов наибольший расход энергии имеют автомобильный и железнодорожный транспорт, а минимальные расходы составляют водного и авиационного, что составляет не более 4% [1].

Транспортировка сырья для продажи за границей является одним из самых прибыльных секторов экономики нашей страны, что влияет на тему развития магистральных трубопроводов, как основного вида транспортировки нефти её продуктов.

В связи с развитием торговых отношений другими странами, возникает вопрос эффективности и эксплуатационных свойств магистральных трубопроводов, с целью улучшить их функционал и взаимодействие с ними. Данный вопрос является одним из самых актуальных на сегодня. Общеизвестно, что затраты на переработку нефти огромна, поэтому вопрос о сокращении расходов остаётся злободневным. Опыт современных производств показывает, что внедрение различных средств автоматизация для магистральных позволяет увеличить их надёжность и сокращает время на транспортировку. Данные качества определяют конкурентоспособность современных производителей. Определённую значимость на сегодня приобретают исследования направленные на изготовление и тестирование устройств направленных на усовершенствование магистральных путей.

Данная технология регулирования позволяет:

- увеличить эффективность эксплуатации насосного оборудования и трубопроводов;
- повысить качество производимой продукции и осуществляемых функций;
- повысить степень автоматизации на предприятии;

В таблице 1.1 можно рассмотреть в каких еще отраслях применяется метод частотного регулирования электроприводов.

Работа насосов регулируется по принципу пропорциональности, от которого зависит как часто будет вращаться рабочее колесо насоса:

$$Q_i = Q_0 \frac{n_i}{n_0}; H_i = H_0 \frac{n_i}{n_0} \quad (1.12)$$

Данная пропорция позволяет произвести перерасчет характеристики  $H_0=f(Q_0)$  при установленном значении  $n_0$  на любую  $n_i$ . В данном случае  $n$  соответственно являются номинальная установленная частота вращения и любая заданная.

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

На рисунке 1.3 показано каким образом достигается необходимая подача электроэнергии в общую энергосеть. Данное явление достигается при смене числа оборотов рабочего колеса насосного оборудования. При регулировании данным методом, потери практически отсутствуют, что обусловлено тем, что напор нефтепродуктов соответствует оборотам рабочего колеса насоса.

Таблица 1.1 – Применение МЧР в промышленности

Применение	Характеристики	Плюсы	Минусы
Водоканалы (муниципальные и промышленные)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- бесперебойное обеспечение горячей водой</li> <li>- есть возможность одновременного управления 6-ю перекачивающими системами от одного пульта (переключателя)</li> <li>- экономия газа (отопительные системы жилые и промышленные)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- надежность работы систем</li> <li>- улучшение качества продукции и услуг</li> <li>-автоматизация производства,</li> <li>- экономия энергии и сырья</li> </ul>	Высокая стоимость
Лифтовое и крановое оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>- рациональное использование электроэнергии</li> <li>- системное увеличение качества и надежности насосного оборудования</li> </ul>		
Энергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Возможность регулирования и контроля подачи воздуха в камеру сгорания</li> <li>- Снижение вредоносных выбросов в атмосферу</li> <li>- Автоматизация процесса профилактики и обеззараживания воды</li> <li>- Техническое обслуживание оборудования проводится реже обычного</li> </ul>		
Производство сахара	<ul style="list-style-type: none"> <li>- плавный пуск и торможение центрифуг</li> <li>- увеличение срока службы двигателей</li> </ul>		
Промышленные и бытовые морозильные камеры	<ul style="list-style-type: none"> <li>- меньшее потребление энергии</li> </ul>		

Продолжение Таблица 1.1

Машиностроение, производство строительного оборудования	- автоматизация производства		
Деревообработка Каменная промышленность, обработка камня	- повышение производительности - улучшение качества продукции		
Элеваторы	- автоматизированное электросбережение при хранении продукции Хранение сельскохозяйственных культур, вентиляция птицефабрик и т.д.		

Главным недостатком метода частотного регулирования является приобретение дорогостоящего привода для насосного оборудования с возможностью регулирования частоты вращения рабочего колеса.

Чтобы увеличить жидкостную подачу иногда прибегают к параллельной установке насосов, которая обеспечивает возможность сложения величин подач каждого насоса в условиях одинакового напора, как представлено на рисунке 1.3.

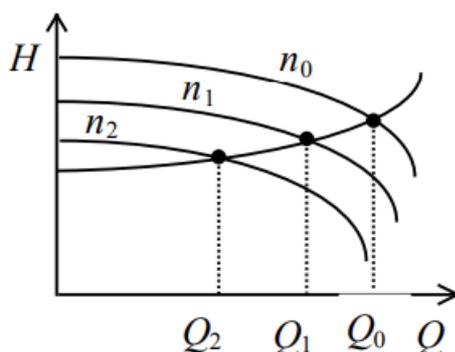


Рисунок 1.3 – (Q – H) характеристика при разных частотах

Чтобы увеличить напор нефтепродуктов в трубопроводе магистрали, насосы чаще всего устанавливают последовательно. Напор рассчитывается аналогично параллельной установке.

Устанавливать приводы для регулирования частоты вращения наиболее целесообразно в условиях регулярного изменения подачи рабочей жидкости на всасывающий трубопровод. Магистральный трубопровод имеет определённую структуру, которую можно представить, как комплекс, направленный на обеспечение

транспортировки нефтегрузов по магистрали. Нефтеперекачивающие станции являются одними из важнейших элементов таких трубопроводов, и могут классифицироваться на основные и промежуточные. Основные нефтеперекачивающие станции принимают нефть с нефти добывающих цехов, а промежуточные, в основном, нужны для поддержания давления магистральном трубопроводе. Состав основных насосных станций определяется наличием в них центральной магистральной и подпорной насосной станции, парком резервуаров, а также регулирующих устройств. Регулирующие устройства чаще всего могут быть следующими: различные задвижки и фильтры, установленные на центре приёма и пуске скребка. Промежуточная насосная станция нужны для компенсации потери напора магистрали, и чаще всего располагаются по всей протяженности трубопровода. Они помогают поддерживать давление насосной системы. Состав данной станции отличается от основной только тем, что в данных присутствуют узел регулирования давления, и отсутствуют резервуарные парки, которые могут устанавливаться лишь в отдельных случаях. Однако подпорные насосы в данной установки имеют место. Насосы подключаются в определённой последовательности, что является приоритетом в установленном режиме для эксплуатации магистрального трубопровода. Поэтому вследствие изменений работы хотя бы одного из насосов, установленных на магистральном трубопроводе, будут изменены параметры давления всего процесса. Данную проблему решить возможно путём плавного регулирования параметров для каждого насоса и вследствие их подачи нефтепродуктов в магистраль. На сегодня регулирование насосов на современных насосных станциях осуществляется путём ступенчатых изменений. Однако данный способ приводит к тому, что возможно неполное использование мощности основных аппаратов, а также к частым пускам мощных насосных станции, которые будут расходовать неоправданное количество электроэнергии, что делает процесс нерентабельным. Данное явление связано с тем, что при постоянных запусках насосного оборудования расходуется мощность, которая превосходит ту, что расходуется вследствие работы магистрального трубопровода. За счет возможности регулировать частоту вращения рабочего колеса получается удерживать или изменять гидравлические и энергетические параметры в магистральном трубопроводе. Данный метод позволяет эффективно использовать электроэнергию, которая необходима для транспортировки нефтепродуктов как представлено на рисунке 1.4. На данной иллюстрации можно рассмотреть основные характеристики центробежного насоса [6].

Внедрение рассматриваемого способа помогает увеличить эффективность

								ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					26

нефтетранспортирующей магистрали и сэкономить электроэнергию. Однако, высоковольтные приводы частотного регулирования являются дорогостоящими, что делает их недоступными для многих предприятий.

Проведя вышеприведенное исследование было выявлено, что предложенный способ помогает увеличить эффективность нефтетранспортирующей магистрали и сэкономить электроэнергию, несмотря на высокую стоимость самого привода его использование является целесообразным.

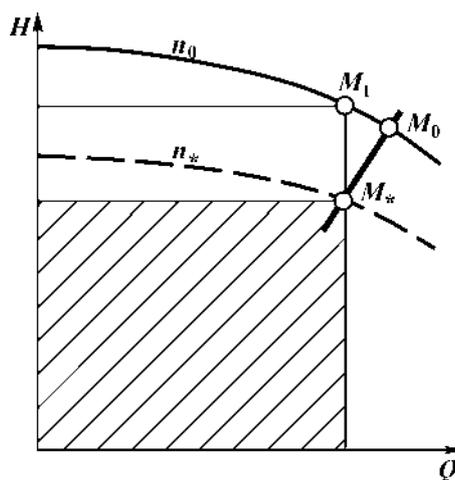


Рисунок 1.4 – Схема, иллюстрирующая экономию электроэнергии при использовании регулируемого электропривода

Выводы по проделанной работе в подразделе 1.3:

- 1) В большинстве случаев патенты на приводы частотного регулирования направлены на нефтеперерабатывающую промышленность;
- 2) Необходимо своевременно изучить вопрос о применении в промышленности данных приводов и начать разработку высоковольтных приводов для крупномасштабных магистралей для транспортировки нефтепродуктов;
- 3) Применение данного способа регулирования показателей транспортируемых нефтепродуктов обладает огромным потенциалом в рамках современной нефтяной промышленности.

#### 1.4 Методы моделирования

Там, где прямое исследование объекта или процесса невозможно, моделирование используется как эффективный инструмент для разработки и экспериментов. Значительные экономические выгоды могут быть получены при использовании моделирования в проектировании и управлении сложными системами.

Снижение пропускной способности на участках магистрального нефтеперекачивающего трубопровода может возникнуть вследствие следующих факторов:

- перерывная загрузка трубопровода может быть обусловлена графиком поставки нефти с нефтедобывающих предприятий на нефтеперерабатывающие заводы;

- в связи с изменением свойств и характеристик нефтегрузов, обусловленных сезонными факторами (температура, влажность и так далее), способные повлиять на состав нефтепродукта, в котором присутствуют разные соотношения воды, парафинов и иных веществ, способных вступать в реакцию под их воздействием данных.

- факторы технологического процесса — параметры насосного оборудования, а также плановые и внеплановые включения и выключение, наличие свободных резервуарных парков;

- ремонтные работы, которые проводятся вследствие чрезвычайных или аварийных ситуаций на различных частях нефтепровода или на насосном оборудовании [16].

Приведенные выше факторы способны воздействовать на нефтегрузы как комплексно, так и с периодичностью. Они способны менять мощностные нагрузки в системе нефтеперекачивающие магистрали регулярно, что будет приводить к излишним расходам электроэнергии.

В подобных нефтепроводах скачки напряжений практически неизбежны поскольку невозможно исключить все воздействующие на магистраль факторы. В любом случае в рамках данных факторов так или иначе расходы на электроэнергию будут как повышаться, так и понижаться. Данное явление негативно сказывается на работе насосного оборудования и их электродвигателях. Тем самым увеличивается себестоимость перекачки нефтегрузов. Несмотря на количество проделанных работ в области моделирования движения жидкостей по трубопроводам до сих пор не была предложена универсальная модель, отвечающая всем параметрам [6].

Многочисленные национальные и международные исследования нестационарного движения вязких несжимаемых жидкостей в трубопроводах показали, что математическое моделирование помогает изучить процессы в которых происходит регулярное перемещение и движение исследуемых компонентов.

Анализ непрерывных функций с помощью дифференциального и интегрального аппарата обычно требует трех основных предположений. Характерные расстояния между молекулами много меньше размера гетерогенного элемента.

Задачу можно значительно упростить, если при формулировке сделать

					ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

допущение о целостности среды, что позволяет представить поток как непрерывный [7]. Оно основано на определенных закономерностях, вытекающих из фундаментальных законов физики.

Результат, полученный И.А. Чарным [9, с. 127] для описания давления и скорости потока жидкости в прямом участке круглой трубы, имеет следующий вид:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(pv)}{\partial t} + \frac{\lambda pv^2}{8R} \quad (1.12)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = c^2 \frac{\partial(pv)}{\partial t}$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;

$R$  – гидравлический радиус потока;

$pv$  – усредненная скорость частиц жидкости;

$p$  – давление жидкости;

$c$  – скорость звука в нефти.

Метод линеаризации, предложенный И.А. Чарным, основан на замене фрикционных нелинейных членов второго порядка в динамическом равенстве (1.13)

$$-\frac{\lambda pv^2}{8R} = 2a(pv) \quad (1.13)$$

где  $2a = \text{const.}$

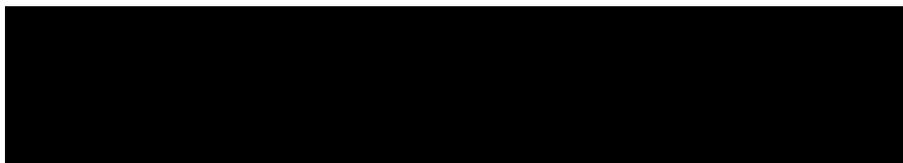
Чтобы определить показатель  $2a$  участок параболической кривой заменяется прямой линией в диапазоне  $v_n < v < v_k$ , где  $v_n$  и  $v_k$  - верхний и нижний пределы изменения скорости соответственно.

После некоторых линеаризационных преобразований система (1.1) принимает следующий вид:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(pv)}{\partial t} + 2a(pv) \quad (1.14)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial(pv)}{\partial x}$$

В исследовании [8, с.13] первое уравнение дифференцируется по  $x$ , второе - по  $t$ , а выход  $Q$  исключается. В результате получается телеграфное уравнение для давления  $p(x,t)$ .



(1.15)

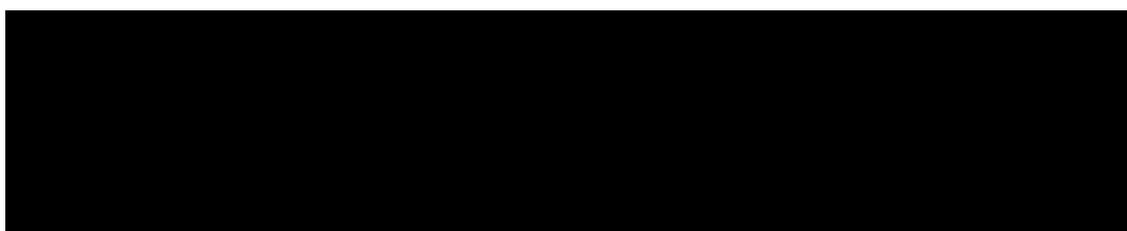
Из анализа системы (1.14) и уравнения (1.15) следует, что для потоков вязкой жидкости в трубах влияние трения на стенку трубы невелико, и движение жидкости в самом начале процесса можно считать волнообразным. Со временем трение влияет на поток, и в течение некоторого времени поток становится менее флуктуирующим и остается нестационарным. Затем, если граничные условия позволяют задаче быть стационарной, поток в трубе постепенно становится стационарным

## 1.5 Математическая модель процесса перекачки высоковязкой нефти

Приведенные ниже модели основаны на системном решении уравнений жидкостных потоков. Для вычисления необходимых для модели параметров прибегают к решению дифференциальных уравнений. Они точно помогают рассмотреть процессы теплопередачи при массообменных процессах, которые возникают при смешении потоков. Таким образом математические модели помогают наиболее точно представить движение потоков жидкости в числовом формате.

### 1.5.1 Уравнения движения.

Нелинейная жидкость на осях  $(z, r)$  осуществляет перемещение в соответствии с функцией: [8].



(1.16)

В формуле (1.16) показатель  $k$  равен:

$$k = \mu + \frac{\tau}{h_1} - \text{для вязко-пластичной жидкости}; \quad (1.17)$$

$$k = \mu h_1^{n-1} + \frac{\tau}{h_1} - \text{для степенной вязко-пластичной жидкости}; \quad (1.18)$$

$$\text{[Redacted]} \quad (1.19)$$

(согласно [6]),  $v(z, r) = 0$  и  $\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial r} = 0$

Второе уравнение системы (1.16) превращается тождественный ноль, а первое уравнение запишется в виде:

$$\text{[Redacted]} \quad (1.20)$$

При  $V=0$  из уравнения неразрывности следует, что  $\frac{\partial U}{\partial z} = 0$

Следовательно,  $h_1 = \left| \frac{\partial U}{\partial r} \right|$ .

Поэтому уравнение (1.20) преобразуется к следующему виду:

$$\text{[Redacted]} \quad (1.21)$$

Знак «минус» перед  $\tau_0$  появился вследствие того, что  $\frac{\partial U}{\partial r} \left| \frac{\partial U}{\partial r} \right|^{-1} = -1$

Приведем это уравнение движения к безразмерному виду:

$$P = -w_0^2 p P'; U = W_0 W'; r = R r' \quad (1.22)$$

Опуская штрихи, получим уравнение движения в безразмерном виде

$$\text{[Redacted]} \quad (1.23)$$

Метод Ранна в настоящее время является наиболее широко используемым методом для решения задач в области математической физики и иных науках [10]. Основные уравнения метода приведены ниже.

Рассмотрим трехточечное разностное уравнение:

$$A_i y_{i-1} - C_i y_i + B_i y_{i+1} = F_i, \quad i=1, 2, \dots, N-1 \quad (1.24)$$

Где  $A_i, B_i, C_i, \chi_1, \chi_2, v_1, v_2$  - заданные числа.

Краевые условия выражения (1.24)

$$\text{[Redacted]} \quad (1.25)$$

Решение уравнения (1.15) должно быть найдено в той же форме, что и граничное условие (1.16), т.е.:

$$\text{[Redacted Equation]} \quad (1.26)$$

где  $\alpha_{i+1}$  и  $\beta_{i+1}$  - неизвестные пока коэффициенты.

На основе доказательства, представленного в [10], для получения точных решений краевых задач (1.15)-(1.18) используется следующий алгоритм:

$$\text{[Redacted Algorithm]} \quad (1.27)$$

Значения  $u_i$  находятся, последовательно начиная от правой границы

Для численного решения задачи рассмотрим трехмерную сетку (рисунок 1.5) введя безразмерные шаги по радиусу ( $h_r = 1/N_r$ ), длине  $h_z = L/(R_l \cdot N_z)$  и размерный по времени  $h_t = T/N_t$ . Сеточная область решения задачи представлена на рисунке 1.5.

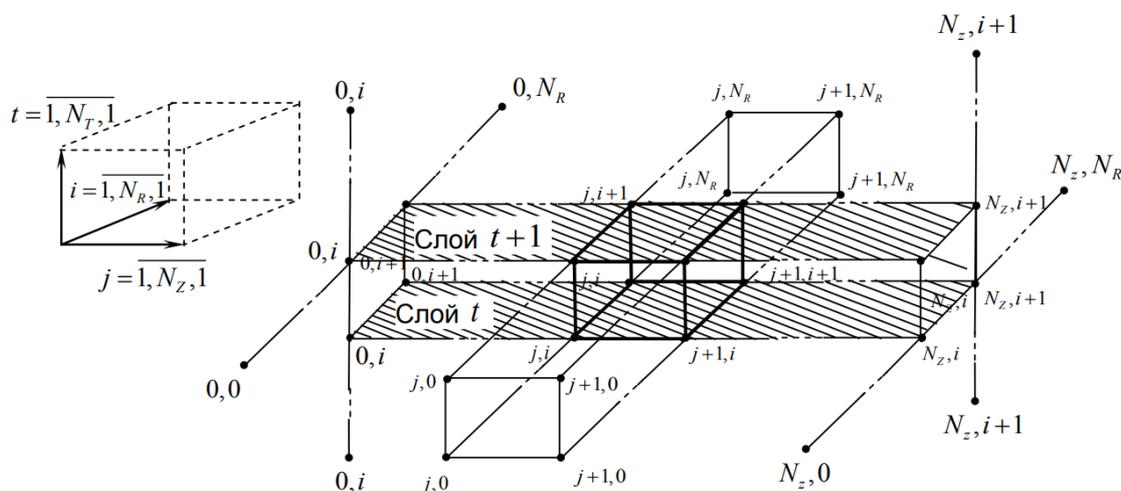


Рисунок 1.5 – Сеточная область решения задачи

## 1.6 Гидравлический расчет участка нефтепровода

Гидравлические расчеты уравнением Бернулли для выбранного участка трубопровода (рис. 1.6)

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + h_{1-2} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + h_{1-2} \quad (1.27)$$

где  $p_1, p_2$  — давление в сечениях нефтепровода х<sub>1</sub> х<sub>2</sub>;

$z_1, z_2$  — высотные отметки сечений;

$h_{1-2}$  — потери напора на участке трубопровода [ $i_1, i_2$ ].

Разность  $p/\rho g$  является пьезометрическим напором. В данном случае  $z$  — геометрическим. Данное явление возникает на участке  $x$  трубопровода. Единицей измерения у обоих показателей являются метры.

Наименование  $h_1$ (потеря на трение) -  $h_2$ (потеря на местное сопротивление) на участках 1-2 нефтепровода называется потерей напора и рассчитывается следующим образом:

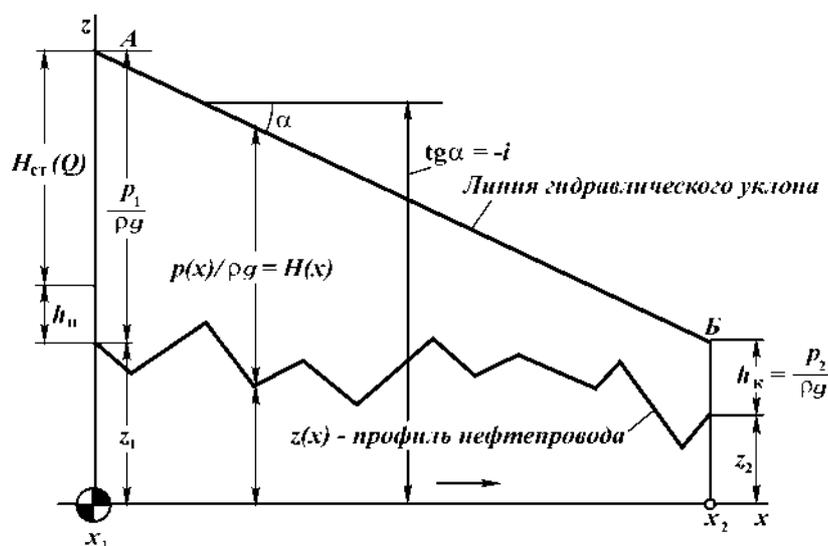


Рисунок 1.6 – К гидравлическому расчету участка нефтепровода

Показатель  $h_T$  (м) формулой Дарси — Вейсбаха, она помогает учесть коэффициент трения при расчетах:

$$h_T = \lambda \frac{L_{1-2}}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (1.28)$$

где  $u$  — средняя по сечению скорость перекачки ( $u = 4Q/\pi d^2$ );

$d$  — внутренний диаметр трубопровода;

$L_{1-2} = x_2 - x_1$  — длина участка трубопровода между сечениями  $x_1$  и  $x_2$ ;

$\lambda$  — коэффициент гидравлического сопротивления.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Потери напора  $h_m$  (м) местного сопротивления вычисляются по формуле

$$h_m = \sum_j^n \varepsilon_i \frac{u^2}{2g} \quad (1.29)$$

Где  $\varepsilon_i$  коэффициенты местных сопротивлений.

Полные потери напора  $h_{1-2}$  рассчитываются:

$$h_\tau = 1.02\lambda \frac{L_{1-2}}{d} \frac{u^2}{2g} \quad (1.30)$$

Уравнение Бернулли (1) соответствует:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} + z_1 - z_2 = \lambda \frac{L_{1-2}}{d} \frac{u^2}{2g} + \sum_j^n \varepsilon_i \frac{u^2}{2g} \quad (1.31)$$

Оно представлено соотношением давления в сечениях 1 и 2. Где скоростью принимается мощность перекачки жидкости трубопроводом, а ее расход приравнивается  $Q = u\pi d^2/4$ . Для ламинарных и турбулентных потоков в области равномерного трения следует отметить, что коэффициент  $\lambda(Re)$  уменьшается с увеличением  $Re$ . Поэтому с увеличением  $Re$  коэффициент  $\lambda$  становится независимым от них, т.е.  $\lambda = \lambda(k/D)$  - область чисто грубого (квадратичного) трения. Анализ непрерывных функций с помощью дифференциального и интегрального аппарата обычно требует трех основных предположений. Характерное расстояние между молекулами намного меньше, чем размер неоднородных элементов. Предположение о непрерывности среды в формулировке позволяет представить поток как непрерывный, что значительно упрощает задачу [7]. Он основан на определенных законах, вытекающих из фундаментальных законов физики. В этом случае  $\lambda = const$  и  $h$  прямо пропорциональна  $v^2$  [11].

Эти правила и формулы таковы:

при  $Re < 2000$  для  $\lambda$  - формула Стокса (1.32)

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1.32)$$

при  $2000 < Re < 2800$ ,  $\lambda$  :

$$\lambda = (0,16 Re - 13)10^{-4}; \quad (1.33)$$

					ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

при  $2800 < Re < Re_c$ , для  $\lambda$  - формула Блазиуса

(1.34)

(1.35)

где  $Re, \Lambda$  — константы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Константы выражений

Внешний диаметр нефтепровода, мм	$Re$	$\Lambda$
530	73000	0,0130
630	90000	0,0126
720	100000	0,0124
820	110000	0,0123
920	115000	0,0122
1020	120000	0,0121
1220	125000	0,0120

## 1.7 Системы диагностики и управления транспортом нефти

Снижение производственных затрат, повышение эффективности производства, снижение энергопотребления и потерь нефти может помочь улучшить ключевые аспекты работы нефтетранспортной системы. Транспортировка нефти составляет 67,1%. Однако более половины этого показателя расходуется на потери, связанные с перегрузкой насосного оборудования. Вследствие этого основное оборудование теряет 30,7% от общих энергозатраты (двигатели 4,6% и насосы 26,1%). Установлено, что на линиях под воду электроэнергии регулярно теряется 2,2% от общих потерь [3].

Улучшение ключевых аспектов работы нефтетранспортной системы может помочь улучшить ключевые аспекты работы нефтетранспортной системы. Ключевым этапом функционирования автоматизированных систем управления является контроль

информации, достоверно отражающей состояние контролируемого объекта и взаимодействие всех производственных звеньев. Важное влияние на качество автоматизированных систем управления оказывают средств измерений [12].

Стендовая диагностика выявила следующие проблемы: Бак для жидкости был расположен ниже высоты стола, на котором была размещена схема трубопроводов, что требовало больших изгибов в длинных соединительных шлангах Ø1 и Ø2, что приводило к еще большим потерям давления. Чтобы компенсировать эту сложность, резервуар В и насос Н были установлены на той же высоте, что и макет. Шланги N1 и N2 были заменены на более короткие шланги без перегибов. Кроме того, были установлены два клапана (К6-К7) для сброса давления и дренажа, соответственно. Пропускная способность отводов на схеме значительно варьируется в диапазоне 50-100. В связи с этим рекомендуется установить датчик для измерения перепада давления (дифференциальный манометр) для повышения точности измерительной информации о состоянии объекта. В качестве альтернативы рекомендуется использовать манометр Honeywell FP2000. Устанавливаемые двигатели были выбраны без учета конструктивных особенностей места установки. Из-за малой длины трубопровода невозможно проводить эксперименты со шлюзовыми камерами. Когда производительность насоса достигает 100%, плунжер сразу выталкивается. Поэтому испытания на герметичность проводились при низкой скорости вращения двигателя (1,7%-10%), что создавало высокую нагрузку на насос и вызывало другую проблему: перегрев двигателя. Дополнительные погрешности в измерения вносятся из-за различий в диаметре трубопроводов и диаметре соединительных шлангов.

Информация поступает в автоматизированную систему управления для измерения воздействий X, Y и U на управляющее оборудование. В данном случае измерительными приборами являются датчики расхода и давления.

Использование систем диагностики и прогнозирования является неотъемлемым элементом современных автоматизированных систем управления. В настоящее время имеется широкий спектр устройств и систем для своевременного обнаружения неисправностей в технических процессах.

Широко используются системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA); системы SCADA в реальном времени отслеживают любые отклонения от параметров при работе насосного оборудования. Используя новейшие технологии SCADA, телемеханические и автоматизированные системы управления, можно решить задачу функциональной диагностики технического режима трубопроводов нефти и

						ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			36

нефтепродуктов. Наиболее популярными SCADA системами на мировом рынке являются Factory Link (производитель US DATA Co, США), Genesis (Iconics, США), Sitex (Jade Software, Великобритания), TraceMode (AdAstra Research Group Ltd, Россия), SIMATIC WinCC (Siemens AG, Германия) и другие [13].

В результате необходимы хорошие вычислительные модели для нормальных условий эксплуатации, чтобы координировать изменения режима работы трубопровода во времени [18].

					ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

## 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ

Ряд математических моделей был проанализирован и применен для аналитических исследований. В результате локальные изменения условий перекачки сопровождаются турбулентностью потока в трубопроводе. Влияние всех вышеперечисленных факторов невозможно игнорировать. Это усложняет эксплуатацию трубопровода, увеличивает энергозатраты, повышает стоимость перекачки и снижает надежность трубопровода. Пригодность и эффективность существующих методов управления зависит от требуемых параметров управления. Частотные методы управления практически не используются в нефтяной промышленности. Количество изобретений в этой области очень мало. Несмотря на большие усилия отечественных и зарубежных ученых, не существует универсальной математической модели рабочего участка трубопровода, отвечающей всем требованиям современной практики. Из-за сложности процессов, протекающих в трубопроводах, автоматические системы регулирования давления не нашли практического применения. Точность алгоритмов зависит от нелинейных характеристик трубопровода. Анализируя существующие системы, можно было определить применимость моделей.

### 2.1 Фильтр Калмана как модель исследуемой системы

Последовательным алгоритмом, который предсказывает следующее состояние системы, принимая во внимание предыдущие значения анализируемого сигнала  $f$ , называют Фильтр Калмана [14]. В этом алгоритме две операции - предсказание и коррекция - повторяются циклически. В первой операции рассчитывается оценка состояния; во второй - информация от датчиков корректирует эту оценку (с учетом неточности и шума этой информации) (рис. 2.1). Аналогично напор нефтепродуктов не должен превышать установленного предела. Кавитацию принято считать явлением, которое повышает давление на всех участках нефти проводящей магистрали, что приводит к негативным последствиям. Следствием кавитации являются неодинаковые пропускные способности на разных участках магистрального нефтеперекачивающего трубопровода.

					Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ящук Г.С.			МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Бурков В.П.					37	118
Рук. ООП		Чухарева Н.В.				Отделение нефтегазового дела Группа 2Б92		

Чтобы избежать данного явления, необходимо тщательно регулировать расход на всасывающем трубопроводе насосной станции. Регулируя расход на всасывающем трубопроводе, мы одновременно изменяем напор в насосной станции. Регулирование может осуществляться двумя способами: ступенчатым и плавным. Последняя осуществляется путём изменения частоты вращения двигателя насосного оборудования, а также регулирование потока нефтепродуктов дроссельным вентилем. Иногда, чтобы уменьшить напор, прибегают к отключению одного или нескольких насосов. Проанализированы и аппроксимированы напорные характеристики центробежных насосов. На следующем этапе выбранная часть магистрального трубопровода была спроектирована MatLab в структурном виде.

Также была проведена серия экспериментов для проверки точности расчетов. Представлены структурная, функциональная и блок-схемы разработанной модели. Разработанный метод гидравлического регулирования и автоматическая система управления транспортировкой нефти позволяют снизить энергопотребление и повысить эффективность эксплуатации трубопровода.

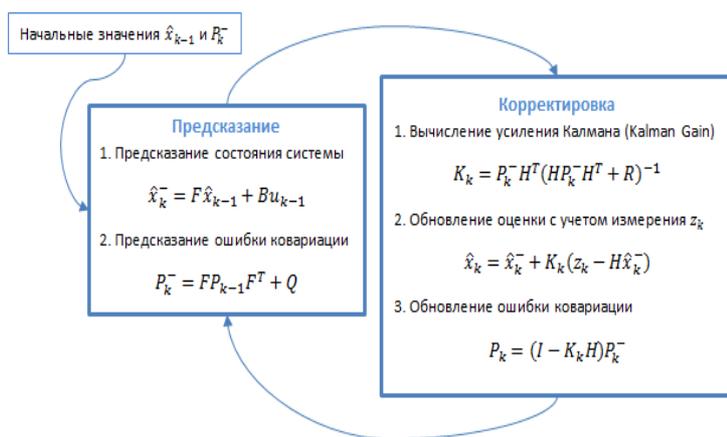


Рисунок 2.1 – Алгоритм фильтра Калман

Уравнения выражаются в скалярных величинах. Если имеется только одна переменная, матрица сводится к одномерному вектору. Каждая переменная имеет следующие обозначения: подстрочные индексы указывают на текущее время - k, (k-1) указывает на предыдущее время, а знак "минус" в верхнем индексе указывает на промежуточное прогнозируемое значение. Переменные показаны на рисунках 2.2 и 2.3.



Рисунок 2.2 – Этап «Предсказание»

Рассмотрим следующую модель сигнала в виде дифференциального уравнения:

$$\dot{x}(t) = G(t)x(t) + q(t) \quad (2.1)$$

Где  $x(t)$  – вектор размера  $n$ ,  $G$  – квадратная матрица,  $q(t)$  – белый шум – вектор с интенсивностью  $Q(t)$ , имеющий тот же размер, что и вектор состояния.

Будем считать, что измерения от датчиков поступают в дискретные моменты времени. Как описывалось ранее, фильтр Калмана реализуется в два этапа.

Первый этап – коррекция априорной оценки

$$\hat{x}_k^- = F \hat{x}_{k-1} + B u_{k-1} \quad (2.2)$$

Второй этап – корректировка ошибок на момент времени в нашем случае, опираясь на дифференциальное уравнение системы, решение которого имеет вид

$$x_{j+1}(t) = \Phi(t_{j+1}, t_j)x(t_j) + \int_{t_j}^{t_{j+1}} \Phi(t_{j+1}, \tau)q(\tau)d\tau. \quad (2.3)$$

Функция  $q(t)$  в момент нам неизвестна, поэтому в качестве априорной оценки  $x(t)$  примем:

$$x^-(t_{j+1}) = \Phi(t_{j+1}, t_j)x^+(t_j). \quad (2.4)$$

Теперь нужно определить ковариационную матрицу погрешности для  $x^-(t_{j+1})$ .

Очевидно, что

$$\text{[Redacted]} \quad (2.5)$$

Для сокращения записи будем обозначать  $\Delta x_j = x^+(t_j) - x(t_j)$ .

Теперь

$$x^-(t_{j+1}) - x(t_{j+1}) = \Phi(t_{j+1}, t_j)\Delta x_j - \int_{t_j}^{t_{j+1}} \Phi(t_{j+1}, \tau)q(\tau)d\tau. \quad (2.6)$$

На следующем этапе построим матрицу ковариаций

$$\text{[Redacted]} \quad (2.7)$$

Рассмотрим однородное уравнение  $\dot{x}(t) = G(t)x(t)$

Для малых  $\Delta t$  можно записать

$$\text{[Redacted]} \quad (2.8)$$

Сравнивая полученное выражение с (2.5), получим

$$\Phi(t_{j+1}, t_j) \approx E + G(t_j) \cdot \Delta t. \quad (2.9)$$

Следовательно, вместо (2.5) можно записать

$$x^-(t_{j+1}) = x^+(t_j) + \Delta t \cdot G(t_j)x^+(t_j). \quad (2.10)$$

Подставляя (2.9) в (2.10), получим

$$\Phi(t_{j+1}, \tau)Q(\tau)\Phi^T(t_{j+1}, \tau) \approx Q(\tau) + (GQ + QG^T)(\tau - t_j) + GQG^T(\tau - t_j)^2. \quad (2.11)$$

Аналогично

$$\Phi(t_{j+1}, \tau)Q(\tau)\Phi^T(t_{j+1}, \tau) \approx Q(\tau) + (GQ + QG^T)(\tau - t_j) + GQG^T(\tau - t_j)^2. \quad (2.12)$$

Учитывая малость  $\Delta t$ , в дальнейшем будем пренебрегать величиной  $\Delta t^2$ . Кроме того, будем также считать  $Q$  малой величиной, так как в противном случае приращение  $x(t_{j+1}) - x(t_j)$  не будет малой величиной. Тогда

$$\Phi(t_{j+1}, \tau)Q(\tau)\Phi^T(t_{j+1}, \tau) \approx Q(\tau) + (GQ + QG^T)(\tau - t_j) + GQG^T(\tau - t_j)^2. \quad (2.13)$$

Введем обозначение

$$\bar{Q}(t_j) = \frac{1}{t_{j+1} - t_j} \int_{t_j}^{t_{j+1}} Q(\tau) d\tau.$$

Получим окончательную формулу для экстраполяции ковариационной матрицы погрешности оценивания [14]

$$\Phi(t_{j+1}, \tau)Q(\tau)\Phi^T(t_{j+1}, \tau) \approx \bar{Q}(t_j) + (G\bar{Q} + \bar{Q}G^T)(\tau - t_j) + G\bar{Q}G^T(\tau - t_j)^2. \quad (2.14)$$

Давайте реализуем этот пример в MatLab. Алгоритм определяет последовательность операций, которые должны быть выполнены в цикле. Подобные операции аналогичных вычислений, собираются m-файлом. Этот файл состоит из набора функций Си. Код программы показан на рисунке 2.4. Итоги работы алгоритма показаны на рисунке 2.5.

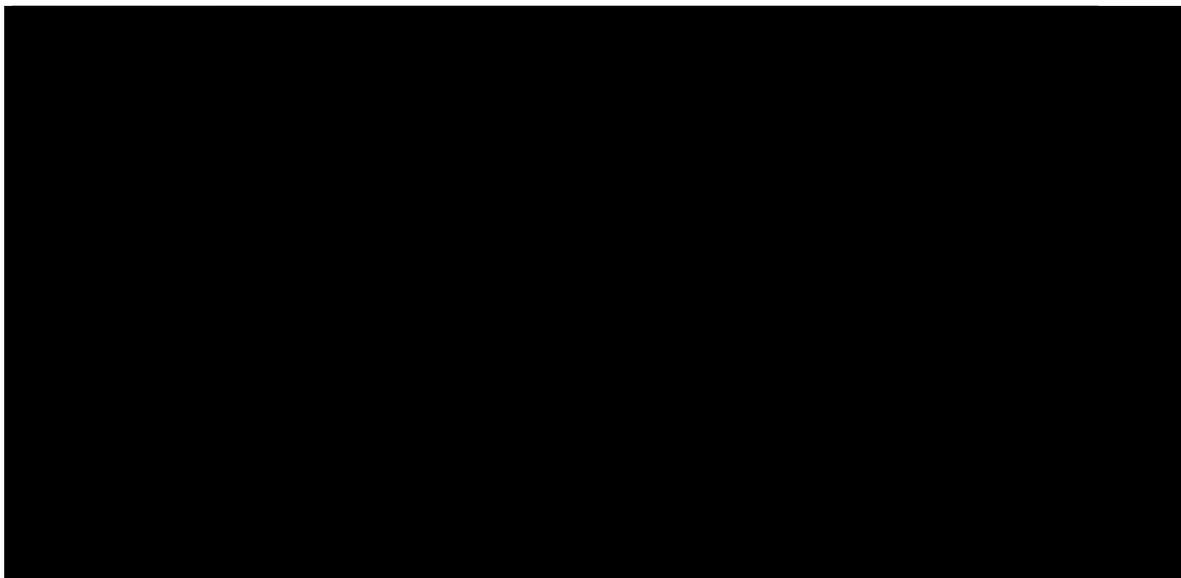


Рисунок 2.4 – Фрагмент алгоритма

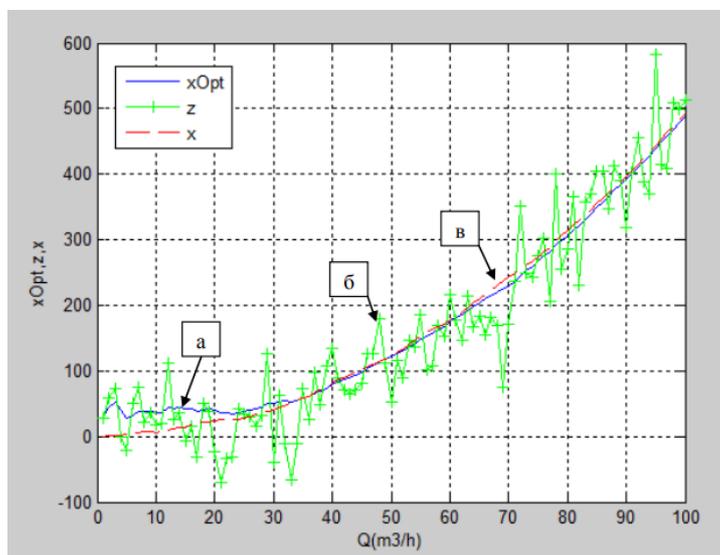


Рисунок 2.5 – Выполнение алгоритма фильтра Калмана

На этой диаграмме показаны следующие переменные:

- а - Информация датчика;
- б - Шумовой сигнал;
- с - необработанный сигнал после фильтрации

Фильтр Калмана не является совершенным, поскольку точность модели самой системы и модели измерений зависит от шума. Шум характеризуется ковариационной матрицей - параметром, от которого зависит точность оценки вектора состояния системы.

## 2.2 Математическая модель сложной неоднородной распределенной системы перекачки жидкости

В качественных технологических конфигурациях, где жидкости транспортируются на большие расстояния, насосные станции с длинными магистральными трубопроводами необходимо рассматривать как объекты с распределенными параметрами (рис. 2.6). Алгоритм определяет последовательность операций, выполняемых внутри цикла. Сходные операции одинаковых вычислений объединяются m-файлом. Этот файл состоит из набора функций языка Си. Для сложных разветвленных систем удобно использовать матрицы для получения передаточных функций [15].

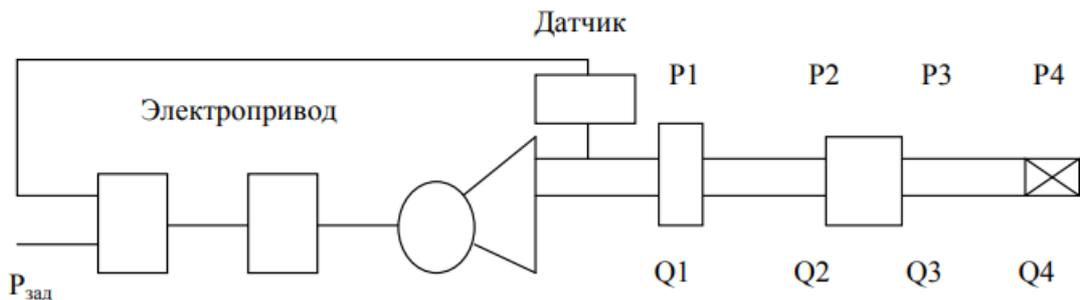


Рисунок 2.6 – Участок магистрального трубопровода

Пусть для уравнения n-го порядка

$$L(y)=0. \quad (2.15)$$

Даны начальные условия

$$y|_{x=x_0} = y_0, y'|_{x=x_0} = y'_0, \dots, y^{(n-1)}|_{x=x_0} = y_0^{(n-1)}$$

Переменная  $y$  в любой точке  $x_1$  и значения ее первых  $n-1$  производных определяются следующим уравнением:

$$y^{(i)}|_{x=x_1} = y_1^{(i)} = \sum_{k=0}^{n-1} L_{ik} y_0^{(k)}, i = \overline{0, n-1},$$

где  $L_{ik}$  - число, которое зависит от типа уравнения (2.8) и точек  $x_0, x_1$ .

Эта матрица позволяет определить передаточную функцию путем установления связи между значением функции и производными до  $(n-1)$  на обоих концах интервала

$(x_0, x_1)$ .

Для нахождения матрицы  $L$ , соответствующей любому участку магистрального трубопровода, на котором распределены параметры, удобно использовать обычную систему уравнений элементарного решения:  $f_0(x), f_1(x)$



Тогда элементы матрицы  $L$  в точке  $x_1$  имеют следующий:

$$L_{ik} = f_i^{(k)}(x_1). \quad (2.16)$$

Фактически, общее решение уравнения (2.15) имеет следующий вид

$$y = c_0 f_0(x) + \dots + c_{n-1} f_{n-1}(x).$$

Причем  $y^{(k)}(x_0) = c_k, k = 0, \overline{n-1}$ .

Для дифференциального уравнения с преобразованием Лапласа для нестационарного движения жидкости оно предварительно записывается следующим образом:

$$h(s) = \frac{1}{c} * \sqrt{s^2 + 2 * a * s},$$

в следующем виде:

$$\frac{d^2 P(x,s)}{dx^2} - h^2(s) P(x,s) = 0.$$

Нормальная фундаментальная система представляет собой функцию



(2.17)

Тогда согласно выражениям (2.16) и (2.17) матрица продолжения решения имеет вид

$$L(h, l) = \begin{bmatrix} chh(s)l & 1/h(s)shh(s)l \\ h(s)shh(s)l & chh(s)l \end{bmatrix}. \quad (2.18)$$

Очевидно, что при фиксированном  $h$  матрица  $L$  обладает свойством аддитивности



(2.19)



Связь между переменными до и после накачки описывается матрицами продолжения и перехода.

$$\begin{bmatrix} P_2 \\ Q_2 \\ P_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} chh(s)l_1 & 1/h(s)shh(s)l_1 & 0 \\ h(s)shh(s)l_1 & chh(s)l_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} P_1 \\ Q_1 \\ Q_B \end{bmatrix}.$$

Матрица зависимости  $M_2$  от  $P_4, Q_4$  до  $P_3, Q_3$ , матрица перехода  $M_3$  и матрица первого участка  $M_4$  с учетом прокачки, динамические уравнения для всего трубопровода записываются с использованием матриц продолжения и перехода, определенных выше

$$\begin{bmatrix} P_4 \\ Q_4 \end{bmatrix} = |M_2| * |M_3| * |M_4| * \begin{bmatrix} P_1 \\ Q_1 \\ Q_B \end{bmatrix}.$$

Перемножая матрицы, мы получаем следующее.



Если элементы матрицы равны  $m_{ij}$ , то уравнение записывается следующим образом

$$\begin{aligned} P_4 &= m_{11} * P_1 + m_{12} * Q_1 + m_{13} * Q_B; \\ Q_4 &= m_{21} * P_1 + m_{22} * Q_1 + m_{23} * Q_B. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Тогда матричное уравнение "вход-выход" может быть сформулировано из (2.22) следующим образом:

$$A(s)\bar{y}(s) = B(s)\bar{F}(s), \quad (2.23)$$

где  $A(s)$  – матрица коэффициентов выхода системы;

$\bar{y}(s)$  -  $n$  – мерный вектор выхода;

$B(s)$  – матрица коэффициентов входа системы размерности  $n*m$ ;

$\bar{F}(s)$  -  $m$  – мерный вектор входных воздействий.



Выходным параметром является изменение давления в конце трубопровода при наличии на линии промежуточной насосной секции.

Структура модели показана на рисунке 2.7.

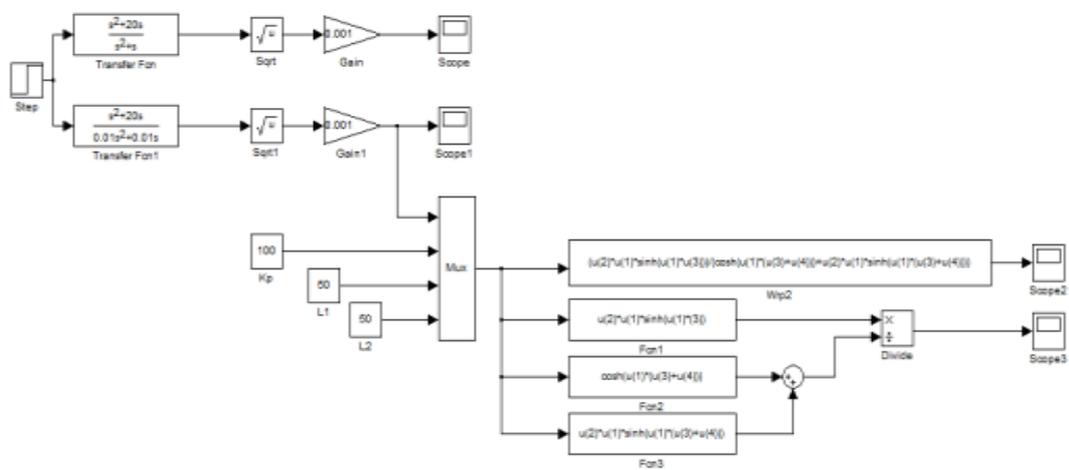


Рисунок 2.7 – Модель участка трубопровода при наличии насосной станции

Модель включает в себя следующие блоки:

- 1) Transfer Fcn - блок для определения выходного сигнала передаточной функции  $h(s)$ ;
- 2) Sqrt, Gain, Divide, Sum - блоки для выполнения математических операций квадратного корня, усиления, деления и сложения соответственно;
- 3) Step, Constant - блоки для задания входных параметров;
- 4) Mux - блок для объединения входных параметров;
- 5) Fcn - блок для решения заданного выражения;
- 6) Scope - блок отображения выходного сигнала.

Алгоритм программы представляет собой непрерывное решение уравнения (10). Это решение выполняется в два этапа. Приближение выходного сигнала достигается путем уменьшения значения постоянной времени - параметра настройки блока "Transfer Fcn"; входной сигнал блока "Step" подается на вход передаточной функции. После ряда математических операций выходной сигнал подается на вход блока "Mux", который объединяет входные параметры. Этот блок используется для объединения параметров, заданных пользователем.

Параметры, заданные пользователем, и сигналы, рассчитанные на первом этапе, объединяются и передаются на вход блока "Fcfn".

Для контроля изменений требуемых параметров предусмотрен ряд блоков 'scope'.

Снимки экрана этой модели показаны на рисунках 2.8 и 2.9.

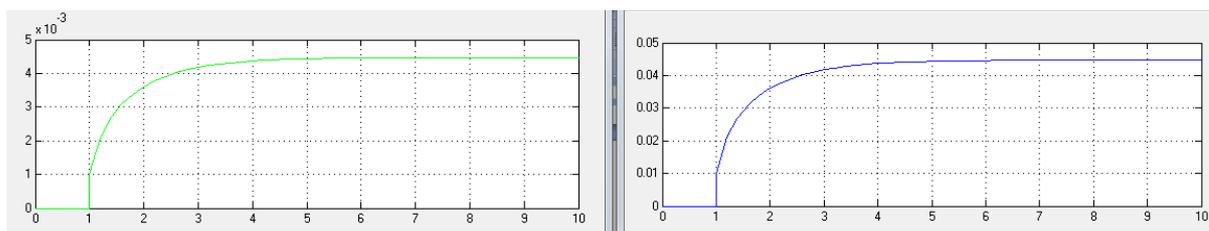


Рисунок 2.8 – Выходной сигнал передаточной функции  $h(s)$

На графике 2.8 слева показана кривая зависимости выходного сигнала от постоянной времени данной передаточной функции. График справа показывает кривую изменения выходного сигнала с уменьшением начальных параметров для приближения к выходному сигналу  $h(s)$ .

Эти кривые были получены путем прямого расчета значений давления на участке трубопровода (левый график) и путем разложения уравнения (2.25) на ряд математических операций. Из рисунков видно, что дополнительные вычисления приводят к значительным погрешностям в конечных результатах.

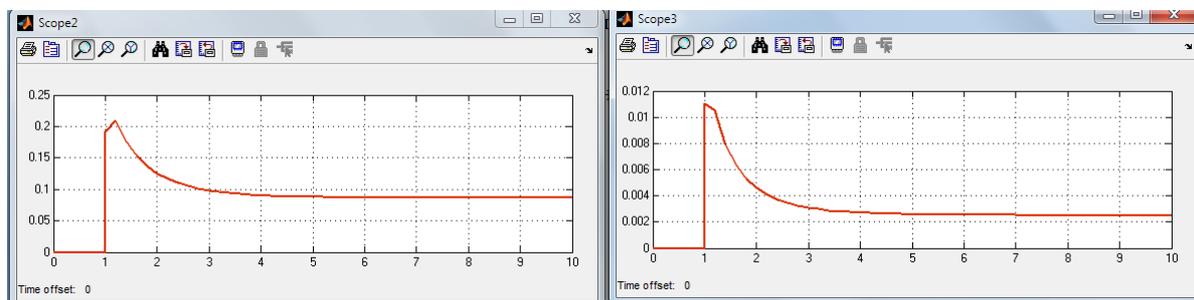


Рисунок 2.9 – Кривые распределения давления вдоль участка трубопровода

Приведенная выше динамическая модель является достаточно сложной и не учитывает наличие возможных осложнений, и каждая смена режима должна сопровождаться сменой программы. Она также не учитывает наличие возможных осложнений.

### 2.3 Аппроксимация напорных характеристик центробежного насоса

Исследования центробежных насосов в вязких жидкостях очень обширны. В основном они основаны на принципах гидродинамической теории, связанных с подобием и размерами.

Такие исследования проводились в основном М.Д. Эйзенштейном, Д.Я. Сухановым, А. Иппеном, А.И. Степановым, К. Пантеллом, П.Д. Ляпковым и др. [16].

На прямом участке трубопровода поток движется от зоны высокого давления к зоне низкого давления. Уменьшение гидравлического напора определяется влиянием местных сопротивлений. В процессе движения псевдооживленный слой оказывает силу, называемую вязким трением.

Перепад высот компенсируется приводом, позволяя жидкости продолжать течь по трубопроводу.

Насос представляет собой устройство для компенсации давления, которое перемещает жидкость из всасывающей линии в нагнетательную линию насоса [11].

Центробежная сила  $r\omega^2$ , где  $r$  - плотность жидкости,  $\omega$  - угловая скорость вращения и  $r$  - расстояние частиц жидкости от оси вращения, действует на жидкость, заполняющую рабочее колесо) [11].

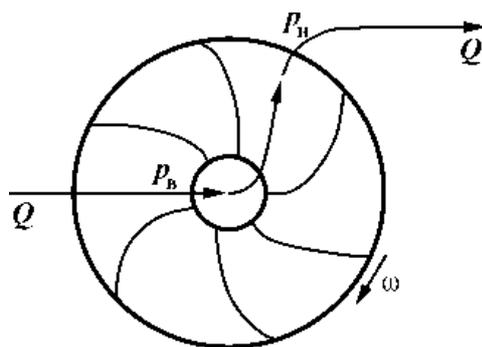


Рисунок 2.10 – Принцип действия центробежного насоса

Это явление известно как кавитация (от лат. cavitas - сi). Попадая в эту область высокого давления, целостность полости нарушается, и в процессе возникает большое точечное давление. Это явление не только вызывает быстрый износ компонентов турбокомпрессора, но и снижает общую эффективность насоса.

С другой стороны, промежуточные насосные станции на магистральных нефтепроводах, соединенных последовательно, оснащаются только основными насосами.

Функциональная зависимость  $H = F(Q)$  между дифференциальным подъемом  $H$ , создаваемым насосом, и нагнетанием  $Q$  (расходом), обеспечиваемым насосом, называется (Q-H).

Как упоминалось выше, в центробежном насосе центробежная сила, действующая на жидкость, захваченную лопастями рабочего колеса, заставляет жидкость течь от давления  $p$  во всасывающей линии к давлению  $p_v$  в нагнетательной линии.

При постоянной скорости вращения рабочего колеса наблюдается закономерность:

Зависимость центробежного насоса  $H = F(Q)$  монотонно убывает:  $dF/dQ < 0$

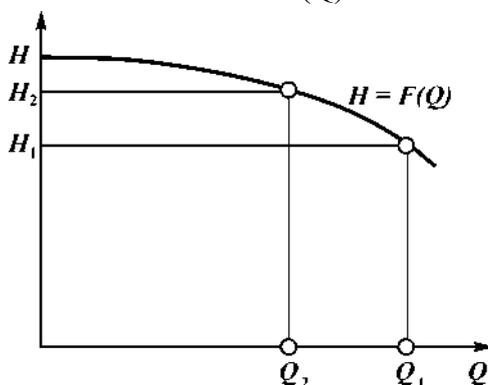


Рисунок 2.11 – (Q—H) характеристика центробежного насоса

Характеристики центробежного насоса (Q-H) обычно аппроксимируются полиномом второго порядка

$$H = a - bQ^2, \quad (2.26)$$

где H - напор (м);

Q - расход (м<sup>3</sup>/ч);;

a - неотрицательный коэффициент напора (м); и

b - коэффициент, учитывающий местное сопротивление (м/(м<sup>3</sup>/ч)<sup>2</sup>).

При проектировании используются (Q-H) - характеристические кривые для аппроксимации характеристик насоса, а расчет параметров a и b производится пятиточечным методом наименьших квадратов (Q<sub>т</sub> H), по этим кривым.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2 \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}{(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2)^2 - 5 \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}, \quad b = \frac{5 \sum_{i=1}^{i=5} H_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^{i=5} H_i \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2}{(\sum_{i=1}^{i=5} Q_i^2)^2 - 5 \sum_{i=1}^{i=5} Q_i^4}. \quad (2.27)$$

## 2.4 Разработка моделей конструктивных элементов системы управления давлением магистрального трубопровода

### 2.4.1 Блок аппроксимации напорной характеристики насоса

Блок, аппроксимирующий напорную характеристику центробежного насоса, показан на рисунке 5. Этот блок состоит из двух основных структурных частей: Подсистема для вычисления коэффициента 'Solve a' и подсистема для вычисления



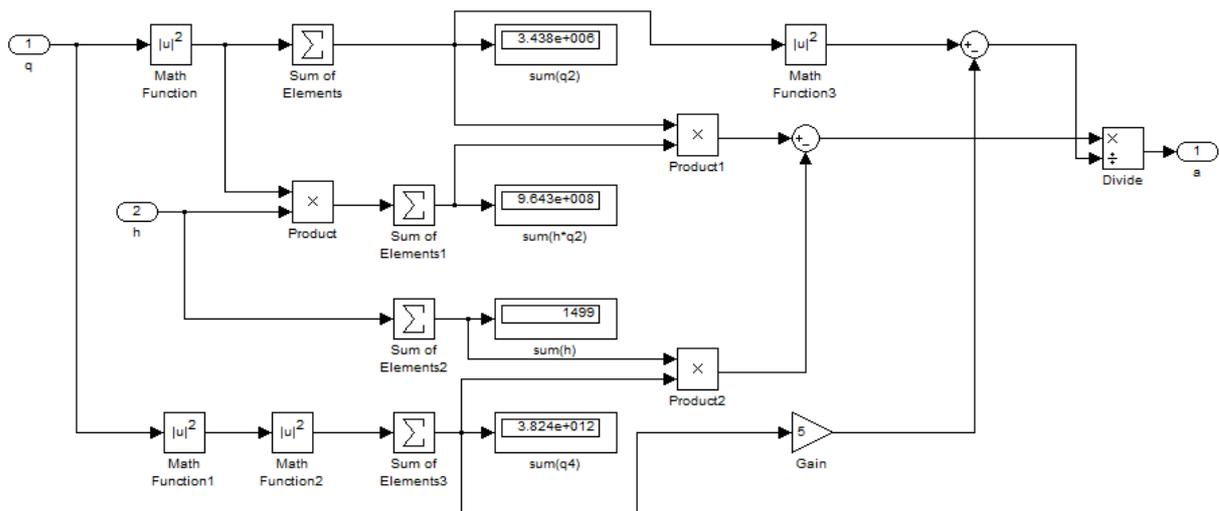


Рисунок 2.13 – Подсистема расчета коэффициента «а»

Блок отображения используется для отображения результатов промежуточных вычислений с целью контроля точности выполненных расчетов. Для повышения наглядности диаграммы используются блоки "goto" и "from" для отображения информации между основными блоками модели. Например, в этом блоке два блока "goto" используются для информирования координатора о рассчитанном номинальном давлении центробежного насоса. На рисунке 2.15 показана блок-схема алгоритма, используемого для аппроксимации напорных характеристик центробежного насоса.

Проверка полученных коэффициентов производится с помощью метода коэффициентов Лагранжа и прогона проверки с помощью Curve Fitting Toolbox, встроенной в MatLab процедуры идентификации.

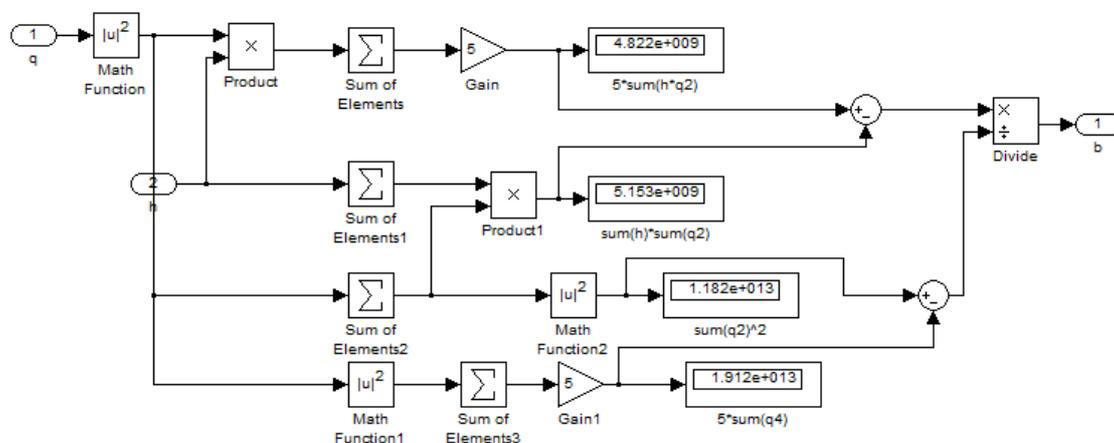


Рисунок 2.14 – Подсистема расчета коэффициента «b»

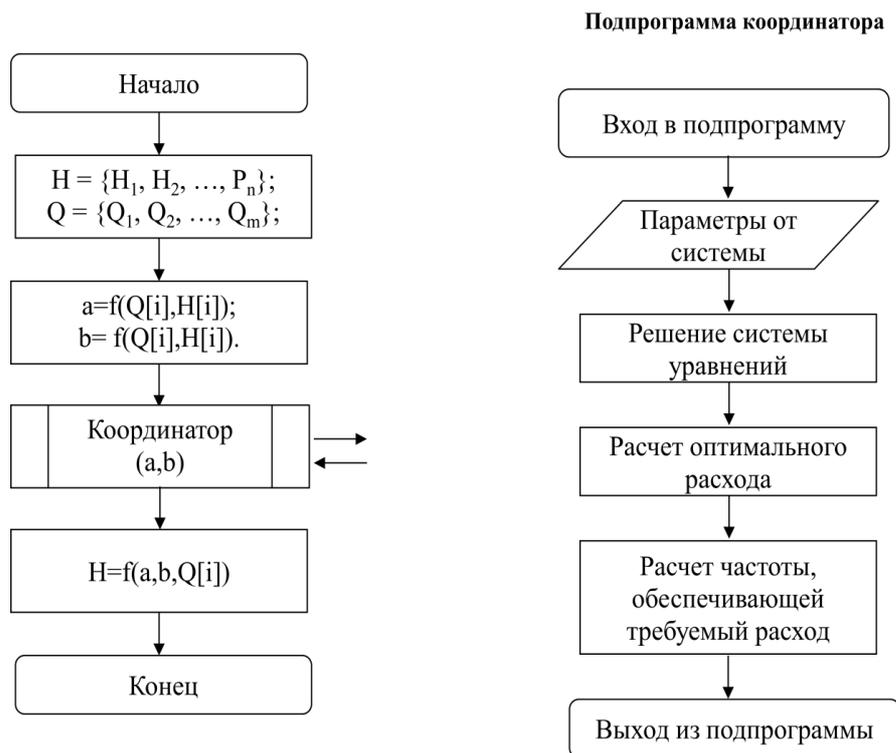


Рисунок 2.15 – Блок – схема алгоритма аппроксимации напорной характеристики центробежного насоса

Чтобы выполнить описанное выше, введите исходные данные для характеристики давления в главном окне MatLab и введите команду `sftool`. Откроется дополнительное диалоговое окно, и в качестве аппроксимации будет выбран полином второго порядка. Результат выполнения команды показан на рисунке 2.16.

Диалоговое окно разделено на четыре поля:

- Поле входных данных. В данном случае это кривая давления 260, которая является определяющими данными для насоса РМ 1250.
- Поле, используемое для определения уравнения аппроксимации. В данном эксперименте был выбран полином второго порядка.
- Результативная область коэффициентов приближенного уравнения. Согласно полученным результатам, коэффициент «а»  $a=(330.8 \pm 5.7\text{м}),095$ ; коэффициент «b»  $b=(-4.571 \cdot 10^{-5} \pm 0.993\text{м})/(\text{м}^3/\text{ч})^2,095$ .
- Это область, где строятся графики исходных данных и приблизительных результатов, а также график ошибки (отличие от заданных данных).

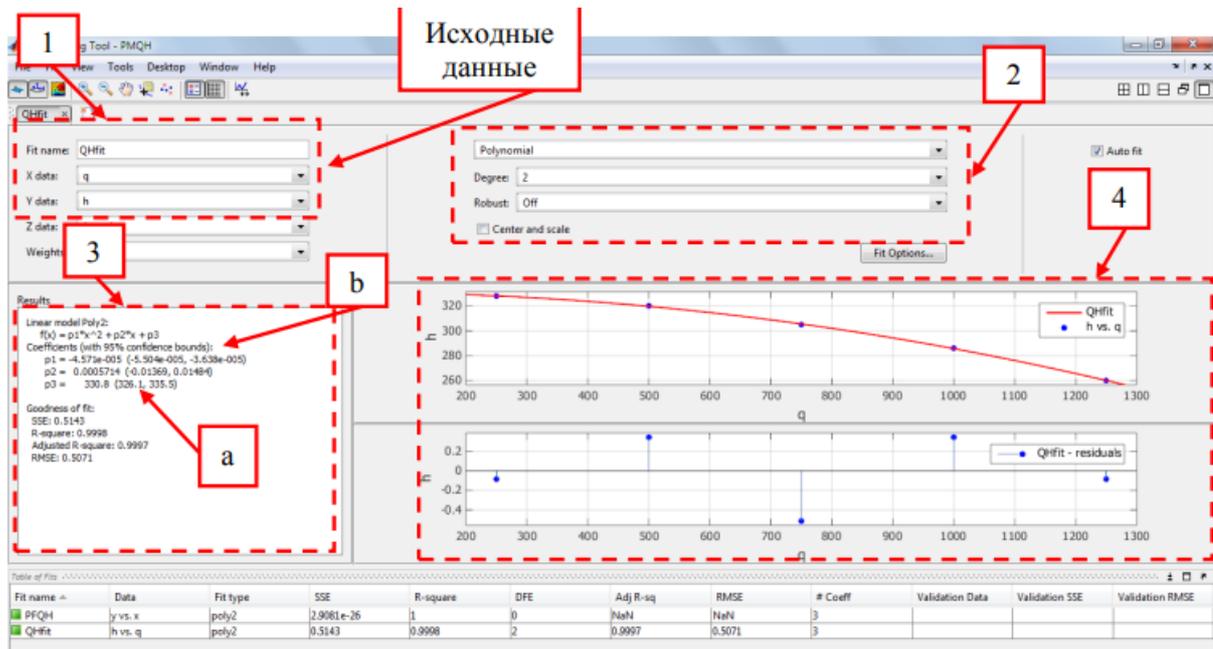


Рисунок 2.16 – Диалоговое окно Curve Fitting Toolbox

Из полученных результатов можно сделать вывод, что коэффициенты, рассчитанные моделью, надежны и могут быть применены для дальнейшей обработки.

Кривые зависимости  $H(Q)$ , построенные с помощью Curve Fitting Toolbox, также подтверждают, что коэффициенты  $a$  и  $b$  рассчитаны правильно.

Аналогичным образом проводятся дополнительные эксперименты для подтверждения данных, полученных с помощью метода коэффициентов Лагранжа. Этот метод генерирует кривую аппроксимируемой функции на основе исходных данных. Алгоритм — это последовательность определенных операций, выполняемых в цикле. Процесс многократного выполнения аналогичных вычислений осуществляется путем создания файла функций; в MatLab файл функций называется m-файлом. Этот файл состоит из набора функций на языке C. Код программы показан на рисунке 2.17.



## 2.4.2 Блок моделирования насосной станции.

Блок определения напора центробежного насоса является неотъемлемой частью блока моделирования насосной станции. В базовой модели имеется три таких блока, в зависимости от количества насосных станций в интересующем трубопроводе. Поскольку эти блоки выполняют схожие операции и не имеют структурных различий, данный раздел ограничивается одним из них. Этот блок показан на рисунке 2.19.

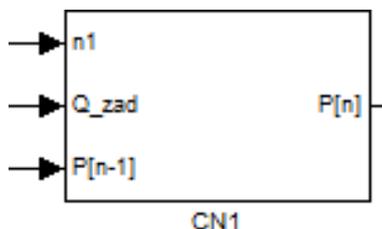


Рисунок 2.19– Блок модели насосной станции «CN1»

Устройство имеет три входных параметра и один выходной параметр.

Входные параметры, следующие:

$n1$  - скорость вращения вала двигателя центробежного насоса для поддержания расхода в трубопроводе на оптимальном значении.

$Q$ . Определяется блоком принятия решений и является индивидуальной величиной для каждой насосной станции.

$Q_{\text{zad}}$  - оптимальная пропускная способность трубопровода  $Q$ . Она определяется группой принятия решений и является постоянной величиной для всех насосных станций.

$P[n-1]$  - это давление во всасывающей линии от предыдущей насосной станции.

В данном случае это постоянное значение, так как учитывается первая насосная станция. Для последующих станций это значение является последним давлением от предыдущей станции.

Выходным параметром является значение напора, пересчитанное из метрических единиц в атмосферные, которое необходимо для обеспечения оптимального потока по трубопроводу.

Внутренняя структура блока показана на рисунке 2.20. Подсистема разделена на три области.

1 - Блок аппроксимации характеристик напора насоса по паспортным данным насоса НМ 1250 - 260 при указанной выше частоте  $n_0 = 3000/\text{мин}$ .

2 - область пересчета исходных данных кривой напора при базовой частоте на заданную частоту  $n1$  с целью получения оптимальной производительности  $Q$ . Напор,

									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

необходимый для заданной производительности трубопровода  $Q_d$ , определяется в соответствии с формулой, согласно которой для каждого значения напора, создаваемого насосом, существует значение напора, обеспечиваемого насосом.

3 - Область преобразования размеров напора, пересчитанных из метров в атмосферное давление. Это значение передается в сеть - модель участка трубы.

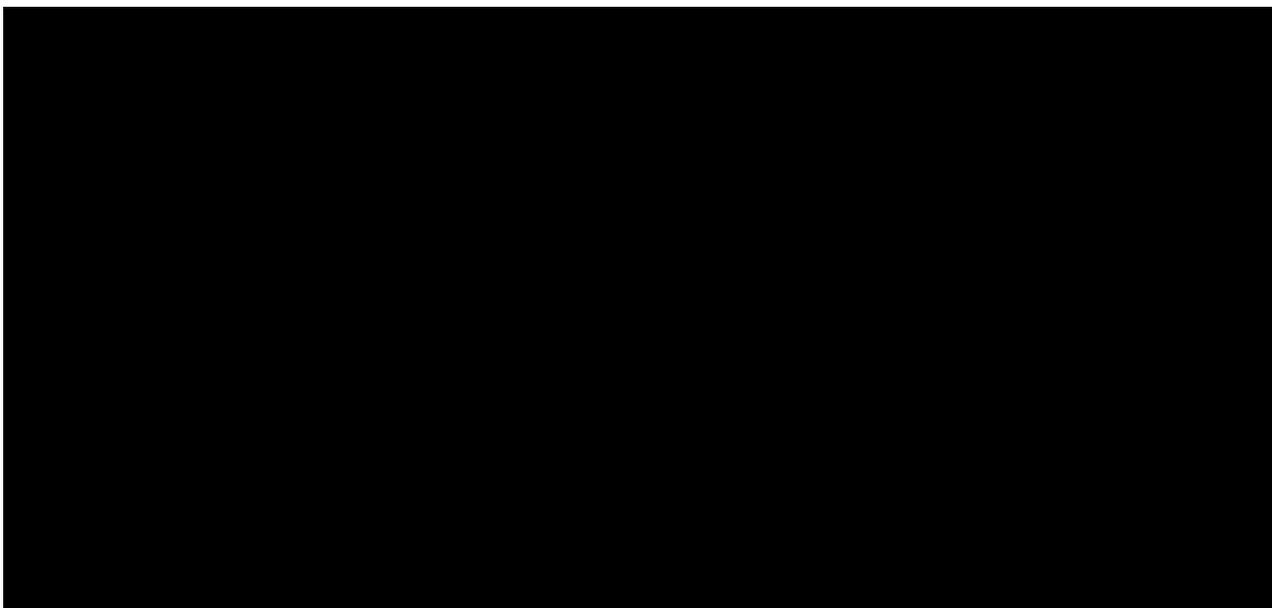


Рисунок 2.20– Структура блока модели насосной станции «CN1»

Устройство работает по следующему алгоритму. Блок грубо рассчитывает напорные характеристики центробежного насоса и выдает вектор, состоящий из двух значений. Значение  $n_1$  - скорость вращения двигателя центробежного насоса и само значение  $Q_{zad}$  берутся параллельно. Затем значения напорных характеристик пересчитываются на основе аналогичного теоретического уравнения (8) от номинальной частоты вращения  $n_0$  до заданной частоты  $n_1$ . Полученные два вектора передаются на следующую операцию - определение величины напора насоса для заданного значения производительности подачи насоса  $Q_{zad}$ . На основе этой информации решаются три уравнения. Количество уравнений определяется количеством секций в трубопроводе. В результате решения уравнений при их решении определяется оптимальное значение скорости потока в трубопроводе для получения максимальной прибыли. Также, в зависимости от этого значения, определяется значение скорости вращения вала электродвигателя насоса для обеспечения требуемого расхода в трубопроводе. Рассчитанные параметры подаются в соответствующие секции в качестве заданных значений. Заданные значения для каждой секции поддерживаются регулятором типа. Определенное значение напора преобразуется из метрического измерения в

атмосферное. Затем это значение переносится на сеть (моделирование участка трубопровода).

При разработке модели используются следующие конструктивные элементы. Поскольку величины, используемые в расчетах, являются скалярными, скалярные операции, используются соответствующим образом. Поэлементный выбор векторов для использования организуется блоком цикла for. Результаты промежуточных вычислений отображаются блоком 'display'. Для выбора необходимых значений головки, соответствующих заданной подаче, используется блок "Pre-Search Lookup Table". Этот блок имеет два входа и два выхода. Входными параметрами являются искомый элемент и вектор, по которому производится поиск элемента. Выходным параметром является индекс заданного элемента.

Полученный индекс передается в блок "Таблица прямого поиска", который извлекает элементы входного вектора с заданным индексом. Этот процесс выводит требуемое значение головки.

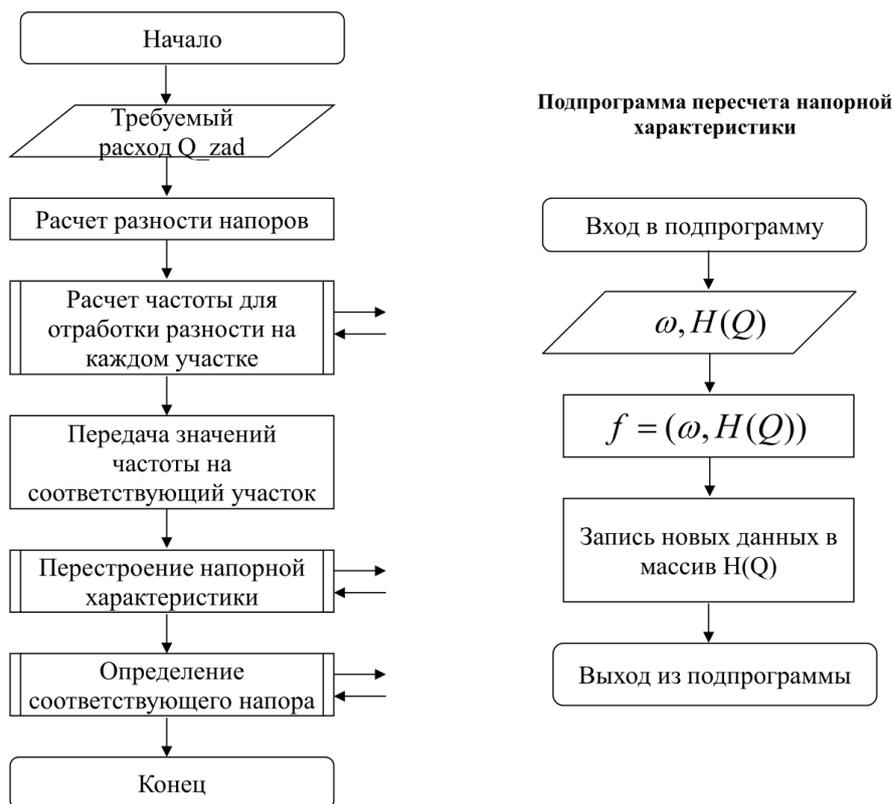


Рисунок 2.21 – Блок – схема алгоритма метода частотного регулирования

Анализ характеристик магистральных насосов по отношению к вязким маслам и нефтепродуктам позволяет сделать некоторые качественные выводы о закономерности характеристик перекачки, конструктивных параметрах насоса и характеристиках в зависимости от режима действия.

1) Как видно из рисунка, форма характеристик перекачки меняется, когда центробежный насос перекачивает высоковязкие жидкости. С увеличением вязкости напор насоса уменьшается, характеристика  $Q-H$  (напорное давление) становится более крутой, а кривизна - меньше. Эффективность падает еще сильнее.

2) Во всех исследованиях вязкость жидкости при нулевом расходе не влияет на напор насоса. Эта модель была подтверждена многими авторами.

### 2.4.3 Изменение давления на участке трубопровода

Модель участка трубопровода объединяет три участка трубопровода в один расширенный участок. В работе или структуре этих секций нет никаких различий. Параметры, которые отличаются— это длина каждой секции и давление на входе в конце предыдущей секции. Структура блока показана на рисунке 2.22.

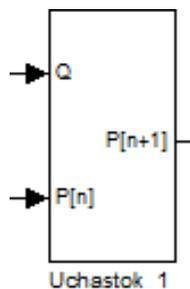


Рисунок 2.22 – Блок модели участка трубопровода «Uchastok\_1»

Устройство имеет два входных и один выходной параметр. Входными параметрами являются оптимальная уставка расхода  $Q_{zad}$  и давление на выходе, необходимое для поддержания пропускной способности трубопровода. Выходным параметром является значение давления в конце соответствующего участка.

Внутренняя структура блока показана на рисунке 2.23. Подсистема разделена на две области.

Первая – это область, в которой рассчитывается общая потеря давления на участке трубопровода. Эта область содержит четыре подсистемы для промежуточных расчетов.

Вторая – область для построения графика распределения давления вдоль участка трубопровода.

Принцип работы данного блока заключается в следующем. Оптимальное значение расхода  $Q_{\text{зад}}$  поступает на вход подсистемы, которая рассчитывает значение расхода транспортируемой жидкости.

Этот блок является одним из блоков определения. На этом этапе определяется режим течения в трубопроводе. Согласно приведенному выше уравнению, возможны три варианта: ламинарное течение, турбулентное течение, течение в гладком участке трубы и вторичное трение. Диапазон, в котором находится рассчитанное число Рейнольдса, определяет, как рассчитываются значения гидродинамического сопротивления по известным формулам. На основе этой информации решаются три уравнения. Количество уравнений определяется количеством секций в трубопроводе. В результате решения уравнений при их решении определяется оптимальное значение скорости потока в трубопроводе для получения максимальной прибыли. Также, в зависимости от этого значения, определяется значение скорости вращения вала электродвигателя насоса для обеспечения требуемого расхода в трубопроводе. Рассчитанные параметры подаются в соответствующие секции в качестве заданных значений. Заданные значения для каждой секции поддерживаются регулятором типа. На выходе системы мониторинга указывается только одно измеренное значение.

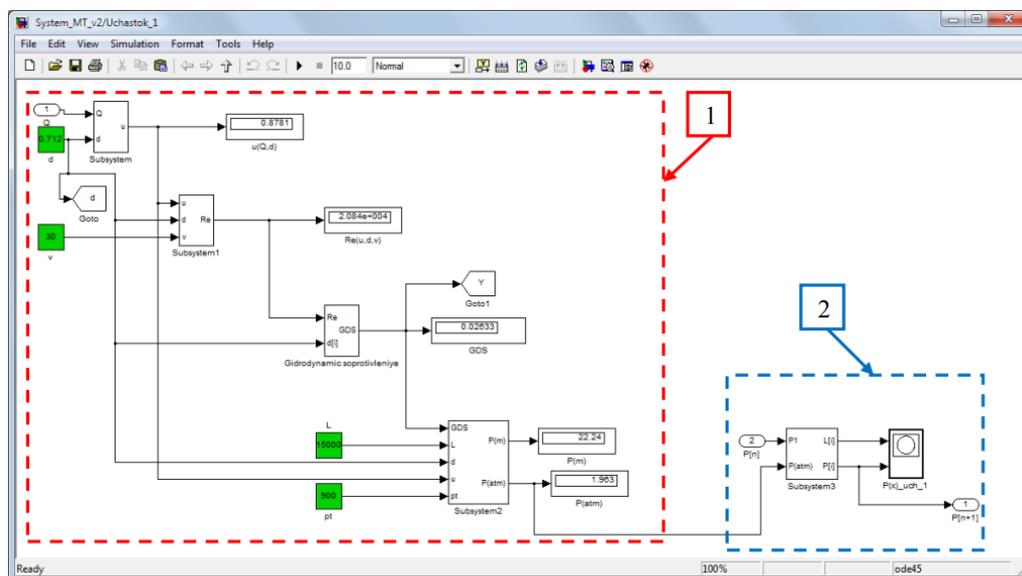


Рисунок 2.23 – Структура модели участка трубопровода «Uchastok\_1»

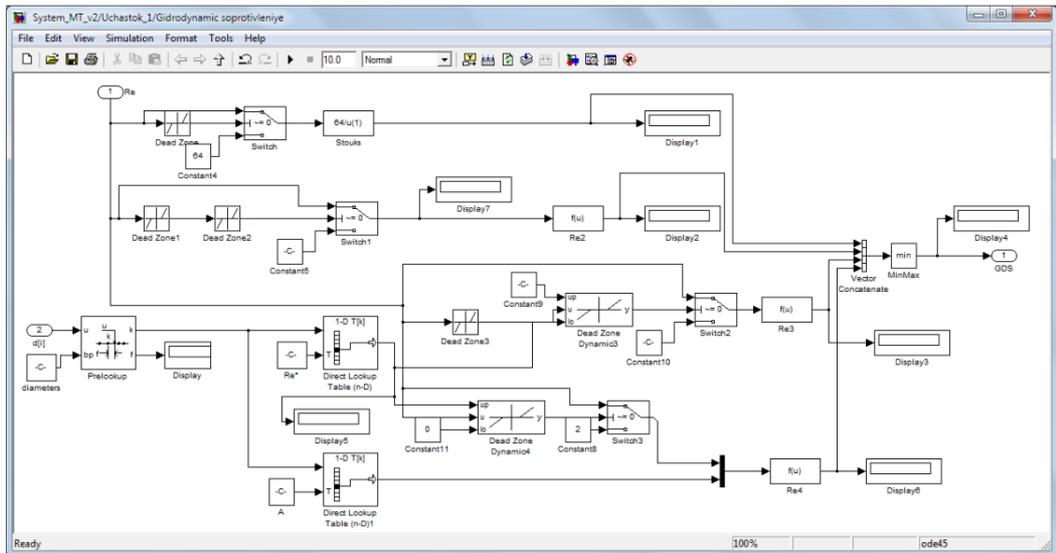


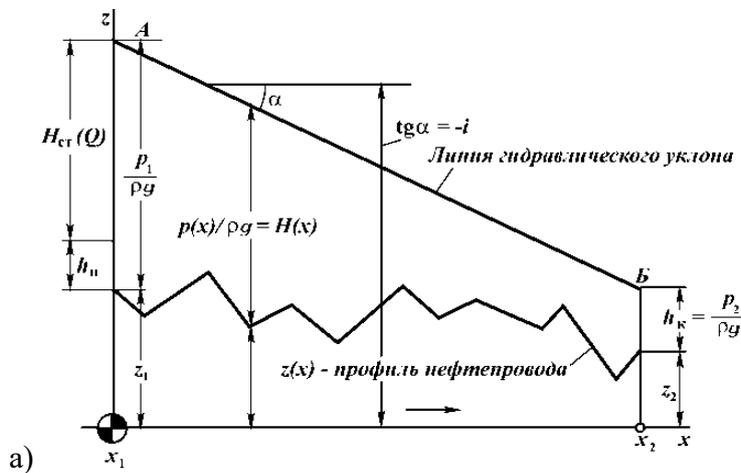
Рисунок 2.24 – Блок расчет гидродинамического сопротивления

Значения результатов от каждой подсистемы подаются на вход блока для расчета общей потери напора на участке трубопровода.

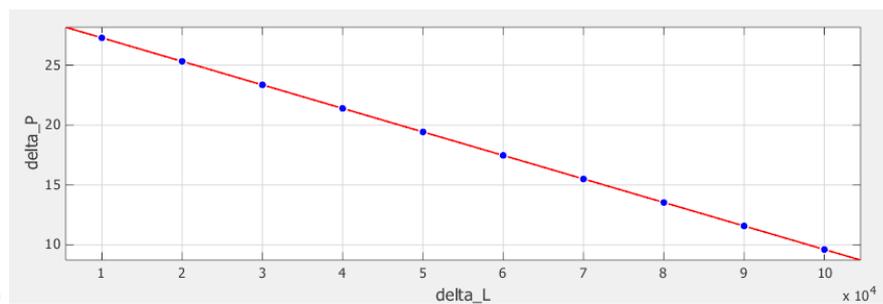
Данные подаются на вход блока для расчета общей потери напора вдоль участка трубопровода.

На рисунке 2.25 показан предполагаемый график распределения давления (а) и экспериментальный график (b).

Анализ графиков распределения давления, полученных в результате испытаний участков трубопроводов с вязкой нефтью и нефтепродуктами, подтверждает вывод о том, что эти свойства, зависящие от свойств перекачиваемой жидкости, регулярно меняются. Также подтверждается, что число Рейнольдса является одним из основных критериев, объясняющих характер изменения свойств в центробежных насосах, перекачивающих вязкие жидкости.



а)



б)

Рисунок 2.25 – График распределения давления вдоль участка трубопровода

Однако в представлении чисел Рейнольдса нет единообразия и не унифицировано. Для центробежных насосов были предложены различные формы чисел Рейнольдса.

Для центробежных насосов были предложены различные формы чисел Рейнольдса. Большинство авторов придерживаются центробежного типа.

$$Re = \frac{n \cdot D_1^2}{\nu}, \quad (2.28)$$

где  $n$  - Частота вращения вала насоса, об/с;

$D_1$  - внутренний диаметр рабочего колеса, мм;

$\nu$  - кинематическая вязкость перекачиваемой жидкости, м<sup>2</sup>/с.

На рисунке 2.26 показана блок-схема алгоритма, используемого для построения карты распределения давления вдоль магистрального трубопровода.

Алгоритм состоит из серии операций. Входными параметрами являются оптимальная пропускная способность трубопровода, давление в конце первой ступени, диаметр трубопровода и кинематическая вязкость нефти. По конструкции, входными данными для каждой операции является результат предыдущей операции. Процедура включает в себя возможность построения графиков расчета числа Рейнольдса и проверки диапазона с использованием среды Matlab. На основании анализа системы и уравнений течения вязкой жидкости сделаны следующие выводы. Эффект трения на стенке трубы мал, и первоначально движение жидкости кажется волнистым. Можно рассматривать как волнообразное движение. Со временем трение влияет на поток и на некоторое время поток перестает колебаться и становится неустойчивым. Он остается неустойчивым. И если граничные условия позволяют решить задачу, поток в трубе останавливается. Если граничные условия позволяют задаче быть стационарной, то поток в трубе постепенно становится стационарным.

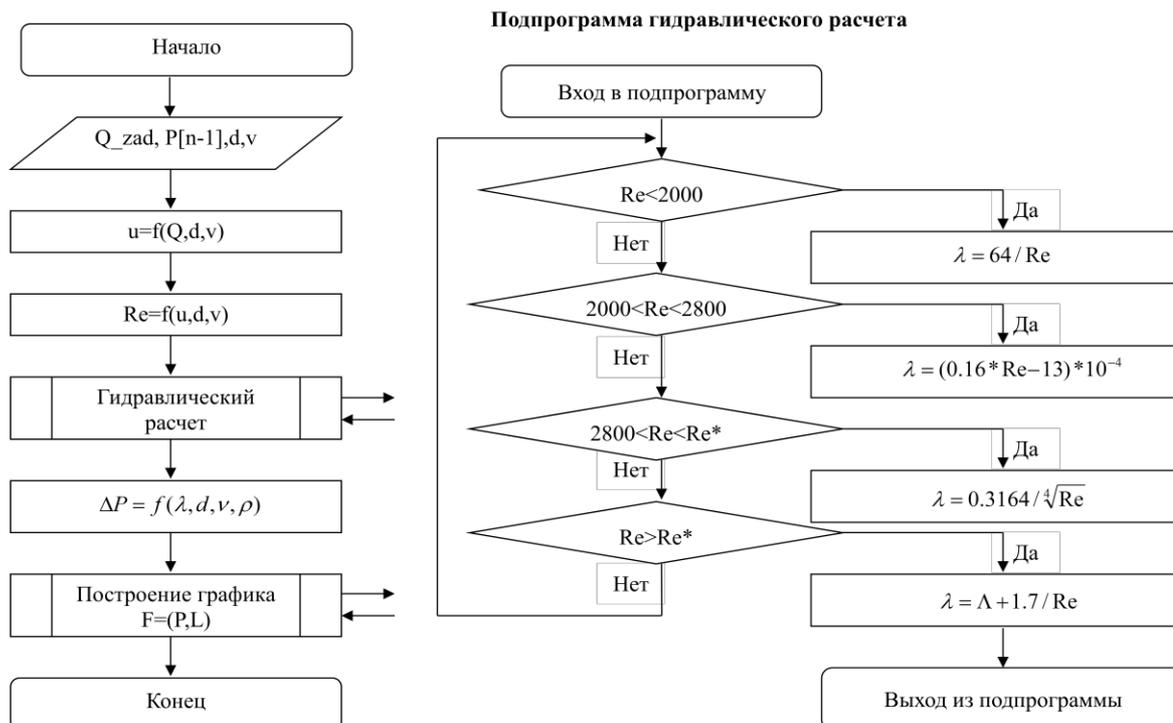


Рисунок 2.26 – Блок схема алгоритма построения графика распределения давления вдоль магистрального трубопровода

## 2.5 Модель системы управления давлением

Рекомендуется реализовать систему контроля давления в магистрали как двухуровневую систему. Чтобы увеличить напор нефтепродуктов в трубопроводе магистрали, насосы чаще всего устанавливают последовательно. Напор рассчитывается аналогично параллельной установке. Устанавливать приводы для регулирования частоты вращения наиболее целесообразно в условиях регулярного изменения подачи рабочей жидкости на всасывающий трубопровод. За счет возможности регулировать частоту вращения рабочего колеса получается удерживать или изменять гидравлические и энергетические параметры в магистральном трубопроводе. Данный метод позволяет эффективно использовать электроэнергию, которая необходима для транспортировки нефтепродуктов. На данной иллюстрации можно рассмотреть основные характеристики центробежного насоса [6].

Внедрение рассматриваемого способа помогает увеличить эффективность нефтетранспортирующей магистрали и сэкономить электроэнергию. Однако, высоковольтные приводы частотного регулирования являются дорогостоящими, что делает их недоступными для многих предприятий. Внедрение рассматриваемого способа

помогает увеличить эффективность нефтетранспортирующей магистрали и сэкономить электроэнергию, несмотря на высокую стоимость самого привода его использование является целесообразным. Два полученных вектора передаются на следующую операцию, а именно определение значения напора насоса для заданного значения напора насоса <sup>ва</sup>. Определенное значение напора насоса преобразуется из метрического давления в атмосферное. Это значение передается в сеть (моделирование участка трубопровода). При разработке модели используются следующие элементы конструкции. Величины, используемые в расчетах, являются скалярными, соответственно используются скалярные операции. После определения минимальных значений давления для всасывающих линий секции, значения давления для остальных секций должны быть определены [19].

Нижний слой содержит исполнительные механизмы с контурами управления, верхний слой содержит контроллеры, которые обмениваются информацией друг с другом, а также получают информацию о состоянии оборудования. Схема системы показана на рисунке 2.27.

Основная цель координатора - поддерживать постоянный поток масла, т.е. выполнять условия.

$$Q_i = Q_{i+1} = Q_{i+2}, \quad (2.29)$$

где  $Q_i$  – расход нефти на  $i$  - участке,  $k$  – количество участков.

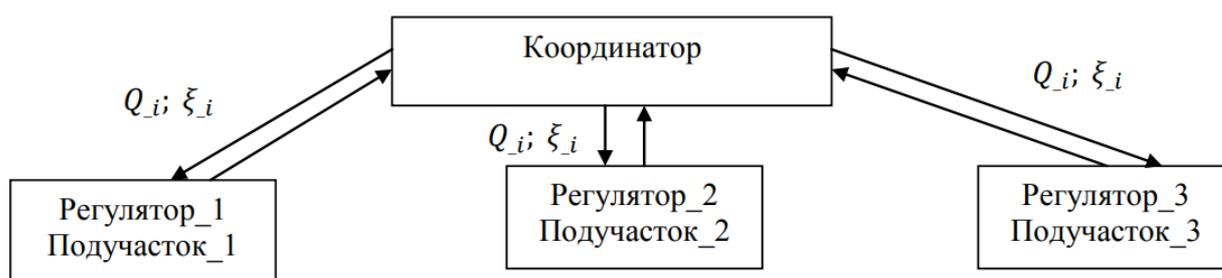


Рисунок 2.27 – Система управления давлением в магистральном трубопроводе

Управление трубопроводами осуществляется с помощью электроприводов, каждый из которых имеет свою независимую схему управления (Рисунок 2.28). Параметром схемы управления является желаемая скорость вращения вала двигателя главного насоса. Схема управления для каждого главного насоса показана на рисунке 2.29.

Работа системы управления показана на рисунке 2.31.

Алгоритм основан на поддержании пропускной способности трубопровода на оптимальном значении для максимизации доходов от транспортировки нефти. Это значение определяется в соответствии с критериями оптимизации (2.27). Полученные два вектора передаются на следующую операцию - определение величины напора насоса для заданного значения производительности подачи насоса  $\omega$ . Определенное значение напора преобразуется из метрического измерения в атмосферное. Затем это значение переносится на сеть (моделирование участка трубопровода). При разработке модели используются следующие конструктивные элементы поскольку величины, используемые в расчетах, являются скалярными, скалярные операции, используются соответствующим образом. После определения минимального значения давления во всасывающей линии участка рассчитываются значения для остальных участков [19].

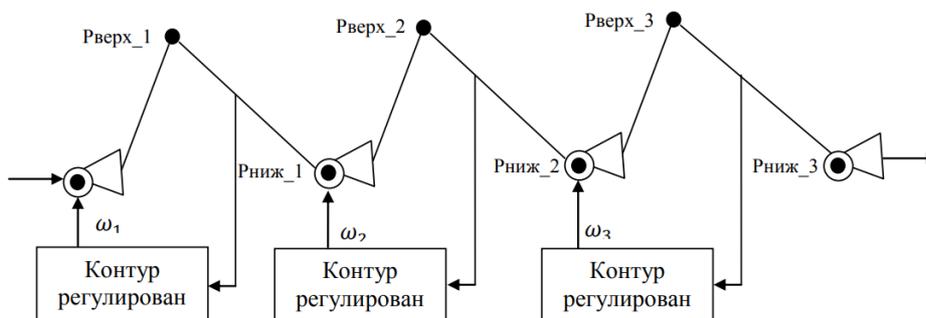


Рисунок 2.28 – Эксплуатационный участок транспортировки нефти

Большинство нефтепроводов имеют промежуточные транспортные станции. Существует одна станция. При работе системы "от насоса к насосу" конец предыдущего участка между станциями является всасывающим участком следующей станции перекачки. На рисунке 2.30 показан нефтепровод с промежуточными станциями перекачки, работающий в режиме "насос в насос".

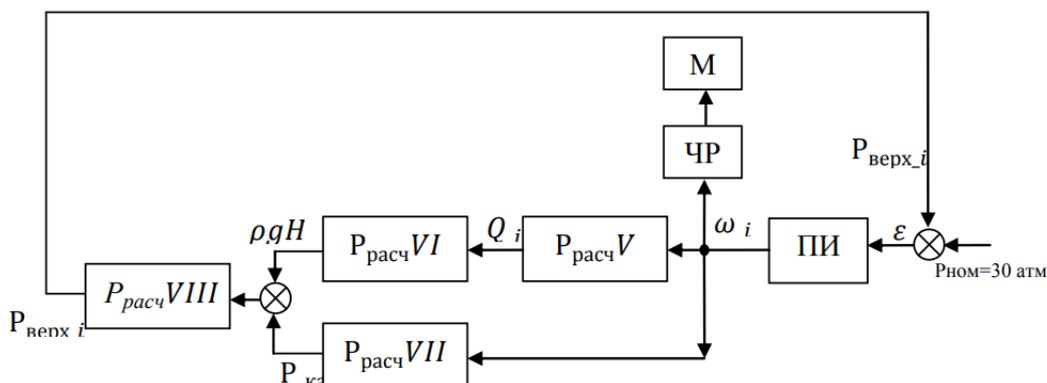


Рисунок 2.29 – Внутренняя структура контура регулирования

Для эксплуатации нефтепровода неизменным требованием является то, чтобы полученные параметры удовлетворяли следующим двум ограничениям:

Во-первых, значения  $h$  или  $p$  в середине нефтепровода и перед последней насосной станцией должны превышать определенное значение  $h_k$  (или  $p_n > p_m = p_{gh}$ ), которое допускает нормальную работу центробежного насоса и называется кавитационным запасом;

Во-вторых, давление  $p_{нагв}$  начале каждого участка трубопровода не должно превышать максимально допустимого значения  $p_{доп}$ .

В то же время значения давления на других участках трубопровода (особенно в низких точках его профиля) не должны превышать  $p_{тах}$ .

Блок-схема алгоритма координатора показана на рисунке 2.32.

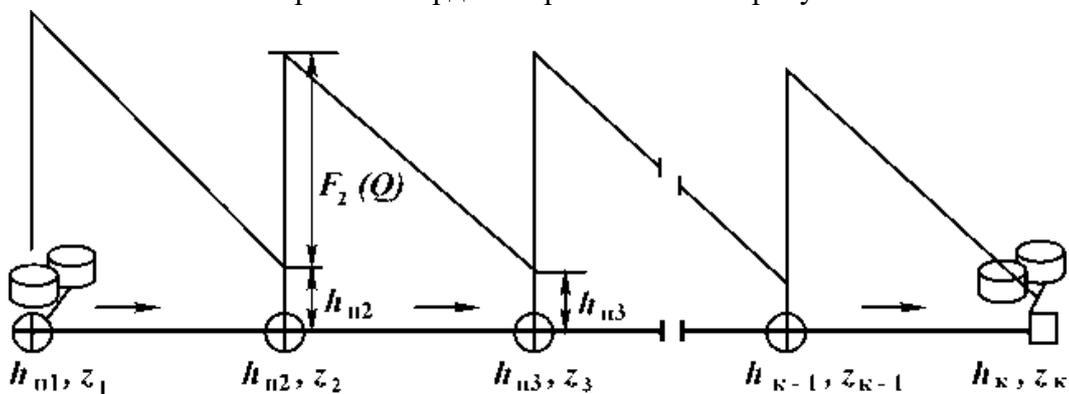


Рисунок 2.30 – Участок магистрального трубопровода

Параметры, подлежащие контролю, изменяются для различных значений частоты вращения вала двигателя центробежного насоса и меняются с течением времени. Показатель  $J$  качества системы управления может быть функцией двух составляющих.

Первая составляющая  $J_1$  фиксирует перепад давления  $\Delta$  на определенном участке трубопровода:

$$J_1 = f(Q). \quad (2.30)$$

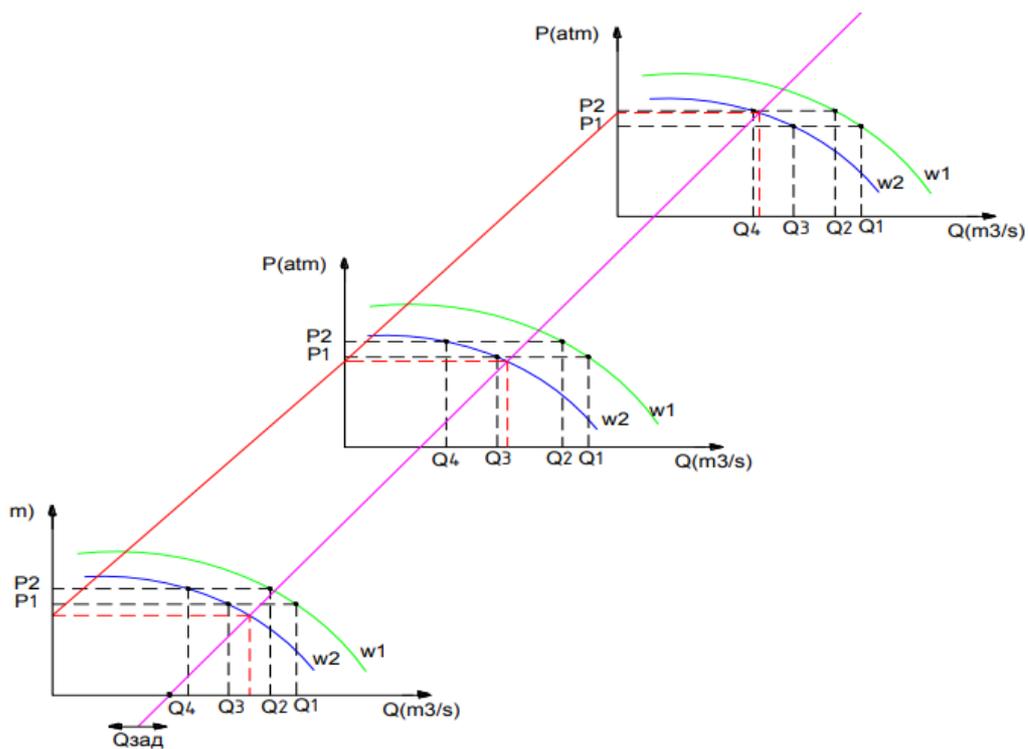


Рисунок 2.31– Принцип действия системы

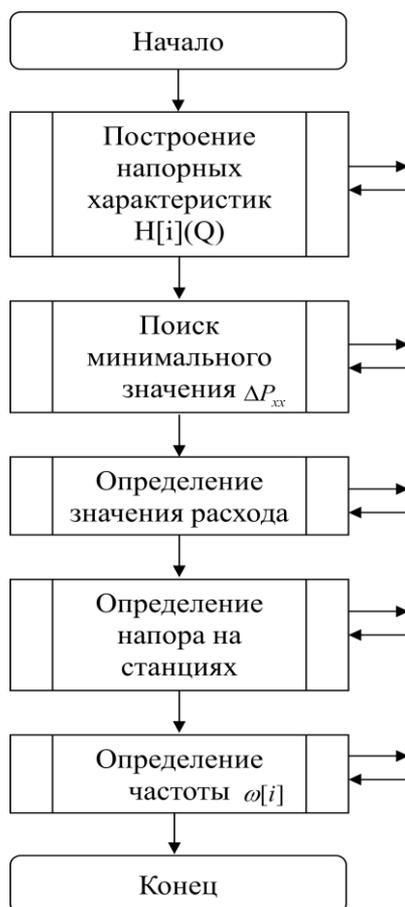


Рисунок 2.31– Принцип действия системы

Вторая составляющая  $J_2$  определяет уровень управляющего воздействия  $P$  и его влияние на эффективность и надежность работы трубопровода

$$J_2 = \beta P, \quad (2.31)$$

где  $\beta$  – коэффициент влияния величины давления на эффективность.

С другой стороны, разницу давлений, как было сказано выше, можно уменьшить, увеличивая величину давления  $P$ , т.е.

$$J_1 = \Delta P - \xi P, \quad (2.32)$$

где  $\xi$  – коэффициент местных сопротивлений.

Таким образом, меру качества  $J$  можно представить в виде

$$J = J_1 + J_2 = (Q - \xi P)^2 + (\beta P)^2 = Q^2 - 2Q\xi P + (\xi^2 + \beta^2)P^2 \rightarrow \max. \quad (2.33)$$

Определим чувствительность показателя качества

$J$  к изменению давления  $P$ . Из уравнения (2.33) получим

$$\frac{\partial J}{\partial P} = 2(\xi^2 + \beta^2)P - 2Q\xi. \quad (2.34)$$

Функция (2.33) достигает максимума, а чувствительность

(2.34) превращается в ноль, если величина давления  $P$  составит

$$(2.35)$$

Поэтому необходимо поддерживать значения  $\xi$  и  $\beta$  постоянными для рассматриваемого участка трубопровода и  $J$

Давление  $P$  пропорционально разности давлений  $\Delta P$  в реальном масштабе времени. Из этого можно сделать вывод, что необходима постоянная информация о величине пропускной способности  $Q$ . Графическое решение уравнения (2.29) сводится к построению следующего графика. Зависимость  $\Delta P(Q)$  и будет построена функция  $W(Q)$ . Перехват определяется следующим образом определяется требуемая пропускная способность трубопровода в оптимальном режиме.

Структурно блок представлен на рисунке 2.35.

```

1 - h=[328 320 305 286 260];
2 - q=[250 500 750 1000 1250];
3 - a0=330.8;
4 - a1=0.0005714;
5 - a2=-0.00004571;
6 - w=a0*q+a1*q.^2+a2*q.^3;
7 - w_h=w/1000;
8 - plot(q,w_h,'-*b',q,h,'-*r')
9 - grid on
10 - xlabel('Q(m3/h)');ylabel('h(m),W(kVt)');legend('W(Q)','H(Q)');
11

```

Рисунок 2.33 – Фрагмент алгоритма

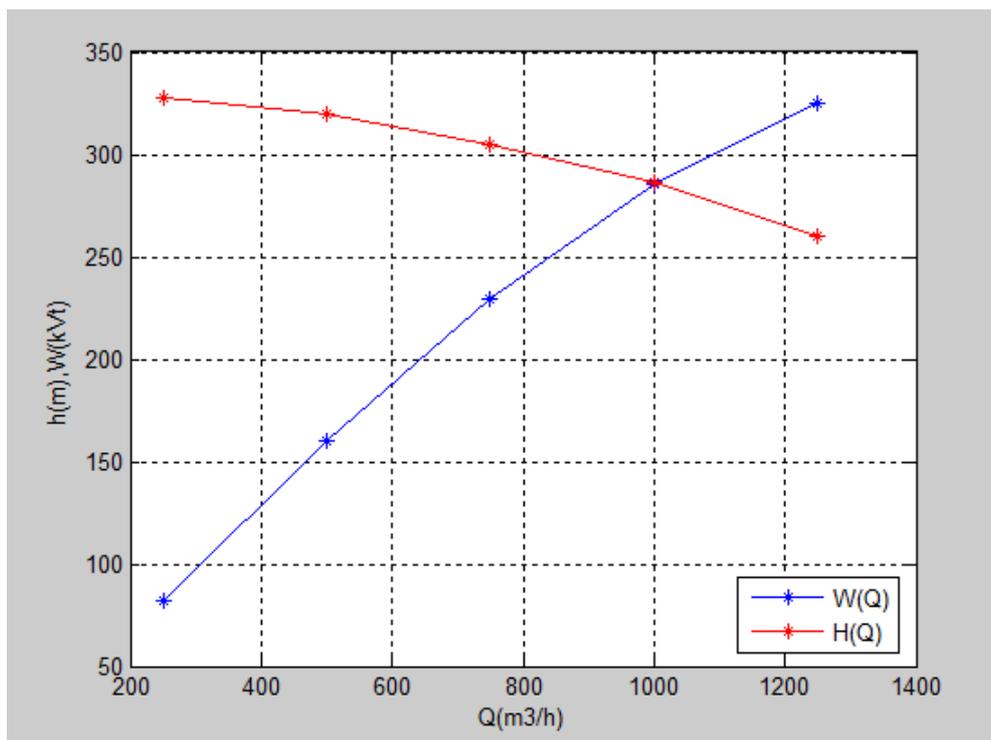


Рисунок 2.34 – Графическое решение системы

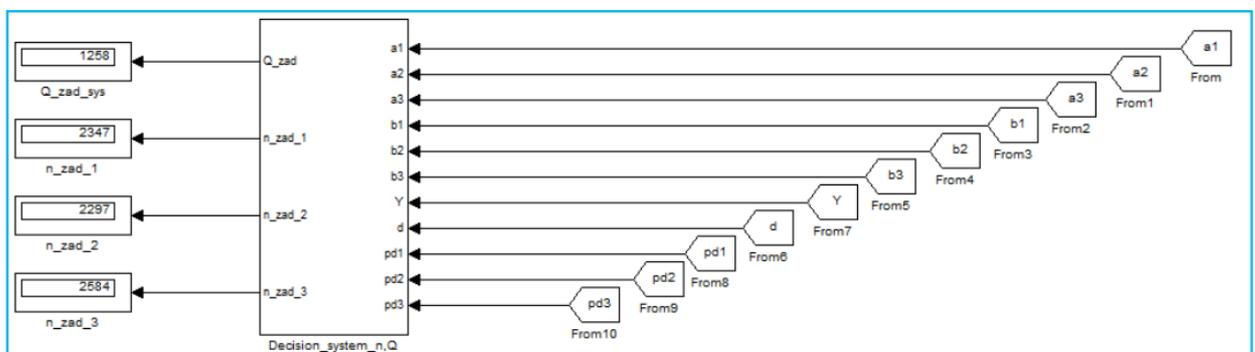


Рисунок 2.35 – Координатор

Система мониторинга имеет 11 входов и 4 выхода. Входные сигналы — это информация о текущем состоянии параметров моделируемого участка трубопровода. Выходными сигналами являются оптимальный расход нефти, необходимый для поддержания пропускной способности трубопровода на заданном уровне, и частота вращения вала двигателя центробежного насоса, установленного на насосной станции.

Функционально устройство показано на рисунке 2.36.

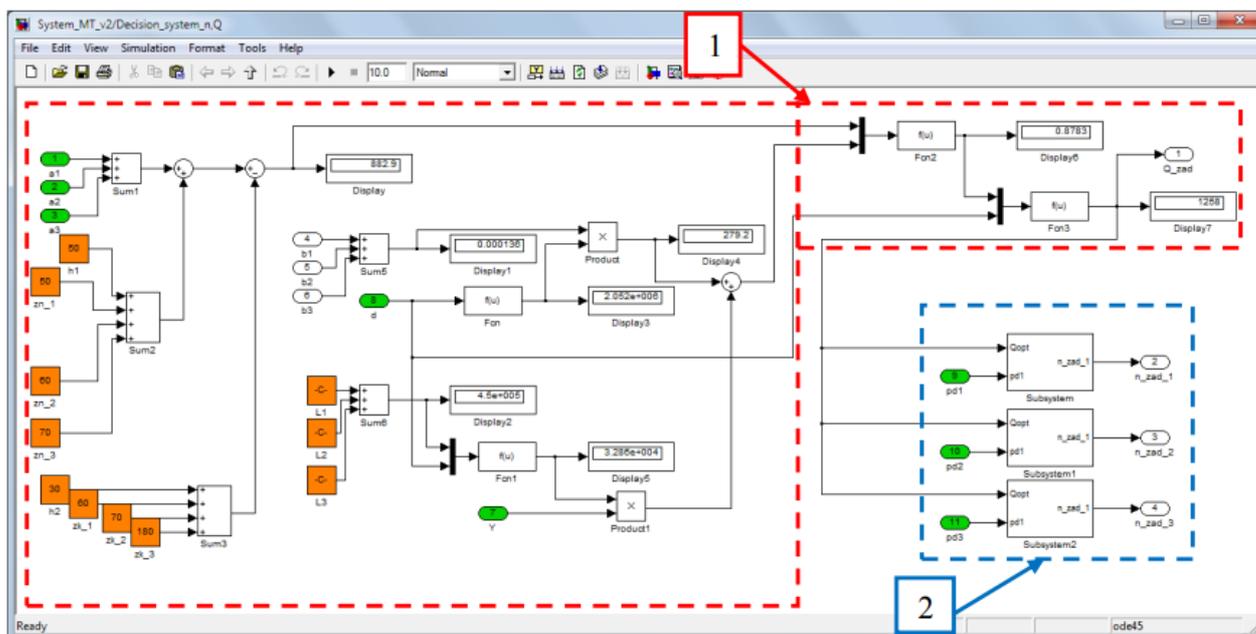


Рисунок 2.36 – Координатор

Структура блока разделена на две области

- 1 - поле для решения уравнения;
- 2 - поле для расчета оптимальной скорости вращения двигателя центробежного насоса.

Этот блок собирает информацию о текущем состоянии системы. На основе этой информации решаются три уравнения. Количество уравнений определяется количеством секций в трубопроводе. В результате решения уравнений

При их решении определяется оптимальное значение скорости потока в трубопроводе для получения максимальной прибыли. Также, в зависимости от этого значения, определяется значение скорости вращения вала электродвигателя насоса для обеспечения требуемого расхода в трубопроводе.

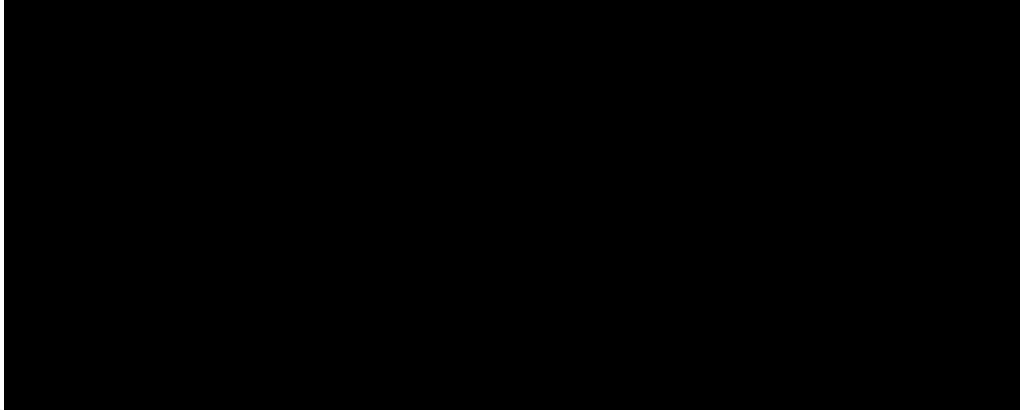
Рассчитанные параметры подаются в соответствующие секции в качестве заданных значений. Заданные значения для каждой секции поддерживаются регулятором типа.

					МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2.6 Экспериментальное исследование системы управления давлением в магистральном трубопроводе

Рассмотрим пример. Нефтепровод длиной 450 км состоит из трех прямых участков (линий). Участки показаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Участки трубопровода



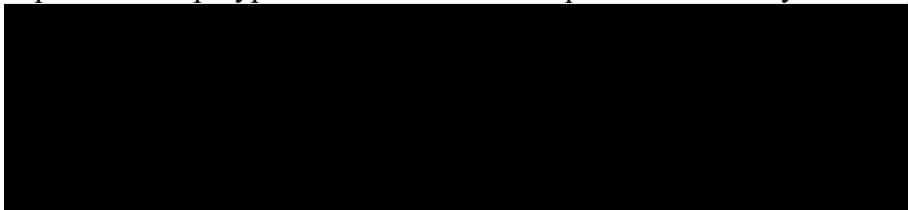
В начале каждой секции находится перекачивающая станция с насосом; основные технологические параметры ЦТ приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики ЦН

Номер перегона	(Q – H <sub>j</sub> )-характеристика (H - м; Q - м <sup>3</sup> /ч)	Кавитационный запас h <sub>c</sub> ,
1	НМ – 1250 - 260	40
2	НМ – 1250 - 260	40
3	НМ – 1250 - 260	40

Высота  $h_1$  на первой насосной станции составляет 50 м, высота  $h_K$  на конце трубопровода - 30 м, а максимально допустимое давление - 5,8 МПа. Найти расход нефти  $Q$  в трубопроводе ( $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 30 \text{ сСт}$ ) и противодавления  $h_2$  и  $h_3$  перед промежуточной станцией.

Разработайте три уравнения баланса напора для каждого участка трубопровода.



(2.36)

где  $(F_i(Q))$  – характеристики перекачивающих станций с 1-м включенным насосом.

Подставив в них исходные числовые данные, получим

$$\begin{cases} 50 + [50 + F_1(Q)] - [60 + h_2] = i_1(Q)150000 \\ h_2 + [60 + F_2(Q)] - [70 + h_3] = i_2(Q)180000 \\ h_3 + [70 + F_3(Q)] - [180 + h_k] = i_3(Q)120000 \end{cases}$$

Осуществив соответствующие вычисления ( $i = i_2 = i_3 = i$ ), получим уравнение баланса напоров

$$1434 - 3,864 \cdot 10^{-5} Q^2 = 450000 i(Q). \quad (2.37)$$

Решите это уравнение, чтобы рассчитать скорость откачки  $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Затем определяется напор в промежуточной секции. Из уравнения баланса напора в первой секции следует

$$h_2 = 53,44 \text{ м} > 40 \text{ м}.$$

Из уравнения баланса напоров для второго участка получаем

$$h_3 = 49,1 \text{ м} > 40 \text{ м}.$$

Затем вычисляем давление в линиях нагнетания станций

$$P_{1н} = 4,67 \text{ МПа}. P_{2н} = 5,35 \text{ МПа}. P_{3н} = 4,48 \text{ МПа}.$$

Все полученные значения не превышают максимально допустимого давления 5,8 МПа, что свидетельствует о том, что рассчитанный режим работы нефтепровода находится в допустимых пределах.

Результаты аналитических расчетов были сверены с экспериментальными данными, полученными с помощью модели, созданной в MatLab. Из рисунков 2.36 и 2.37 хорошо видно, что решение системы уравнений (2.30) идеально соответствует последнему полученному значению пропускной способности нефтепровода. Это определяет оптимальную скорость потока в трубопроводе для максимизации прибыли. На основе этого значения также определяется значение частоты вращения вала двигателя насоса для обеспечения требуемого расхода в трубопроводе. Рассчитанные параметры передаются каждой секции в качестве заданных значений. Заданные значения для каждой секции поддерживаются регулятором типа.

Аналогично, полученное давление перед каждой промежуточной станцией не достигает значения, заданного как давление кавитации, а давление в подводящей линии к трубопроводу не превышает максимально возможного давления рабочего режима.

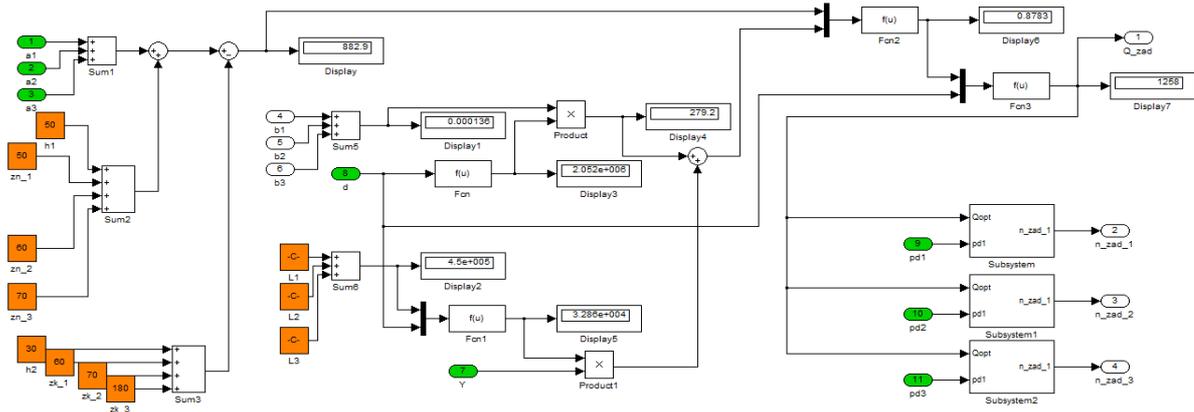


Рисунок 2.37 – Координатор

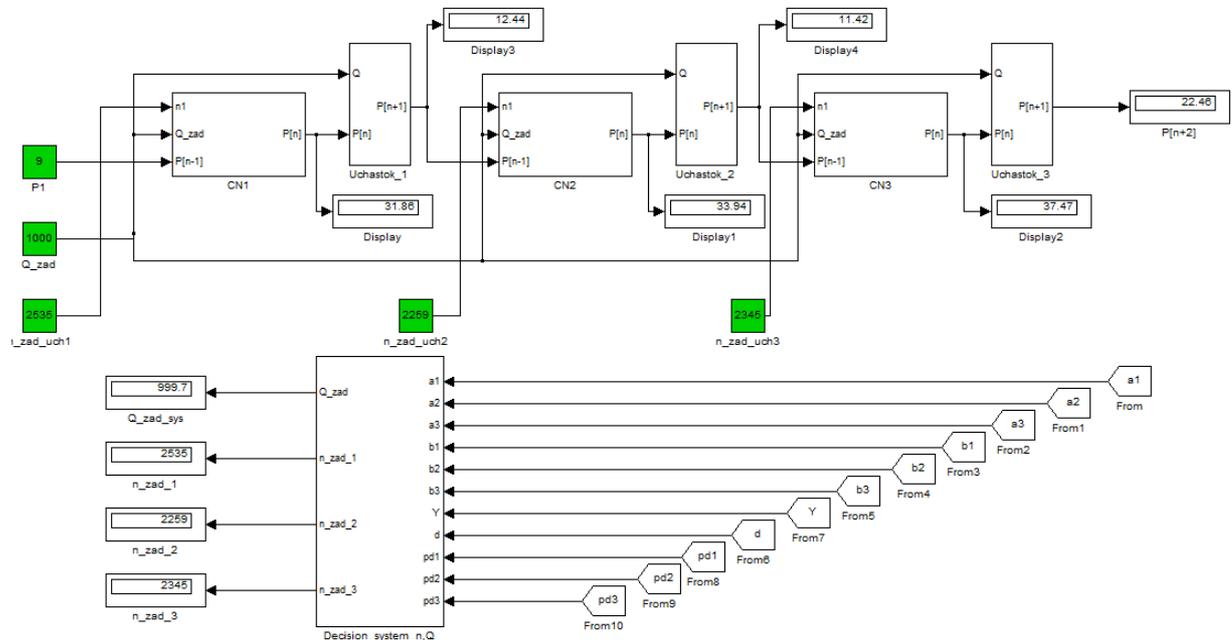


Рисунок 2.38 – Модель системы управления давлением в МТ

### 3 РАБОТА НА УЧЕБНОМ СТЕНДЕ

Учебный стенд НОВА-АНССТН-750 «Учебный стенд автоматике насосных станций» предназначен для проведения лабораторных работ по изучению и моделированию автоматизированного управления подачей и напором насосных станций систем транспортировки нефтепродуктов. Стенд позволяет экспериментально определять напорные и квантиционные характеристики насосов динамического действия (в том числе при их последовательном и параллельном соединении) и изучать элементы автоматике насосных станций.

Учебный стенд позволяет проводить испытания динамических насосов, задавать и определять давление, расход и уровень жидкости. Приводной электродвигатель одного из насосов подключен к сети электропитания преобразователя частоты для регулировки частоты вращения рабочего колеса насоса. На выходе насосной станции установлен клапан с аналоговым пропорциональным электромагнитным управлением.

Давление в точках системы трубопроводов измеряется с помощью датчиков расход жидкости измеряется с помощью электромагнитного расходомера и измерительных диафрагм.

Работа на учебном стенде автоматике насосных станций «НОВА-АНССТН-750» заключалась в проверке теоретических гипотез. На основе результатов диагностики представлены мероприятия по модернизации лабораторного стенда с целью повышения его применимости для образовательных процессов в различных областях, повышения эффективности и точности оборудования.

#### 3.1 Основные технические характеристики стенда

Гидравлическая схема учебного стенда приведена на рисунке 3.

					Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Ящук Г.С.				РАБОТА НА УЧЕБНОМ СТЕНДЕ	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Бурков В.П.						76	118
Рук. ООП	Чухарева Н.В.					Отделение нефтегазового дела Группа 2Б92		

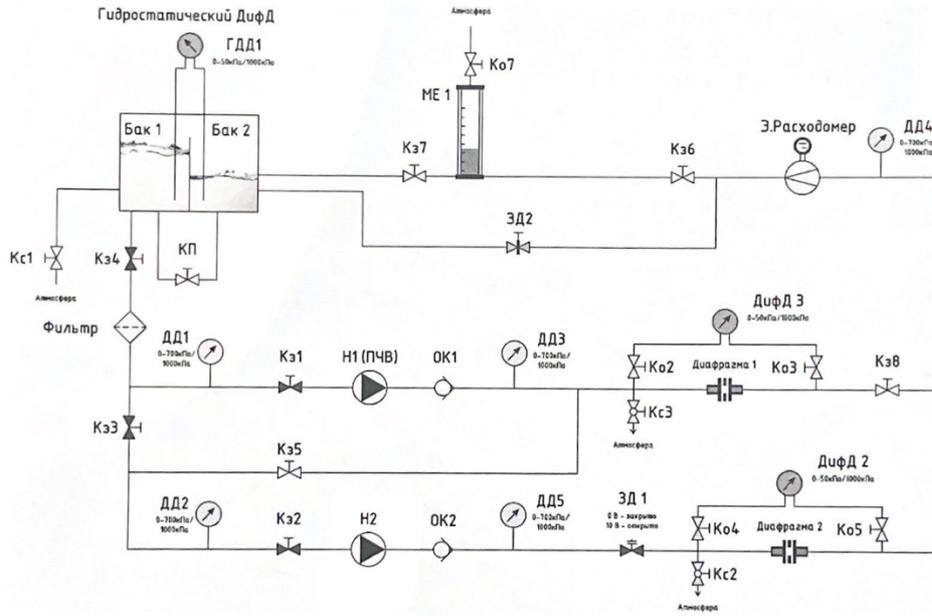


Рисунок 3.1 – Гидравлическая схема стенда

### 3.2 Тестирование режимов: пуск-остановка

Практическое тестирование режимов пуска и остановки обусловлено необходимостью исследовать поведение системы после ремонтных или иных диагностических процедур.

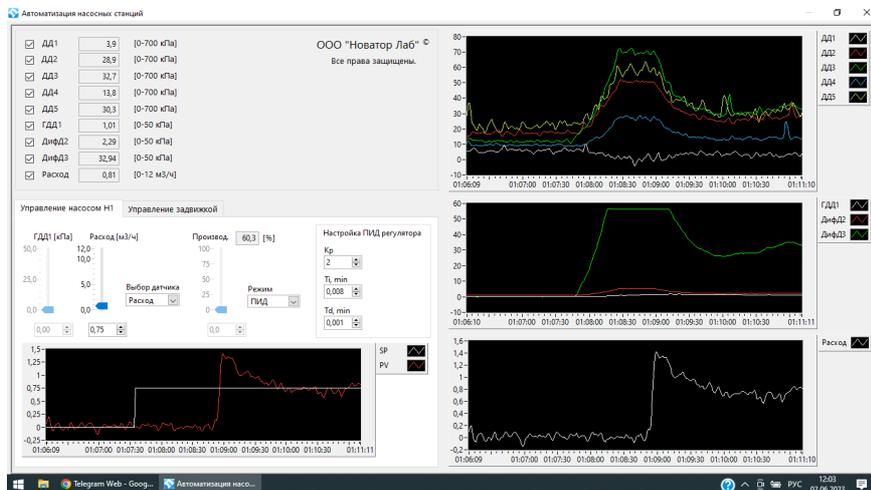


Рисунок 3.2 – Режим пуска 0 – 0,75м<sup>3</sup>/ч

На рисунке 3.3 приведен график идеального распределения расходу жидкости в системе при режиме пуск.

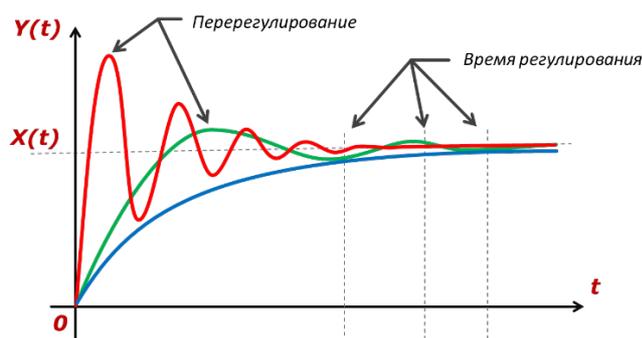


Рисунок 3.3 – график идеального распределения расходу жидкости в системе при режиме “пуск”

### 3.3 Тестирование переходных режимов

Практическое тестирование переходных режимов является неотъемлемой частью эксплуатации насосного агрегата. Данное исследование направлено на выявление поведения алгоритма, агрегата и датчиков на распределение сигналов и анализировании состояния системы в динамическом режиме.

Результаты тестирования 0,1-0,2 м<sup>3</sup>/ч приведено на рисунке 3.4

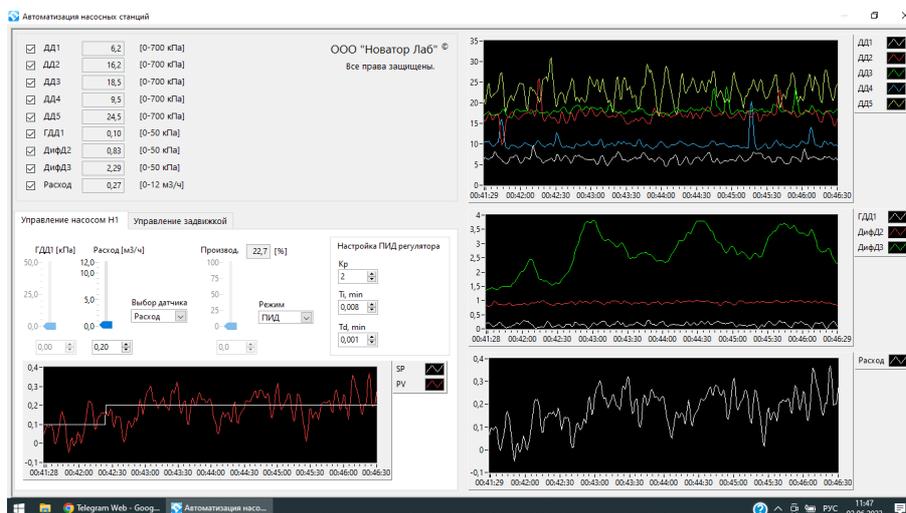


Рисунок 3.4 – результат тестирования режима 0,1 – 0,2м<sup>3</sup>/ч

### 3.4 Обозначение рекомендаций по модернизации стенда

Необходимость внесения изменения и модернизации стенда обусловлена некорректной работой алгоритмов системы. Ниже перечислены основные проблемы, выявленные при работе на стенде:

- Самопроизвольный пуск насосного агрегата в режиме остановки при отрицательном значении давления на участке рисунок 3.5
- Высокие амплитудные значения при пуске системы в оптимальном режиме рисунок 3.6
- Продолжительная задержка системы в переходных режимах работы системы рисунок 3.6
- Коротко временные скачки расхода жидкости в работе насосного агрегата рисунок 3.8



Рисунок 3.5 – Результат исследования стенда в режиме “остановка”



Рисунок 3.6 – Результат исследования стенда в переходном режиме

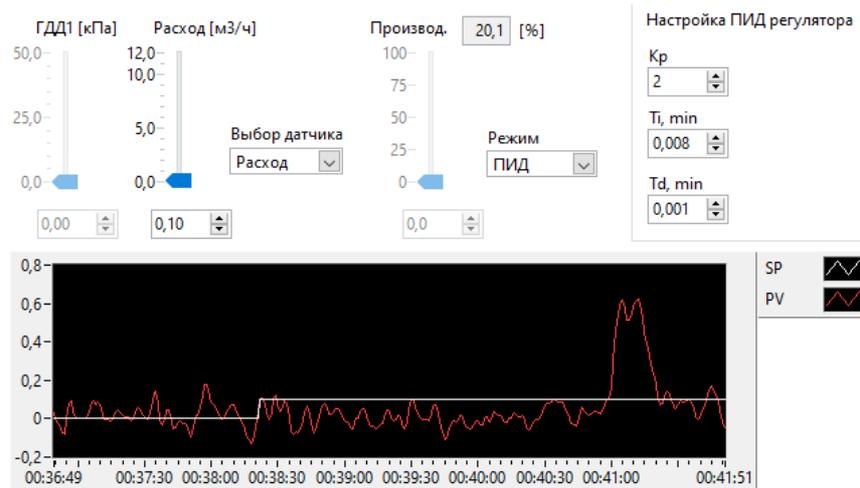


Рисунок 3.7 – Результат исследования стенда в режиме удержания значения



## 5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В данном разделе представляется описание разработки комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам.

### 5.1.1 Цели и актуальность проекта

В перспективе основными потребителями результатов данной работы будут нефтегазовые компании. Как выглядит сегментирование в случае данного метода, представлено в Таблице 9.

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Нефтегазовые компании	Снижение нагрузок на трубопровод
	Удобство работы оператора с АСУ
	Устойчивость состояния системы

В таблице 10 представлена информация о цели и результатах проекта, и критериях достижения целей.

Таблица 10 –Цель и результаты проекта

<u>Цель проекта:</u>	Разработка комплекса мероприятий по цифровизации насосного агрегата для перекачки нефти и нефтепродуктов по трубопроводам
<u>Ожидаемые результаты проекта:</u>	Работающий комплекс мероприятий по цифровизации насосного агрегата
<u>Критерии приемки результата проекта:</u>	Доступность
	Удобство и простота использования
	Надёжность
<u>Требования к результату проекта:</u>	<u>Требование:</u>
<u>Требования к результату проекта:</u>	Соблюдение требований к документации
	Стоимость проекта должна быть сопоставима по цене с аналогичными, или быть ниже

## 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Данный раздел посвящен конкурентоспособности исследования. Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, с шагом 1 балл, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  
 $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Где вес показателя – это важность фактора (по пятибалльной шкале), деленная на сумму важностей всех факторов.

Для проведения оценки конкурентоспособности исследования будет использована оценочная карта, представленная в таблице 3, где  $b_{к1}$  – альтернативная технология,  $b_{к2}$  – текущая разработка.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения разработок

Факторные признаки (Pj)	Вес критерия, wj	Баллы		Конкурентоспособность	
		b <sub>ip</sub>	b <sub>il</sub>	B <sub>jp</sub>	B <sub>jl</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки</b>					
1. Помехоустойчивость	0,1	9	9	0,9	0,9
2. Трещиностойкость	0,2	9	8	1,8	1,6
3. Мобильность	0,2	10	7	2	1,4
4. Эффективность работы	0,05	2	2	0,1	0,1
5. Наличие дорогостоящего оборудования	0,1	8	9	0,8	0,9
6. Простота эксплуатации	0,1	10	9	1	0,9
<b>Экономические критерии оценки</b>					
1. Цена	0,05	8	7	0,4	0,35
2. Финансирование научной разработки	0,1	8	8	0,8	0,8
3. Трудоемкость	0,1	8	9	0,8	0,9
<b>Итого</b>	1	-	-	8,6	7,85

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что разработка более конкурентоспособна и ресурсоэффективна. Проведение

проекта целесообразно, так как он обладает рядом преимуществ: универсальность, безопасность, быстрота и простота в эксплуатации.

### 5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ - Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

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

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Первый этап SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>                  С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;                  С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями;                  С3. Экологичность технологии изготовления;                  С4. Актуальность научного исследования.</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>                  Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований;                  Сл2. Большое количество конкурентов;                  Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию;                  Сл4. Вероятность получения брака.</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1. Создание новых технологий получения целевого продукта;                  В2. Развивающиеся конкурентные отношения;                  В3. Повышение стоимости конкурентных разработок;</p>		

В4. Сокращение численности безработных.		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства; У2. Развитая конкуренция технологий производства.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 13 – 16.

Таблица 13 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	-	-	-	-
	В2	-	+	+	-
	В3	-	+	-	+
	В4	+	+	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	-	+	+
	В2	-	-	-	-

	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-

Таблица 15 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	+	-	-
	У2	-	+	-	-

Таблица 16 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	-	+
	У2	-	-	-	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 17.

Таблица 17 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>C1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>C2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>C3. Экологичность технологии изготовления</p> <p>C4. Актуальность научного исследования.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Большое количество конкурентов</p> <p>Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>V1. Создание новых технологий получения целевого продукта</p> <p>V2. Развивающиеся конкурентные отношения</p> <p>V3. Повышение стоимости конкурентных</p>	<p>Высокая точность системы, снижение электроэнергии и повышение производительности может заинтересовать другие рынки сбыта разрабатываемой системы. Реорганизация производства может уменьшить количество операторов на производстве. На базе полученных знаний можно создать другие типы</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>V1Сл3Сл4Сл5.</p> <p>Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p>

разработок В4. Сокращение численности безработных	автоматизированного управления. Привлечение большого числа квалифицированных кадров, а также улучшение материально- технической базы университета за счет заинтересованных производств.	
<b>Угрозы</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства	<b>Угрозы развития</b> Повышение конкурентоспособности из-за низкой стоимости материалов. Бюджетное производство и актуальность могли бы устранить экономические трудности продвижения проекта.	<b>Уязвимости:</b> У1Сл4Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.

Благодаря проведенному SWOT-анализу можно сделать вывод о том, что в основном трудности и проблемы в реализации проекта можно решить за счет имеющихся сильных сторон и возможностей. Однако, имеется необходимость в дополнительном финансировании.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение количества исполнителей для каждой из работ;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

### 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

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

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой

работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

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

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

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году (2023 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования

					ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕРТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

обобщены в таблице 19.

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожид}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
<b>Итого:</b>	7	59	15	84	13,5	68,5	68,5	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

Далее приведен календарный план-график с диаграммой Ганта на основе календарного плана проекта (рисунок 1). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках НИР с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.



Рисунок 1 – Диаграмма Ганта на основе календарного плана проекта

Общее число календарных дней, в течении которых выполнялась работа – 102.

### 5.3. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

В этой работе использовалась группировка затрат по следующим статьям:

- 1) материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- 2) затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- 3) основная заработная плата исполнителей темы;
- 4) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- 5) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 6) накладные расходы НИР.

#### 5.3.1 Материальные затраты

Основной материальными затратами данного проекта являются затраты на работу с документацией. Результаты по материальным затратам представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Провода для пайки, 1 м	340	4	1 200
Контроллер " Allen-Bradley SLC-500 "	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

### 5.3.2 Затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данной теме.

Какое-либо специальное оборудование для работы дополнительно не закупалось. В данном разделе будет осуществляться расчет амортизации оборудования, которое было приобретено еще до начала выполнения работ.

Все расчеты по приобретению оборудования, имеющегося в организации, но используемого для исполнения данных экспериментов, сводятся в таблицу 21.

Таблица 21 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Дни эксплуатации	Срок службы, лет	Стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Насосный агрегат	55	8	1410
<b>Итого:1410тыс.руб</b>				

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей

В данном разделе рассчитывается заработная плата работников, которые напрямую связаны с реализацией исследования. Раздел включает заработную плату по окладу, дополнительную заработную плату, а также премии и доплаты.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя) среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 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 22).

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		

– отпуск	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	252	252

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 23.

Таблица 23 –Расчёт основной заработной платы за время проекта

Исполнители	$Z_{б}$ , руб.	$k_p$	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	44400	1,3	57200	2360,6	33	77900
Инженер	23800	1,3	30940	982,2	98	125135,1
<b>Итого: 203035,1 руб.</b>						

### 5.3.4 Дополнительная заработная плата

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, равный 0,12;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 24 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 24 – Зарплата исполнителей проекта

Зарплата	Руководитель	Студент (инженер)
Основная зарплата	77900	125135,1
Дополнительная зарплата	9348	15016,2
Зарплата исполнителя	87248	140151,3
<b>Итого по статье: 227399,3руб.</b>		

### 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

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

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 0,302.

Результаты отчислений во внебюджетные фонды представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Студент (инженер)
Основная заработная плата, руб.	77900	125135,1
Дополнительная заработная плата, руб.	9348	15016,2
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	26348,9	42325,7
<b>Итого по статье: 68674,6 руб.</b>		

### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 26 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6

Стоимость оборудования	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления во внебюджетные фонды	Итого без накладных расходов
1410000	8290	203035,1	24364,2	68674,6	1714363,9

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{пр},$$

где  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Сведем все затраты по статьям в таблицу 27.

Таблица 27– Бюджет затрат проекта

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	8290
2	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	1410000
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	203035,1
4	Затраты на дополнительной заработной плате исполнителей темы	24364,2
5	Отчисления во внебюджетные фонды	68674,6
6	Контрагентские расходы	300,00
7	Накладные расходы	13251,64
<b>Бюджет затрат проекта: 1727915,54руб.</b>		

Таким образом, плановая себестоимость проекта составляет 1727915,54рублей. Основные затраты приходятся на заработную плату исполнителей проекта.

#### 5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{фин} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где  $I_{фин}^{испi}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

Так как разработка имеет два исполнения, то:

$$I_{фин}^{Исп1} = \frac{1727915,54}{2000000} = 0,86$$
$$I_{фин}^{Исп2} = \frac{1900015}{2000000} = 0,95$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 28), Исп.1 – текущая разработка, Исп.2 – альтернативная технология.

					ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕРТ, РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

Таблица 28 – Оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Оценка Исп. 1	Оценка Исп. 2
Трудоемкость изготовления	0,3	5	3
Удобство в эксплуатации	0,15	4	4
Универсальность	0,1	4	3
Надежность	0,2	4	4
Материалоемкость	0,25	5	2

$$I_{p-Исп.1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 = 4,55$$

$$I_{p-Исп.2} = 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 = 3,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{Исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{Исп.i} = \frac{I_{p-Исп.i}}{I_{фин}}$$

Таблица 29 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,86	0,95
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,1
Интегральный показатель эффективности	7,8	3,7

Как видно из расчетов, использование данной разработки является наиболее оптимальным и целесообразным решением.



## 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Создание безопасных условий и охрана труда на производстве обеспечивается выполнением установленных законодательством РФ условий безопасности работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, ведении технологических процессов, а также применении в производстве инструментов, сырья и материалов.

При бурении скважин, места труда персонала будут удалены от мест постоянного проживания, т.е. проектом предусматривается применение вахтового метода работы. Для вахтовых методов организации работ характерно удлинение продолжительности рабочего дня. Увеличение рабочего дня позволяет увеличить периоды отдыха, на время которых работники возвращаются в места постоянного проживания. При вахтовом методе организации труда возникает необходимость суммированного учета рабочего времени, когда 40-часовая рабочая неделя обеспечивается не каждую конкретную календарную неделю, а в среднем за месяц, квартал или иной более длительный период, но не более чем за год. Продолжительность межвахтового отдыха принимается в соответствии с «Трудовым кодексом Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Местом работы при вахтовом методе считаются объекты, на которых осуществляется непосредственная трудовая деятельность. Направление работника на вахту не является служебной командировкой. Работа проводится по специальному графику рабочего времени, утвержденному заказчиком.

Временем вахты считаются периоды выполнения работ и междуменного отдыха. К работам, выполняемым вахтовым методом, не будут привлекаться рабочие и служащие моложе 18 лет, беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет. Продолжительность ежедневной работы (смены) не должна превышать 12 часов.

При сменной работе (2 смены по 12 часов) каждая группа работников

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
	СО					100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

должна производить работу в течение установленной продолжительности рабочего времени в соответствии с графиком сменности. Рабочее время и время отдыха в пределах учетного периода регламентируются графиком работы на вахте, который утверждается работодателем с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372 Трудового кодекса РФ для принятия локальных нормативных актов, и доводится до сведения работников не позднее, чем за два месяца до введения его в действие. При составлении графиков сменности работодатель учитывает мнение представительного органа работников. Графики сменности, как правило, являются приложением к коллективному договору. Графики сменности доводятся до сведения работников не позднее, чем за один месяц до введения их в действие. Работа в течение двух смен подряд запрещается. Перерыв для приема пищи составляет 60 минут один раз в смену.

График работы вахтовым методом разработан с учетом требования и учитывает переработку рабочего времени.

Каждый день отдыха в связи с переработкой рабочего времени в пределах графика работы на вахте (день межвахтового отдыха) оплачивается в размере дневной тарифной ставки, дневной ставки (части оклада (должностного оклада) за день работы), если более высокая оплата не установлена коллективным договором, локальным нормативным актом или трудовым договором. Часы переработки (20 час.) рабочего времени в пределах графика работы на вахте, не кратные целому рабочему дню, накапливаются в течение календарного года и суммируются до целых рабочих дней (10 дней) с последующим предоставлением дополнительных дней межвахтового отдыха, а также предоставляется дополнительный день отдыха во время рабочей вахты.

Продолжительность междувахтового отдыха составляет 15 дней. Переработка составляет 52 часа, при этом обеспечивается нормальная

									Лист
	СО								101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

продолжительность рабочего времени, не более 40 часов в неделю при 5 дневной рабочей неделе, за счет сокращения рабочего времени в отдельные дни в соответствии с графиком ежедневной работы и предоставлением дополнительных дней отдыха, присоединяемых к очередному отпуску.

На проектируемом объекте персонал обслуживает технологические установки, линейные объекты, объекты вспомогательного назначения. Обслуживающий персонал производит профилактический осмотр и ремонт оборудования согласно технологическому регламенту с перерывами на обогрев в холодное время и обед. У каждого рабочего имеется зона обслуживания в соответствии с его должностной инструкцией.

При обслуживании проектируемых объектов режим труда и отдыха необходимо организовать согласно трудовому кодексу РФ.

В целях оптимизации напряженности трудовой деятельности рекомендуется чередование периодов работы с перерывами на отдых в соответствии с типовыми режимами труда и отдыха.

Согласно Приказу Министерства труда и социальной защиты РФ от 27 июня 2018 г. № 420н «Об утверждении профессионального стандарта «Оператор товарный»», определяются основные трудовые функции: обеспечение приема, размещения, хранения, перекачки, отпуска нефти, газа, газового конденсата и продуктов их переработки, реагентов и других продуктов (товарный продукт) на промышленных объектах, осуществляющих прием, размещение, хранение, перекачку и отпуск товарного продукта (промышленный объект).

Согласно ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования, рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труд. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
	СО					102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

## 5.2 Производственная безопасность

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится с использованием «Классификации вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-2015[2]. Название вредных и опасных производственных факторов в работе соответствуют приведенной классификации. Определены название характерных видов работ и вредных производственных факторов (таблица 1).

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
	СО					103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Производственная безопасность

Таблица 7.1 - Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении ремонтных работ

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003. – 74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Земляные работы; Погрузочно-разгрузочные работы; Очистные работы; Сварочно-монтажные работы; Работа с герметиком, композитным составом и растворителем; Изоляционные работы.	1. Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень общей вибрации; 4. Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу; 5. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.	1. Производственные факторы, связанные с электрическим током. Пожаровзрывоопасность; 3. Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением.	ГОСТ 12.1.010–76 [1]; ГОСТ 12.1.011–78 [2]; ГОСТ 12.1.019–79 [3]; ГОСТ 12.1.003–83 [4]; ГОСТ 12.1.005–88 [5]; ГОСТ 12.1.004–91 [6]; 13. ГОСТ 30494-96 [7];

### 5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

#### 5.3.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Для электрического освещения строительной площадки и участков используется рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное освещение.

В соответствии с ГЭСН 81-02-01-2001 [10] работы при наступлении темноты участки работ, рабочие места, проезды и проходы к ним должны быть освещены:

- не менее 10 люкс при выполнении земляных работ;
- не менее 100 люкс на рабочем месте при выполнении монтажных и изоляционных работ;
- не менее 2 люкс на проездах в пределах рабочей площадки;
- не менее 5 люкс в проходах к месту производства работ.

Освещенность должна быть равномерной, без слепящего действия осветительных приспособлений на работающих [11]. При выполнении газоопасных работ для освещения рабочих мест должны использоваться светильники во взрывозащищенном исполнении [11].

При недостаточной освещенности и напряженной зрительной работе происходит повышенная утомляемость, возникновение головных болей и ухудшение зрения.

Передвижные инвентарные осветительные установки должны размещаться на строительной площадке в местах производства работ, и в зоне транспортных путей и др. Строительные машины должны быть оборудованы осветительными установками наружного освещения по СП 52.13330.2016 [13].

Вывод: условия труда световому оформлению соответствуют допустимым по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [3] и федеральному закону №

	СО				СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

426-ФЗ от 28.12.2013 года «О специальной оценке условий труда» [16].

### 5.3.2 Производственные факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождение работающего

Метеорологические условия, или микроклимат, в производственных условиях определяются следующими условиями:

- 1) температурой воздуха  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );
- 2) относительной влажностью  $\varphi$  (%);
- 3) скоростью движения воздуха на рабочем месте  $v$  (м/с).

При определенном сочетании перечисленных выше показателей микроклимата в производственном помещении человек будет испытывать ощущение теплового комфорта на протяжении всего времени проведения на рабочем месте. Состояние теплового комфорта оказывает значительное влияние на работоспособность, а именно на производительность труда

В таблице 2 представлены оптимальные величины показателей микроклимата в рассматриваемом производственном помещении согласно табл. 2, согласно СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

Таблица 2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Се-зон года	Категория работ	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Теплый	Средней тяжести	20-22	16-27	40-60	<70	0,3	0,2-0,5
Холодный	Средней тяжести	17-19	15-21	40-60	<75	0,2	<0,4

При отклонении от норм параметры микроклимата можно регулировать применением системы кондиционирования воздуха и системы

отопления. В зимний период для поддержания необходимой температуры используется система регулируемого центрального водяного отопления.

### 5.3.3 Нервно-психические перегрузки и монотонность труда

Работа на установке, а также внесение результатов и обработка баз данных являются монотонным процессом. Монотонность приводит к нервно-психическим перегрузкам.

Согласно Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда, монотонность труда может привести к возникновению неприятных ощущений у работников, таких как снижение уровня бодрствования, снижение тонуса скелетной мускулатуры, снижению тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы (снижение частоты пульса и артериального давления, увеличение аритмии пульса и др.). Основными последствиями монотонного труда являются: снижение работоспособности и производительности труда, производственный травматизм, повышенная заболеваемость и т.д.

Работа по исследованию относится к классу вредных напряженных условий труда 1 степени.

Рекомендации предполагают введение частых (через 60 - 120 мин.), но коротких (5-10 мин.) регламентированных перерывов при факторе монотонии.

Полезным является введение физической активности (гимнастика) продолжительностью 7-10 минут в начале смены, а также физкультурных пауз один-два раза за рабочую смену, согласно Р 2.2.2006-05 Гигиена труда.

### 5.3.4 Превышение уровня шума

Шум достаточно сильно ухудшает условия труда и оказывают вредное

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
	СО					107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

воздействие на организм человека. Длительное воздействие шума на организм приводит к потере или ухудшению слуха, снижению остроты зрения, ухудшается внимание, повышается давление крови. Сильное шумовое воздействие может вызвать серьёзные заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем.

Уровень шума в операторской не превышает 70 дБ.

Согласно СанПин 2.2.4.3359-16 предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте следует принимать исходя из таблицы 3.

Таблица 3 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте

Территория	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Максимальный уровень звука, дБ
	107	95	87	82	78	75	73	71	
Территории предприятий с постоянными рабочими местами	107	95	87	82	78	75	73	71	95

Нормативные значения, приведенные в таблице 3, применяются, если производится высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности.

Для снижения воздействия производственных шумов на рабочих в полевых условиях можно воспользоваться следующими средствами защиты: рациональная планировка помещения, противошумные наушники, вкладыши.

### 5.3.5 Утечка токсичных и вредных веществ в атмосферу

Опасность и вредность работы на установке обусловлена применением вредных и токсичных продуктов: газ-метан с примесями азота, углекислого газа; конденсат; водометанольная смесь. Класс опасности-

	СО									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ					108

вещества умеренно опасные (ПДК 1,1–10 мг/м<sup>3</sup>), согласно СанПиНу 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Метан удушлив, а смеси с воздухом при концентрации от 4 до 17% по объёму–взрывоопасен. Газ при не герметичности оборудования, трубопроводов в аварийных ситуациях может выделяться в пространство рабочих помещений, в воздух рабочей зоны на наружных установках, создавая при этом пожарную и взрывную опасность.

В качестве ингибитора гидрообразования используется метанол с концентрацией 80-95%. Метанол-сильный яд, действующий на нервную и сердечно сосудистую системы человека. В смеси с воздухом при концентрации от 5,5 до 36,5% объёмных взрывоопасен. Предельно допустимая концентрация метанола в воздухе рабочей зоны производственных помещений 5 мг/м<sup>3</sup>.

Для работы с вредными условиями труда, связанными с агрессивными средами, загрязнениями, повышенными температурами, влажностью, рабочим установки выдается спец. одежда, спец. обувь и другие средства индивидуальной защиты.

- Для защиты рук от воздействия вредных и агрессивных сред применяются перчатки или голицы с кислотостойкой пропиткой.
- Для защиты органов дыхания используют противогазы и респираторы.
- Для защиты глаз применяют защитные очки.
- Для предохранения кожи открытых частей тела от производственных вредностей необходимо применять защитные мази.

Для работы внутри технологического оборудования в обязательном порядке использовать только шланговые противогазы. Каждый противогаз за обслуживающим персоналом закреплен индивидуально, согласно ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ.

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
	СО					109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 5.3.6 Производственные факторы, связанные с электрическим током

При строительных и ремонтных работах используется электрооборудование, которое является источником опасности поражения электрическим током.

Электробезопасность труда и оборудования регламентируется ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17].

#### Электрическая дуга и металлические искры при сварке.

При выполнении сварочно-монтажных работ возможны брызги металла и поражение электрическим током. Возможно поражение электрическим током, ожоги от брызг металла, поражение глаз лучами сварочной дуги, травмы механического характера.

Для снижения воздействия данного опасного фактора необходимо предпринимать следующие меры:

- допускать к выполнению работ только после прохождения аттестации при наличии разрешающего удостоверения;
- работы повышенной опасности необходимо выполнять только с оформлением наряда-допуска;
- сварщик обязан носить специальную обувь и спецодежду, а лицо и глаза закрывать специальным щитком или маской со светофильтром;
- выполнять работы необходимо в диэлектрических перчатках на резиновом коврик;
- на рабочем месте должны быть индивидуальные средства пожаротушения и индивидуальные аптечки.

Для тушения электроустановок необходимо применять углекислотные огнетушители.

Индивидуальные средства защиты: диэлектрические перчатки, инструменты с изолированными рукоятками, диэлектрические боты,

									Лист
	СО								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					110

изолирующие подставки.

#### 5.4 Экологическая безопасность

Все антропогенные воздействие на окружающую среду влияют негативным образом. Тем не менее, для минимизации данных рисков и негативных последствий необходимо выполнять ряд мероприятий по защите окружающей среды. Во избежание процессов утечек нефти и газа, а также других веществ в окружающую среду, необходимо предусматривать работы согласно Федеральным нормам и правил, приказов, осуществляемых на опасном производственном объекте.

*Воздействие на селитебную зону:* ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки близлежащих населенных пунктов, вследствие химического загрязнения: внедрение в воздух, воду, землю синтетических соединений, приводящий к ухудшению состояния биосферы.

Для защиты селитебной зоны предусматриваются следующие средства защиты:

- Санитарно-защитная зона, 1000м для объектов 1 класса опасности, согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.
- установление требований защиты к проектируемому зданию, технологическому процессу, оборудованию, согласно Федеральному закону "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" от 30.12.2009 N 384-ФЗ.

*Воздействие на литосферу:* на состояние литосферы также влияет выброс химических реагентов и углеводородов, вследствие разлива нефти. Загрязнение литосферы может произойти из-за разлива химических реагентов в почву.

Если произошел разлив и выброс нефтяных эмульсий в почву, необходимо осуществить сбор, срезку растительного слоя толщиной 0,3-0,4 м

	СО				СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

и переместить в временные отвалы до рекультивации земель, согласно Постановлению Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 (ред. от 07.03.2019).

Во избежание разливов углеводородов и химических реагентов необходимо осуществлять постоянный контроль за герметичностью нефтепромысловых объектов, проводить вводные, целевые, внеплановые, первичные инструктажи персоналу, соблюдать правила промышленной безопасности и охраны труда.

*Воздействие на гидросферу:* загрязнение при утечке нефтью и нефтепродуктами, приводит к появлению нефтяных пятен.

В целях обеспечения эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации Правительство Российской Федерации приняло Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. N 240 "О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации" Согласно которому организации обязаны:

- создавать собственные формирования (подразделения) для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, проводить аттестацию указанных формирований в соответствии с законодательством Российской Федерации
- немедленно оповещать в установленном порядке соответствующие органы государственной власти и органы местного самоуправления о фактах разливов нефти и нефтепродуктов и организовывать работу по их локализации и ликвидации;
- иметь резервы финансовых средств и материально-технических ресурсов для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов;
- обучать работников способам защиты и действиям в чрезвычайных ситуациях, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов;
- содержать в исправном состоянии технологическое оборудование,

	СО				СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		112

заблаговременно проводить инженерно-технические мероприятия, направленные на предотвращение возможных разливов нефти и нефтепродуктов и (или) снижение масштабов опасности их последствий;

- принимать меры по охране жизни и здоровья работников в случае разлива нефти и нефтепродуктов;
- создавать и поддерживать в готовности системы обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов, а также системы связи и оповещения.

*Воздействие на атмосферу:* в ходе технологической подготовки газа, возникают ситуации, когда необходимо попутный газ отводить на факела низкого давления.

При горении факела низкого давления в атмосферу выбрасывается сажа (С), диоксид азота (NO<sub>2</sub>), оксид углерода (CO<sub>2</sub>) и метан (CH<sub>4</sub>). Эти вещества создают серьезные проблемы с точки зрения защиты окружающей среды, а сжигание метана ведет к неэффективному использованию товарного продукта.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 8 ноября 2012 г. №1148, не менее 95% попутного газа (ПГ) должно использоваться рационально, лишь 5% возможно сжигать на факелах. В случае неисполнения данных норм недропользователь облагается штрафами, размеры которых ежегодно возрастают.

Так или иначе при сжигании даже регламентированных количеств попутного газа происходит загрязнение атмосферы.

В качестве борьбы с загрязнением атмосферы помогает тщательно разработанная технологическая схема блочной компрессорной станции (БКС), на которую будет отводиться до 100% газа, ранее отводившегося на факел низкого давления.

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
	СО					113
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5.5 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на кустовой площадке месторождения при проведении работ по выравниванию профиля приёмистости:

- разрыв нефтесборных элементов, которым обычно приурочено высокие показатели давления;
- разрушение нефтесборных коллекторов и трубопроводов, которые подают химреагенты в эксплуатируемую скважину;
- пожары, взрывы.

Чаще всего ЧС возникает в результате разрыва элементов, которые находятся под высоким давлением. Негерметичность соединений швов может привести к взрыву и пожару.

*Наиболее типичная ЧС:* пожар.

*Класс пожара:* в зависимости от вещества, которое будет гореть, его можно отнести к классу В (пожары горючих жидкостей) или к классу С (пожар газов), согласно федеральному закону "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ

*Основными методами,* способствующими уменьшению масштабов ЧС, являются: обучение персонала навыкам поведения в ЧС; усиленный контроль за состоянием объекта; первичная система пожаротушения (система орошения при тушении горящего резервуара, а также для охлаждения при горении соседнего резервуара, генератор пены предназначен для пенного пожаротушения нефтепродуктов внутри резервуара); система оповещения населения, персонала объекта и органов управления для своевременных необходимых мер по защите населения.

*Первичные средства* пожаротушения, используемые в целях борьбы с пожарами: переносные и передвижные огнетушители; пожарный инвентарь (пожарные багры, ломы, топоры, крюки, пилы, лопаты); покрывала для изоляции очага возгорания (противопожарное полотно); генераторные

									Лист
	СО								114
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

огнетушители аэрозольные переносные, согласно Постановлению Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 24.10.2022) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации".

*Ликвидация последствий ЧС:* повести демонтаж оборудования; зачистить территорию от остатков продуктов горения.

					СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нефтегазовая отрасль является наиболее активно развивающейся в нашей стране, однако внешние факторы каждый момент времени имеют ключевое значение для данной индустрии, поэтому сейчас как никогда важно интегрировать новейшие системы мониторинга и цифровизации с целью быстрой адаптации. Текущие исследования, разработки и методы цифровизации не позволяют в полной мере обеспечить высокоэффективную и гибкую систему, способную в каждый момент времени принимать решения по наиболее эффективным режимам работы. Для достижения необходимого результата следует снимать достоверные и актуальные показатели по каждому из разделов, собирать большие базы данных и анализировать полученные результаты и показатели системы:

- Гидродинамические;
- Термодинамические;
- Механические;
- Эксплуатационные;
- Финансово-экономические;

Перспектива данной разработки не ограничивается насосными агрегатами. Данная система направлена на сбор информации и дальнейшую систематизацию, с целью интеграции в деятельность предприятий различных профилей. Данная система применима к производственной деятельности как в сфере нефти, так и в сфере транспорта газа, при должном объеме необходимой информации.

### В данной выпускной квалификационной работе:

1. Проведен аналитический обзор существующих средств мониторинга и цифровизации насосных агрегатов для перекачки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам;
2. Изучены способы согласования работы насосных станций на линейной части магистральных трубопроводов;
3. Выявлены проблемы существующих методов цифровизации;
4. Исследована и дополнена существующая система мониторинга процессов в трубопроводе;
5. Проведена работа на учебном стенде “НОВА-АНССТН-750” и выявлены способы модернизации.

					ЗАКЛЮЧЕНИЕ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		116

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ромейко В.С. Концепция проекта закона «О трубопроводном транспорте». Обоснование необходимости разработки проекта закона. // Трубопроводы и экология. – 1998, №4. – С. 3-5.
2. Харионовский В.В. Транспорт газа: надежность и аварийность. // спец. Приложение к журналу «Газовая промышленность». – 1995. – Вып. 3. – С. 9-10.
3. Черняев В.Д., Галлямов А.К., Юкин А.Ф., Бондаренко П.М. Трубопроводный транспорт нефти в сложных условиях эксплуатации. – М.: Недра, 1990. - 232 с.
4. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов.– М.: Недра, 1988. - 368 с.
5. Хакимьянов М.И., Гузеев Б.В. Анализ использования частотно- регулируемого электропривода в нефтегазовой промышленности по результатам патентного поиска. // Электронный научный журнал
6. «Нефтегазовое дело». - 2011, №3. - С. 30.
7. Гусейнзаде М.А., Другина Л.И., Петрова О.Н., Степанова М.Ф. Гидродинамические процессы в сложных трубопроводных системах. - М.: Недра, 1991. - 164 с.
8. Дудин С.М., Земенков Ю.Д. Математическое информационное обеспечение мониторинга гидродинамических характеристик углеводородных сред в трубопроводах //Нефтегазовое дело. – 2007. – 14 с. - [http://www.ogbus.ru/authors/Dudin/Dudin\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Dudin/Dudin_1.pdf)
9. Мирзаджанзаде А.Х., Галлямов А.К., Марон В.И., Юфин В.А. Гидродинамика трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1984. - 287 с.
10. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. - М.: Недра, 1975.- 300 с.
11. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. - М.: Наука,
12. 1971. – 552 с.
13. Васильев Г.Е., Коробков А.А.. Трубопроводный транспорт нефти/ Под редакцией С.М. Вайнштока: Учебник для вузов: В 2т. – М.: ООО «Недра
14. – Бизнесцентр», 2002. – Т.1. – 407с.
15. Дорф Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.
16. Гальперин М.В. Автоматическое управление: Учебник. – М.:ИД ФОРУМ-ИНФРА,

					СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

2007. – 224 с.

17. Коуэн К.Ф., Грант П.М. Адаптивные фильтры. – М.: Наука, 1990.
18. Прокопов А.А., Тигист Т.Т. Математические модели сложных неоднородных распределенных систем перекачки жидкости. /С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т ЛЭТИ. – СПб, 2003. - 13 с. - Деп. в ВИНТИ 13.03.2003, № 446-В2003.
19. Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов. - М.: СИП РИА, 2002. - 324 с.
20. Сябина Н.В., Рутгайзер О.З. Исследование динамической модели нефтепровода. // Энергетика, радиотехника, электроника и связь: сб. науч. тр. АИЭС. - Алматы: АИЭС, 2004. – С.74-76.
21. Сябина Н.В., Рутгайзер О.З. Магистральный трубопровод, проложенный по пересеченной местности, как объект системы автоматического управления //Вестник НИА РК. – Алматы, 2008. - № 4. - С.46-51.
22. Мустафин Е.Е., Сябина Н.В. Исследование и разработка системы управления магистральным насосом //Сборник научных трудов «Энергетика, радиотехника, электроника и связь». Автоматизация и управление/ под редакцией С.Г. Хан. – Алматы: АУЭС, 2014. – С.16 – 20.
23. Дьяконов В. П. MatLab 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения.– М.: Солон-ПРЕСС, 2004. – 768 с.
24. Гольянов А.А. Обнаружение места утечек в магистральных нефтепродуктопроводах с помощью сканирующих импульсов давления: автореф. канд. техн. наук: 25.00.19. - Уфа: УГНТУ, 2004. - 22 с.
25. С. Соколов. Анализ основных причин низкой энергоэффективности насосного оборудования на промышленных предприятиях // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. – 2017. – 1 с. - [https://hms.ru/reference\\_materials/458/14568/](https://hms.ru/reference_materials/458/14568/)

					СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		118