

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
Автоматизация ректификационной колонны на нефтеперерабатывающем заводе
УДК <u>004.896:665.63.012-52:66.048.3</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Мусаев Назим		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Семенов Николай Михайлович			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Общекультурные (универсальные) компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью

<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем

ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций

ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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

Школа– Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения \_\_\_\_\_ весенний семестр 2022 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2022 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Николай Михайлович			

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

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

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

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
8Т8А	Мусаеву Назиму

Тема работы:

Автоматизированная ректификационная колонна на нефтеперерабатывающем заводе	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 16.02.2022, № 47-14/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2022
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: ректификационная колонна. Цель работы: изучение принципа работы ректификационной колонны. Режим работы: постоянный.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Описание технологического процесса; Разработка структурной схемы АС; Разработка функциональной схемы АС; Обзор выбора КИПиА; Создание схемы внешних проводок АС; Моделирование САР расхода содержимого в ректификационной колонне; Разработка экранных форм управления.
<b>Перечень графического материала</b>	Трехуровневая структурная схема АС; Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.408-2013; Функциональная схема по ANSI/ISA-S 5.1 – 2009; Схема внешних проводок; Экранная форма.

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, Ст. преподаватель ООД ШБИП
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
-	

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

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Семенов Николай Михайлович			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т8А	Мусаев Назим		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т8А	Мусаеву Назиму

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Автоматизации и робототехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 32 962 руб. Оклад инженера – 19 200 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 20% Районный коэффициент – 30% Норма амортизации – 33,3%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30%

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование проекта, анализ конкурентных решений, SWOT-анализ
2. Планирования процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение трудоёмкости работ, планирование выполнения работ по проекту, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный финансовый показатель – Интегральный показатель ресурсоэффективности –

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. График проведения и бюджет НТИ</li> <li>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</li> </ol>
--

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Учёная степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т8А	Мусаев Назим		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b> 8Т8А		<b>ФИО</b> Мусаеву Назиму	
<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Автоматизация ректификационной колонны на нефтеперерабатывающем заводе	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<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>Объект исследования: ректификационная колонная на НПЗ.          Область применения: автоматизация в нефтегазовой отрасли.          Рабочая зона: технологическая площадка ректификационной колонны, диспетчерская.          Размеры помещения: 25x30 м.          Количество и наименование оборудования рабочей зоны: программируемый логический контроллер, датчики, регуляторы.          Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: разделение бинарных, многокомпонентных или непрерывных смесей на практически чистые компоненты или их смеси.</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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 05.02.2018 N 8-ФЗ.</li> <li>2. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда.</li> <li>3. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</li> <li>4. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.</li> </ol> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>2. Повышенный уровень локальной вибрации;</li> <li>3. Повышенный уровень шума;</li> </ol>

	<p>4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> защитные ограждения, использование защитных костюмов, тепловая изоляция трубопроводов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, респираторы, виброизолирующая обувь, наушники.</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации:</b></p>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> химическое заражение территории при аварии.</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> происходит в результате утилизации твердых бытовых отходов.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> происходит в результате выбросов углеводородов, связанных с технологическим процессом,</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> не происходит.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:</b></p>	<p><b>Возможные ЧС на объекте:</b> Утечка сырья, пожар, взрыв.</p> <p>Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);</p> <p><b>Наиболее типичной ЧС</b> является взрыв. Пожар (сырье, находящееся в РК, является взрывоопасным).</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8А	Мусаев Назим		

## Термины и определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**автоматизированная система:** совокупность персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, которая реализует информационную технологию выполнения установленных функций.

**мнемосхема:** графическое отображение в упрощенной форме функциональной схемы на экране АРМ.

**интерфейс оператора:** набор аппаратно-программных компонентов АСУ ТП, который обеспечивает взаимодействие между пользователями и системой.

**протокол:** формальный набор соглашений, управляющий форматированием и относительной синхронизацией обмена сообщениями между двумя коммуникационными системами.

**техническое задание:** технический документ, устанавливающий цели, набор требований и ключевые исходные данные, требуемые на этапах разработки проектируемой системы.

**технологический процесс:** идущие подряд технологические взаимосвязанные действия, требуемых для производства конкретного типа работ.  
**объект управления:** система, на которую направлены управляющие воздействия с ПЛК.

**автоматизированное рабочее место:** индивидуальная совокупность технических средств и программных продуктов, предназначенная для автоматизации профессионального труда специалиста.

**автоматизированная система управления технологическим процессом:** комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях.

**программируемый логический контроллер:** специализированное компьютеризированное устройство, используемое для автоматизации технологических процессов. В отличие от компьютеров общего назначения, ПЛК

имеют развитые устройства ввода-вывода сигналов датчиков и исполнительных механизмов, приспособлены для длительной работы без серьезного обслуживания, а также для работы в неблагоприятных условиях окружающей среды. ПЛК являются устройствами реального времени.

**стандарт:** образец, эталон, модель, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других подобных объектов. Стандарт в Российской Федерации – документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

**архитектура АС:** набор значимых решений по организации системы программного обеспечения, набор структурных элементов и их интерфейсов, 12 при помощи которых компонуется АС.

## Обозначения и сокращения

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

**АС** – автоматизированная система;

**АРМ** – автоматизированное рабочее место;

**РК** – ректификационная колонна;

**НПЗ** – нефтеперерабатывающий завод;

**ПЛК** – программируемый логический контроллер;

**ТЗ** – техническое задание;

**ТП** – технологический процесс;

**SCADA** – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление и сбор данных);

**АСУ ТП** – автоматизированная система управления технологическим процессом;

**ПИД-регулятор** – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

**КИПиА** – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

**ПО** – программное обеспечение;

**ИМ** – исполнительный механизм;

**ФСА** – функциональная схема автоматизации;

## Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 91 странице, содержит 18 рисунков, 26 таблиц, 16 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: ректификационная колонна, контрольно-измерительные приборы, программируемый логический контроллер, математическая модель.

Объектом исследования является ректификационная колонна.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления ректификационной колонной.

В процессе исследования была спроектирована математическая модель системы автоматического регулирования переменной объекта управления, разработана структурная и функциональная схемы, а также экранная форма управления РК.

В результате исследования произведен подбор датчиков и ПЛК для управления давлением, температурой, уровнем и расходом РК.

Степень внедрения: система может быть внедрена в реальную установку управлением параметрами РК.

Область применения: разработанная система может быть применена на нефтеперерабатывающем заводе.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная система является не затратной, чему свидетельствуют расчеты в финансовой части выпускной квалификационной работы. Экранная форма позволила оптимизировать процесс управления, а также сократила издержки на обучение персонала.

В последствии планируется внедрить данную систему на нефтеперерабатывающий завод, провести практические измерения параметров РК, подвести итоги, насколько данная система эффективна на практике.

## Оглавление

Введение.....	20
1. Нефть и её промысловая подготовка.....	21
1.1. Вводная часть.....	21
1.2. Физические свойства .....	23
1.3. Химический состав.....	23
1.4. Операции по подготовке нефти на промысле .....	24
2. Структурная схема нефтеперерабатывающего завода (НПЗ).....	26
2.1. Общие сведения о НПЗ .....	26
2.2. Профили НПЗ.....	27
2.3. Структурная схема НПЗ.....	28
3. 3d-модель ректификационной колонны.....	31
3.1. Общие сведения о ректификационной колонне.....	31
3.2. Принцип работы ректификационной колонны .....	33
3.3. 3D-модель ректификационной колонны.....	35
4. Параметры, контролируемые в ректификационной колонне .....	36
4.1. Регулирование работы ректификационных колонн.....	36
4.2. Давление, температурный режим в колонне .....	37
5. Приборы для измерения параметров.....	38
5.1. Датчики давления и температуры.....	38
5.2. Межфазный регулятор уровня и расхода .....	41
5.3. Программируемый логический контроллер .....	44
6. Разработка структурной, функциональной схем автоматизации. Математическое моделирование .....	46
6.1. Схема автоматизации ректификационной колонны .....	46
6.2. Выбор архитектуры и разработка структурных схем автоматической системы регулирования APC типа .....	49
6.3. Разработка системы автоматического регулирования переменной объекта управления.....	49
7. SCADA для ректификационной колонны.....	53
8. Анализ полученных результатов .....	55

9. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	56
9.1. Потенциальные потребности результатов исследования.....	56
9.2. Анализ конкурентных технических решений .....	57
9.3. SWOT-анализ .....	58
10. Планирование научно-исследовательских работ .....	60
10.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	60
10.2. Определение трудоёмкости выполнения работ .....	61
10.3. Разработка графика проведения научного исследования .....	64
10.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	66
10.5. Расчет материальных затрат НТИ .....	66
10.6. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .	66
10.7. Основная заработная плата исполнителей темы.....	67
10.8. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	69
10.9. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ...	69
10.10. Накладные расходы.....	70
10.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	70
10.12. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	71
Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	74
11. Социальная ответственность .....	76
11.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
11.2. Производственная безопасность .....	78
11.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	79
11.4. Экологическая безопасность .....	84
11.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	85
Вывод по разделу .....	87
Заключение .....	89
Список используемой литературы .....	90

Приложение А .....	92
Приложение Б.....	93
Приложение В.....	94

## Введение

В наше время автоматизация является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства, экономико-математические методы и системы управления для того, чтобы освободить человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации, либо существенно уменьшить степень этого участия или трудоёмкость выполняемых операций. Требуется дополнительное применение датчиков, устройств ввода и вывода данных, контроллеров, исполнительных механизмов, устройств обработки, хранения и передачи информации.

Введение автоматизированных систем управления на объектах нефтегазовой промышленности позволяет значительно повысить производительность, сократить влияние человека на процесс работы предприятия и уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Целью данной работы является проектирование автоматизированной системы управления ректификационной колонны на нефтеперерабатывающем заводе.

Объект исследования – ректификационная колонна.

Реализация данной работы включает в себя разработку рабочей документации, подбор аппаратно-технических средств и моделирование отдельно взятого контура регулирования.

## **1. Нефть и её промысловая подготовка**

### **1.1. Вводная часть**

У ученых до сих пор нет единого мнения о том, как образовалась нефть. Существуют две принципиально разные теории происхождения нефти. Согласно первой – органической, или биогенной, – из останков древних организмов и растений, которые на протяжении миллионов лет осаждались на дне морей или захоронялись в континентальных условиях. Затем перерабатывались сообществами микроорганизмов и преобразовывались под действием температуры и давлений существуют две принципиально разные теории происхождения нефти. Согласно первой – органической, или биогенной, – из останков древних организмов и растений, которые на протяжении в результате тектонического опускания вглубь недр, формируя богатые органическим веществом нефтематеринские породы.

Необходимые условия для превращения органики в нефть возникают на глубине 1,5-6 км в так называемом нефтяном окне – при температуре от 70 до 190 °С. В верхней его части температура недостаточно высока – и нефть получается «тяжелой»: вязкой, густой, с высоким содержанием смол и асфальтенов. Внизу же температура пластов поднимается настолько, что молекулы органического вещества дробятся на самые простые углеводороды – образуется природный газ. Затем под воздействием различных сил, в том числе градиента давления, углеводороды мигрируют из нефтематеринского пласта в выше- или нижележащие породы. Природный процесс образования нефти из органических останков занимает в среднем от 10 до 60 млн лет, но если для органического вещества искусственно создать соответствующий температурный режим, то на его переход в растворимое состояние с образованием всех основных классов углеводородов достаточно часа. Подобные опыты сторонники органической гипотезы толкуют в свою пользу: преобразование органики в нефть налицо. В пользу биогенного происхождения нефти есть и другие аргументы. Так, большинство промышленных скоплений нефти связано с

осадочными породами. Мало того – живая материя и нефть сходны по элементному и изотопному составу. В частности, в большинстве нефтяных месторождений обнаруживаются биомаркеры, такие как порфирины – пигменты хлорофилла, широко распространенные в живой природе. Еще более убедительным можно считать совпадение изотопного состава углерода биомаркеров и других углеводородов нефти [2].

Нефть – природная маслянистая горючая жидкость со специфическим запахом, состоящая в основном из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических соединений.

подавляющая часть месторождений нефти приурочена к осадочным породам. Цвет нефти обычно чисто-чёрный. Иногда варьирует в буро-коричневых тонах (от грязно-жёлтого до тёмно-коричневого, почти чёрного), изредка встречается нефть, окрашенная в светлый жёлто-зелёный цвет, и даже бесцветная, а также насыщенно-зелёная нефть. Имеет специфический запах, также варьирующий от лёгкого приятного до тяжёлого и очень неприятного. Цвет и запах нефти в значительной степени обусловлены присутствием азот-, серо- и кислородсодержащих компонентов, которые концентрируются в смазочном масле и нефтяном остатке. Большинство углеводородов нефти (кроме ароматических) в чистом виде лишено запаха и цвета.

Нефть обнаруживается вместе с газообразными углеводородами на глубинах от десятков метров до 5-6 км. Максимальное число залежей нефти располагается на глубине 1-3 км. На малых глубинах и при естественных выходах на земную поверхность нефть преобразуется в густую мальту, полутвёрдый асфальт и другие образования – например, битуминозные пески и битумы [1].

## 1.2. Физические свойства

Нефть – жидкость от светло-коричневого до тёмно-бурого цвета. Плотность нефти, как и других углеводородов, сильно зависит от температуры и давления. Она содержит большое число разных органических веществ и поэтому характеризуется не температурой кипения, а температурой начала кипения жидких углеводородов и фракционным составом – выходом отдельных фракций, перегоняющихся сначала при атмосферном давлении, а затем под вакуумом в определённых температурных пределах, как правило до 450-500 °С, реже 560-580 °С. Температура кристаллизации от -60 до +30 °С; зависит преимущественно от содержания в нефти парафина и лёгких фракций. Вязкость изменяется в широких пределах, определяется фракционным составом нефти и её температурой, а также содержанием смолисто-асфальтеновых веществ. Удельная теплоёмкость 1,7-2,1 кДж/(кг·К); удельная теплота сгорания (низшая) 43,7-46,2 МДж/кг; диэлектрическая проницаемость 2,0-2,5; электрическая проводимость [удельная] от  $2 \cdot 10^{-10}$  до  $0,3 \cdot 10^{-18}$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>.

Нефть – легко воспламеняющаяся жидкость; температура вспышки от -35 до +121 °С. Нефть растворима в органических растворителях, в обычных условиях нерастворима в воде, но может образовывать с ней стойкие эмульсии. В технологии для отделения от нефти воды и растворённой в ней соли проводят обезвоживание и обессоливание.

## 1.3. Химический состав

С точки зрения коллоидной химии, нефть представляет собой многокомпонентную коллоидную систему, то есть жидкость, в которой взвешены мицеллы – полутвёрдые сгустки высокомолекулярных смол, асфальтенов и карбенов, не растворимых в жидких углеводородах при обычных температурах – а также, зачастую, углистые и минеральные частицы и вода.

В состав нефти входит около тысячи индивидуальных веществ, из которых большая часть – жидкие углеводороды и гетероатомные органические соединения, преимущественно сернистые, азотистые и кислородные, а также

металлоорганические соединения; остальные компоненты – растворённые углеводородные газы, вода, минеральные соли, растворы солей органических кислот и др., механические примеси.

В основном в нефти представлены парафиновые и нафтеновые соединения. В меньшей степени – соединения ароматического ряда и смешанного, или гибридного строения.

#### 1.4. Операции по подготовке нефти на промысле

После того как нефть подняли из скважины на поверхность, она попадает в систему сбора и подготовки продукции. Вся эта система представляет собой довольно сложный комплекс нефтепромыслового оборудования, состоящий из трубопроводов, запорно-регулирующей аппаратуры, замерных установок, сепараторов, резервуаров. Формируется система сбора и подготовки нефти в соответствии с Проектом обустройства месторождения, который разрабатывается специализированной проектной организацией (проектным институтом).

Продукция нефтяных скважин практически никогда не состоит из чистой нефти. Как правило, она представляет собой смесь нефти, воды и газа с небольшими примесями других веществ. Поэтому важнейшей задачей системы сбора и подготовки нефти является сепарация, то есть разделение нефти, газа и воды друг от друга.

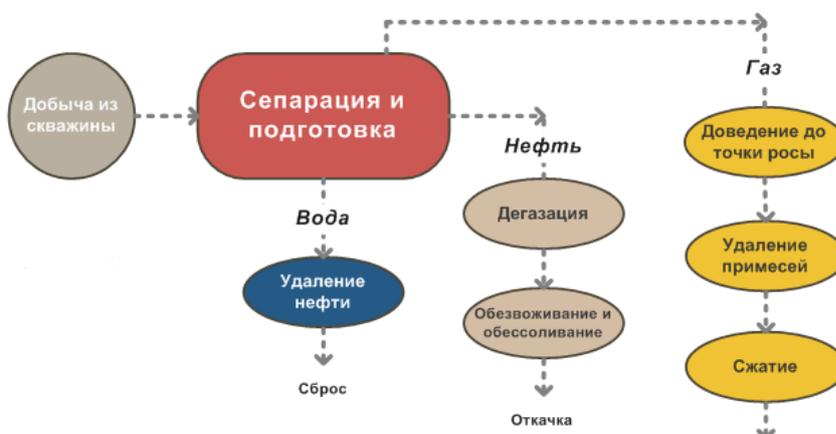


Рисунок 1 – Принципиальная схема сбора и подготовки нефти [1]

На рисунке 1 можно увидеть следующее: сепарация происходит в несколько стадий. На каждой стадии могут использоваться различные типы сепараторов. По принципу действия сепараторы делятся на центробежные и гравитационные, по конструкции – на горизонтальные, вертикальные, сферические. Для более эффективного отделения воды от нефти и предупреждения образования трудноразрушаемой эмульсии в продукцию скважин добавляют различные реагенты-деэмульгаторы. Также на определенных стадиях производят нагрев нефти для ускорения процессов разделения воды от нефти.

Трубопроводы, применяемые на нефтепромыслах, обычно подразделяются на:

- Нефтепроводы.
- Газопроводы.
- Нефтегазопроводы.
- Водопроводы (водоводы).

Трубопроводы, ведущие от устья скважин до групповых замерных установок, называют выкидными линиями. А от групповых установок к сборным пунктам – коллекторами.

На первой стадии сбора и подготовки скважинная жидкость по выкидной линии попадает на групповую замерную установку (ГЗУ), где определяется количество добываемой из скважин жидкости и производится частичное отделение попутного газа и воды от нефти. Далее нефть посредством дожимной насосной станции (ДНС) через сборные коллекторы направляется на центральный пункт сбора (ЦПС).

«Пункт сбора» - понятие довольно приблизительное. Это может быть что угодно: от очень простой станции сбора до сложного центра комплексной подготовки, где добытые флюиды проходят подготовку и разделяются на газ, газоконденсатные жидкости, воду и стабилизированную нефть.

Обычно на одном нефтяном месторождении устраивают один ЦПС. Но иногда целесообразно один ЦПС использовать для нескольких месторождений с размещением его на более крупном из них. В этом случае на отдельных

месторождениях могут сооружаться комплексные сборные пункты (КСП), где жидкость, добытая из скважин, проходит частичную сепарацию и обработку.

Основное назначение дожимной насосной станции – обеспечить дополнительный напор для перекачки нефти на ЦПС с отдаленных месторождений. Часто ДНС объединяют с установкой предварительного сброса воды (УПСВ), на которой производится частичная сепарация нефти, газа, воды и дальнейшая транспортировка их отдельными трубопроводами.

Окончательная подготовка нефти проводится на установке комплексной подготовки нефти (УКПН), являющейся составной частью понятия ЦПС. Процесс окончательной подготовки нефти включает:

- Дегазацию (окончательное отделение газа от нефти).
- Обезвоживание (разрушение водонефтяной эмульсии, образующейся при подъеме продукции из скважины и транспорте ее до УКПН).
- Обессоливание (удаление солей за счет добавления пресной воды и повторного обезвоживания).
- Стабилизацию (удаление легких фракций с целью уменьшения потерь нефти при ее дальнейшей транспортировке).

## **2. Структурная схема нефтеперерабатывающего завода (нпз)**

### **2.1. Общие сведения о НПЗ**

Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) – промышленное предприятие, основной функцией которого является переработка нефти в бензин, авиационный керосин, мазут, дизельное топливо, смазочные масла, смазки, битумы, нефтяной кокс, сырье для нефтехимии [3].

Производственный цикл НПЗ обычно состоит из подготовки сырья, первичной перегонки нефти и вторичной переработки нефтяных фракций: каталитического крекинга, каталитического риформинга, коксования<sup>1</sup>, висбрекинга, гидрокрекинга, гидроочистки и смешения компонентов готовых нефтепродуктов.

Обычно на нефтеперерабатывающем заводе или рядом с ним имеется нефтебаза для хранения поступающего сырья для сырой нефти, а также больших объемов жидких продуктов.

НПЗ характеризуется по следующим показателям:

- Вариант переработки нефти: топливный, топливно-маслянистый и топливно-нефтехимический.
- Объем переработки.

Глубина переработки (выход нефтепродуктов в расчете на нефть, в % по массе за минусом топочного мазута и газа).

## 2.2. Профили НПЗ

На сегодняшний день границы между профилями стираются, предприятия становятся более универсальными. Например, наличие каталитического крекинга на НПЗ позволяет наладить производство полипропилена из пропилена, который получается в значительных количествах при крекинге как побочный продукт.

В российской нефтеперерабатывающей промышленности выделяют три профиля НПЗ, в зависимости от схемы переработки нефти: *топливный*, *топливно-масляный*, *топливно-нефтехимический*.

На НПЗ *топливного профиля* основной продукцией являются различные виды топлива и углеродных материалов: моторное топливо, мазуты, горючие газы, битумы, нефтяной кокс и т.д.

---

<sup>1</sup> Коксование – процесс переработки жидкого или твердого топлива нагреванием без доступа кислорода.

Набор установок включается в себя: обязательно – перегонку нефти, риформинг, гидроочистку; дополнительно – вакуумную дистилляцию, каталитический крекинг, изомеризацию, гидрокрекинг, коксование и т.д.

На НПЗ *топливно-масляного профиля* помимо различных видов топлив и углеродных материалов производятся смазочные материалы: нефтяные масла, смазки, твердые парафины и т.д.

Набор установок включает в себя: установки для производства топлив и установки для производства масел и смазок.

На НПЗ *топливно-нефтехимического профиля* помимо различных видов топлива и углеродных материалов производится нефтехимическая продукция: полимеры, реагенты и т.д.

Набор установок включает в себя: установки для производства топлив и установки для производства нефтехимической продукции (пиролиз, производство полиэтилена, полипропилена, полистирола, риформинг, направленный на производство индивидуальных ароматических углеводородов, и т.д.) [3].

### **2.3. Структурная схема НПЗ**

На рисунках 2 и 3 представлены структурные схемы НПЗ и мини-НПЗ соответственно.

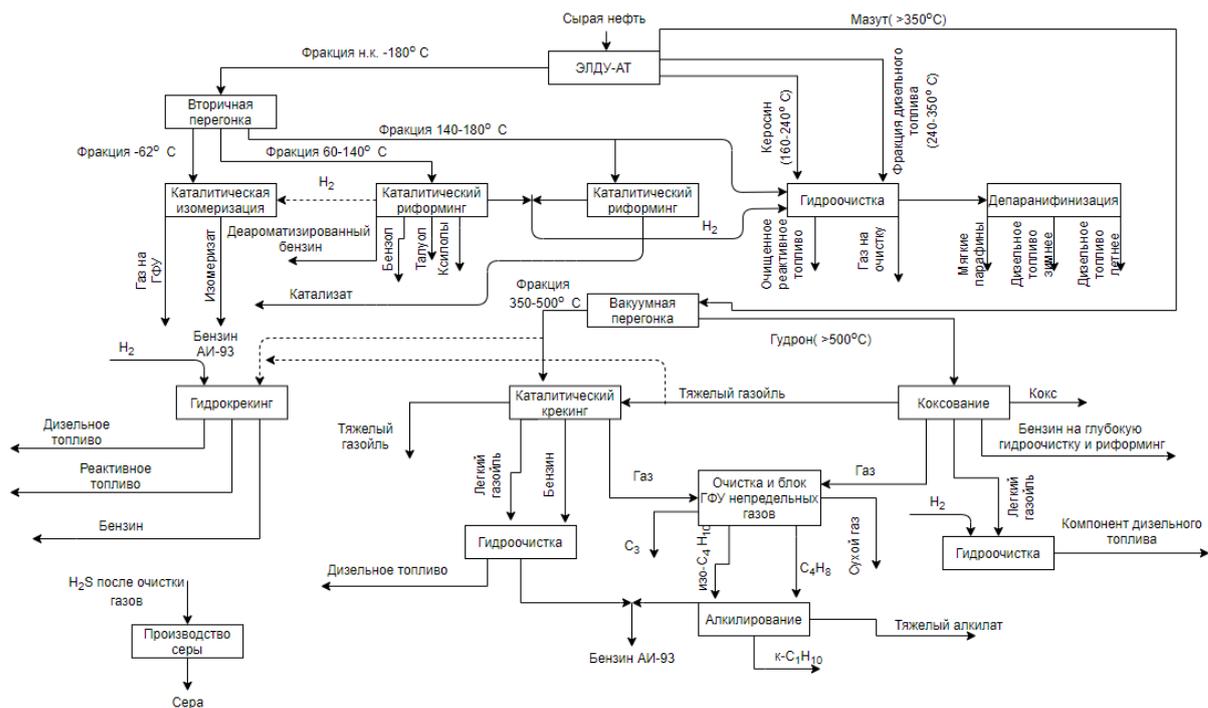


Рисунок 2 – Структурная схема нефтеперерабатывающего завода

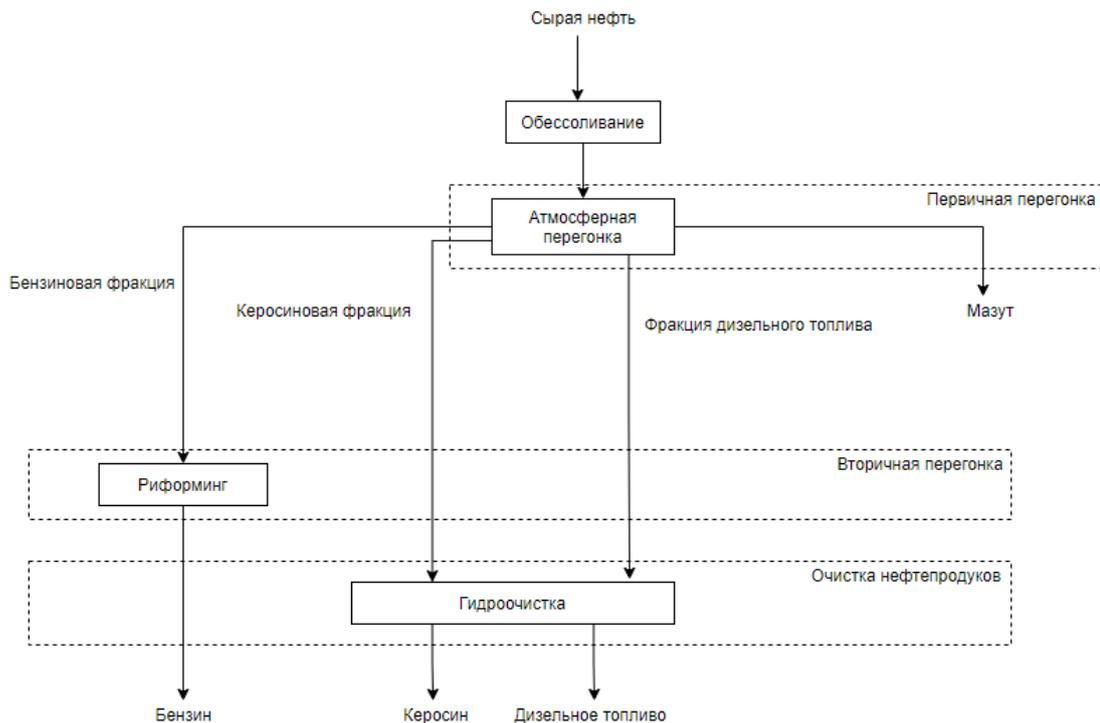


Рисунок 3 – Упрощенная структурная схема мини-НПЗ

Нефть поступает на установку ЭЛОУ-АТ. Бензиновую фракцию н.к.<sup>2</sup> - 180 °С разделяют вторичной перегонкой на более узкие. Легкий бензин (н. к.

<sup>2</sup> Н.к. – начало кипения.

- 62 °С) подвергают изомеризации, а изомеризат смешивают с бензином риформинга. Фракция 62-140 °С идет на риформинг для получения ароматических углеводородов. Фракция 140-180 °С поступает частично на риформинг для получения высокооктанового бензина, а частично используется как компонент авиационного керосина, который вместе с фракцией 180-240 °С подвергают гидроочистке. Фракция дизельного топлива (240-350 °С) также проходит гидроочистку, после чего полностью или частично идет на депарафинизацию для получения зимнего дизельного топлива. Из катализата, полученного при риформинге фракции 62-140 °С, экстрагируют ароматические углеводороды, которые затем разделяют перегонкой, а фракцию С – четкой ректификацией в сочетании с адсорбцией. Рафинат (остаток после выделения экстракта) может явиться сырьем пиролиза.

Мазут, поступающий на вакуумную перегонку, перерабатывают по двум направлениям: получаемая после вакуумной перегонки фракция 350-500 °С (или выше) частично идет на каталитический крекинг, а частично на гидрокрекинг. Последнее оправдано в том случае, если требуется увеличить ресурсы реактивного топлива, которое получается при гидрокрекинге достаточно стабильным.

Гудрон частично используют для получения битума, а основное количество направляют на коксование. Бензин коксования подвергают глубокой гидроочистке, поскольку он обладает повышенным содержанием непредельных углеводородов и серы; после этого его направляют на риформинг, так как октановое число его невысоко.

Легкий газойль коксования после гидроочистки используют как компонент дизельного топлива. Тяжелый газойль коксования может служить компонентом сырья каталитического крекинга или гидрокрекинга, но последнее предпочтительнее, так как содержание серы в этом газойле больше, чем в прямомгонном.

Бензин каталитического крекинга тоже проходит гидроочистку. Легкий газойль каталитического крекинга при наличии цеолитового катализатора

сильно ароматизирован, и его нужно или подвергать глубокой гидроочистке или использовать как сырье для гидродеалкилирования (с целью получения нафталина). Что касается тяжелого газойля, если содержание серы позволяет, он может быть использован как исходное сырье для получения технического углерода. При гидрокрекинге в зависимости от заданной глубины процесса и расхода водорода в том или другом соотношении получают бензин, фракции реактивного и дизельного топлив.

Углеводородные газы всех процессов проходят очистку от  $H_2S$ , но не в смеси: непредельные газы коксования и каталитического крекинга разделяют на компоненты на блоке газодифракционной установки (ГДУ) (непредельных газов, а газы риформинга, изомеризации, гидроочистки и гидрокрекинга – на блоке предельных газов. Фракция  $C_4$  с обоих блоков служит сырьем на установке алкилирования; фракцию  $C_3$  предельных газов можно применять как сжиженный газ или направлять на пиролиз; фракцию  $C_3$  непредельных газов можно использовать для нефтехимических целей (получение полипропилена, кумола). Сероводород, выделенный из газов, направляют на производство серы.

Наличие гидрокрекинга и широкое использование гидроочистки требует, очевидно, дополнительного количества водорода (помимо водорода риформинга); его можно получить конверсией части сухого газа (метан). Остальной сухой газ используют как технологическое топливо.

### **3. 3d-модель ректификационной колонны**

#### **3.1. Общие сведения о ректификационной колонне**

Ректификация – это способ разделения компонентов смеси, основанный на свойстве компонентов данной смеси выкипать при различных температурах. Ректификация представляет собой процесс разделения бинарных, многокомпонентных или непрерывных смесей на практически чистые компоненты или их смеси (фракции), отличающиеся температурами кипения (для

бинарных и многокомпонентных смесей) или интервалами выкипания (для непрерывных смесей). Процесс ректификации осуществляется в результате контакта потоков пара и жидкости. При этом неизменным условием является перемещение пара и жидкости навстречу друг другу по высоте ректификационного аппарата. Движущей силой тепло- и массообмена между паром и жидкостью в аппарате является разница температур по высоте аппарата. Ректификационная колонна (РК) является одним из центральных аппаратов технологической установки по первичной переработке нефти или нефтепродуктов. Применение данного аппарата вызвано необходимостью реализации простого способа разделения нефти или ее продуктов на фракции в зависимости от их температур кипения. Такой способ получил название ректификации, а аппарат для проведения данного процесса – ректификационной колонной. Но одна ректификационная колонна не может справиться с задачами по разделению фракций. На нефтеперерабатывающих предприятиях колонна тесно связана со множеством другого оборудования – насосного, теплообменного, печного, сепарационного.

Тепломассообмен между противоточно-движущимися неравновесными паровой и жидкой фазами в ректификационных колоннах осуществляется на контактных устройствах (КУ), которые часто называются “тарелками”. В ректификационных колоннах поток парового орошения создается нагревательными элементами (печь, ввод перегретого водяного пара), а жидкого – конденсационными устройствами (холодильники – конденсаторы, холодные циркуляционные орошения). В результате взаимодействия между паровой и жидкой фазами на КУ в соответствии с законами термодинамического парожидкостного равновесия паровая фаза обогащается легкокипящими, а жидкая – тяжелокипящими компонентами. Поэтому именно КУ и определяют в значительной мере общую эффективность процесса разделения. Для нефтяных колонн вообще и для колонн АВТ (атмосферно-вакуумная трубчатка), в частности, можно выделить ряд присущих им характерных особенностей: очень

высокая производительность по сырью (до 1000 м<sup>3</sup>/ч для атмосферной колонны); подвод тепла в разделительную систему осуществляется огневым нагревом сырья в трубчатой печи (основная и вакуумная колонны АВТ), вводом перегретого водяного пара (практически все колонны) и циркулирующей «горячей струи» (отбензинивающая колонна АТ); последнее обстоятельство предполагает применение специальных сепарационных зон для разделения паровой и жидкой фаз. В схеме ректификации присутствуют выносные отпарные секции. Также циркуляционные орошения, что предполагает возможность организации на КУ боковых отборов жидкой фазы и подводов как паровой, так и жидкой фаз в нескольких точках по высоте колонны. Эти особенности должны учитываться при выборе конструкций контактных устройств в задачах проектирования блоков разделения нефти.

### **3.2. Принцип работы ректификационной колонны**

Конструкция ректификационной колонны представляет собой вертикальную емкость цилиндрической формы различного или постоянного сечения, которая используется для физического разделения смеси углеводородов и получения требуемых нефтепродуктов заданного качества в результате ректификации. В колонне пары перемещаются вверх от тарелки к тарелке за счет разности давлений в эвапорационном пространстве и вверху колонны. Жидкость стекает вниз по тарелкам и сливным устройствам под действием силы тяжести. Ректификационную колонну можно разделить на 3 функциональные части: концентрационная секция – расположена выше точки ввода сырья в аппарат; секция питания – в центре колонны, подается сырье на тарелку питания; отгонная секция – находится ниже точки ввода сырья.

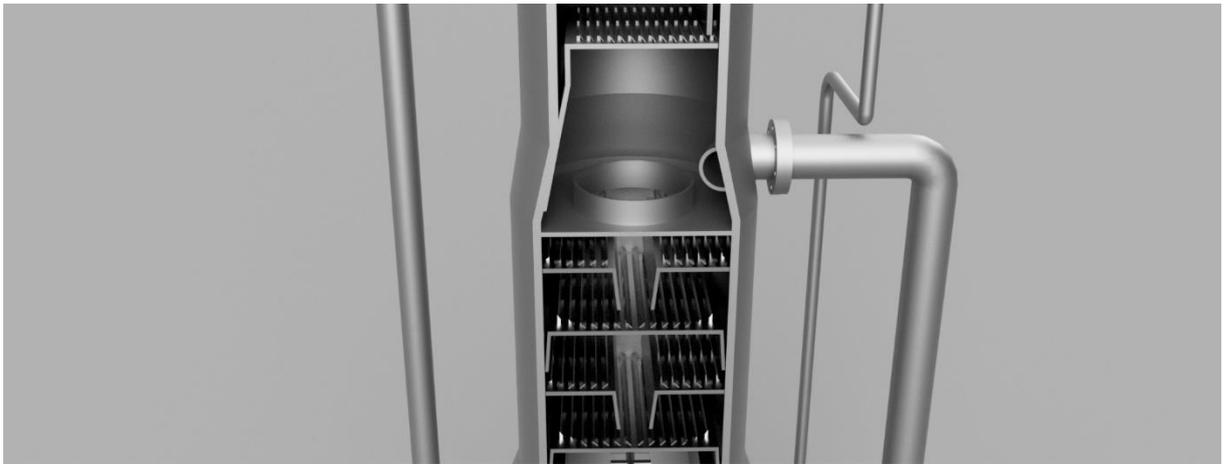


Рисунок 4 – секция питания колонны

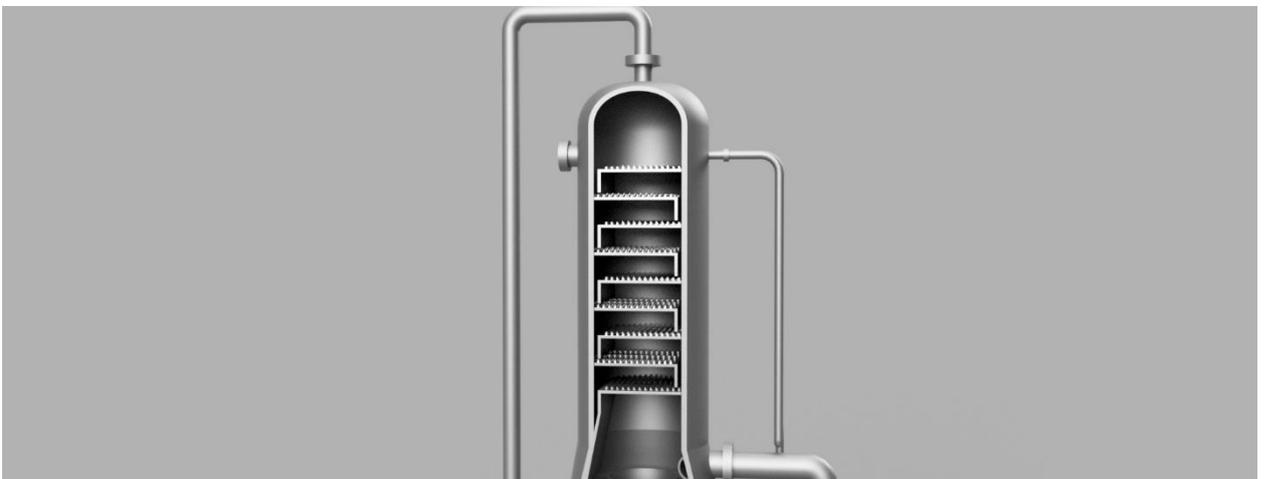


Рисунок 5 – концентрационная секция

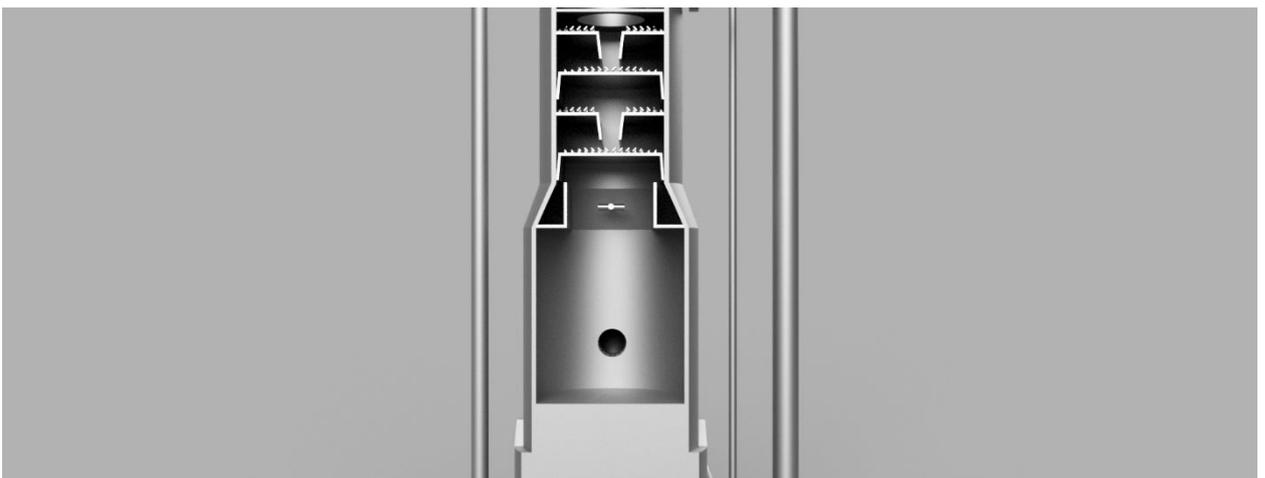


Рисунок 6 – отгонная секция

Для возможности протекания процесса ректификации температура нефти должна быть ниже температуры подаваемого пара. Данное следствие

исходит из свойств равновесной системы. Нагляднее конструкцию ректификационной колонны можно увидеть на рисунках 6-11.

### 3.3. 3D-модель ректификационной колонны



Рисунок 7 – 3D-модель ректификационной колонны



Рисунок 8 – 3D-модель ректификационной колонны

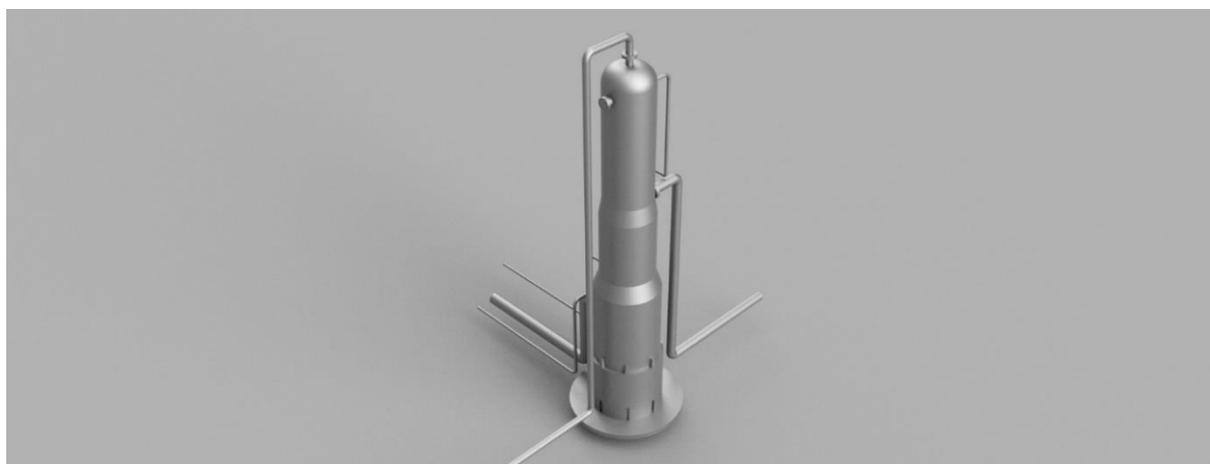


Рисунок 9 – 3D-модель ректификационной колонны

## **4. Параметры, контролируемые в ректификационной колонне**

### **4.1. Регулирование работы ректификационных колонн**

Процесс ректификации характеризуется рядом независимых и зависимых параметров. Независимые переменные можно разделить на две группы: внешние и внутренние. К внутренним независимым переменным относятся: состав дистиллята; состав кубового продукта, отношение количества жидкости, испаряемой в кубе, к расходу исходной смеси; отношение количества внешнего орошения к дистилляту. Если две из переменных принять за независимые, то две другие становятся зависимыми. К ним относятся также составы и расходы пара и жидкости в любом сечении колонны, количество дистиллята и кубового продукта, количество тепла, отбираемого в дефлегматоре [4].

В подавляющем большинстве случаев требования к системам автоматического регулирования (САР) процесса ректификации ограничиваются стабилизацией параметров, влияющих на процесс разделения. Такие САР целесообразны при небольших возмущениях и колебаниях качества продукта. При значительных изменениях количества и состава исходной смеси неизбежны продолжительные отклонения от заданного состава исходных продуктов. Чем больше количество стабилизированных независимых переменных, тем проще осуществить устойчивое регулирование работы ректификационной колонны. Однако стабилизировать все независимые переменные, что исключило бы нарушение заданных теплового и материального балансов колонны, невозможно из-за технических или экономических условий проведения процесса разделения. Так, например, практически трудно стабилизировать состав исходной смеси, обычно поступающей с предыдущей операции, а изменение состава может быть основным источником возмущения процесса. Кроме того, поскольку исходную смесь стремятся подавать при температуре кипения, необходимо стабилизировать температуру питания [4].

Питание должно поступать в ректификационную колонну с постоянной скоростью. Регулирование расхода питания можно рассматривать как стабилизацию параметров, независимо от процесса в ректификационной колонне.

На практике это можно сделать, если имеется питающая емкость с достаточным запасом исходной смеси.

Состав и температура кипения жидкостей на всех тарелках ректификационной колонны связаны между собой. Изменение этих параметров в любой точке распространяется на всю колонну по истечении времени запаздывания. Поэтому невозможно независимо регулировать эти параметры в нескольких точках колонны.

Вывод кубового продукта, как правило, осуществляется регулятором уровня. Уровень жидкости в кубе или кипятильнике колонны связан с другими регулируемыми параметрами: температурой (составом) жидкости и давлением в колонне. В зависимости от физических свойств разделяемой смеси, конструкции куба, его тепловой нагрузки [4].

#### **4.2. Давление, температурный режим в колонне**

Давление в основной колонне атмосферной секции должно обеспечивать преодоление гидравлических сопротивлений парогазовых потоков по всей системе. Обычно избыточное давление в атмосферной колонне находится в пределах 0,7-0,8 кгс/см<sup>2</sup> и не должно превышать 1, 0 кгс/см<sup>2</sup>, т. е. оно должно приниматься минимально возможным. Практически это давление несколько колеблется в зависимости от условий эксплуатации. При двухколонной схеме работы установки давление в отбензинивающей колонне, как правило, должно быть выше, чем в основной атмосферной колонне, но его следует принять минимально возможным, лишь достаточным для того, чтобы преодолеть сопротивление шлемовой трубы, змеевика конденсатора и коммуникации газоотводящей системы. В отбензинивающей колонне отгоняются легкие бензиновые пары и газы, а для подачи последних в газовую сеть предприятия давление в первой ректификационной колонне должно быть не ниже 3-4 кгс/см<sup>2</sup>. По фактическим данным, на действующих двухколонных установках избыточное давление в большинстве случаев составляет от 1 до 3,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Остаточное давление наверху вакуумных колонн следует принимать равным 40-60 мм рт. ст. Однако на практике оно значительно выше, что ухудшает погоноразделительную способность колонны.

Температурный режим, влияющий на показатели работы колонны, зависит от качества дистиллятов и давления в колонне. Нужно определить обычным путем, температуры верха и низа колонны, боковых погонов и низа остатка. При этом следует учитывать, что в низ колонн подается водяной пар и температура внизу колонны будет определяться парциальным давлением нефтяных паров. Водяной пар оказывает существенное влияние на температурный режим колонны [4].

## **5. Приборы для измерения параметров**

### **5.1. Датчики давления и температуры**



Рисунок 10 – Датчик давления компании GEORGIN

Компания GEORGIN предлагает искробезопасные согласно ATEX датчики давления, а также температурные датчики GEORGIN S2000 и S4000 с возможностью искробезопасного исполнения (рисунок 10).

Датчик на пьезорезисторах – основной принцип технологии изготовления датчиков GEORGIN, применимый для датчиков давления дистанционного наблюдения. Датчики GEORGIN TR/TA для измерения относительного и абсолютного давления имеют повышенное максимальное давление, плоскую

мембрану, кабельный выход или стальную головку, обладают возможностью перенастройки диапазона [8].

Таблица 1 – Основные технические характеристики датчиков давления

	ФКР	ФКН	ФКС
Диапазон измерений	До 100 Бар	До 30 бар	До 200 бар
Точность	0.1%	0.2%	0.065%
Сохраняемость	16:1		100:1
Выходной сигнал	4..20 мА		
Электропитание	От 10.5 до 45 В		
Класс защиты	IP66 – IP67		
Дисплей	Аналоговый или цифровой		

Исходя из данных таблицы 1 видно, что приведенные датчики давлений имеют относительно одинаковые характеристики, но стоит отметить, что последний датчик имеет более широкий диапазон и лучшую точность измерений.



Рисунок 11 – Датчик температуры компании GEORGIN

Температурные датчики GEORGIN серии S2000 и S4000 представляют собой комбинацию термопреобразователя сопротивления или термопарного щупа с преобразователем в головке температурного датчика. Доступны фиксированные или программируемые преобразователи. Выход датчиков – линейаризованный, 4/20 мА [7].

Таблица 2 – Основные технические характеристики датчиков температуры

	S*VF	S*VI	S*DF
Установка измерительного элемента	Стационарная	Заменяемая	Стационарная
Тип измерительного элемента	Резистивный: RTD100, RTD1000, Ni100; Термопары: Тс К (-180 +1372 °С); Тс J (-100 +1200 °С)		
Рабочая температура	-50 °С +400°С; -200 °С +600°С; -200 °С +1200°С;		

Диаметры	4, 5, 6, 8, 9 мм	6, 8, 9, 10 мм	4, 5, 6, 8 мм
Длина	Все длины		
Преобразователи	TiXo1A, 2 А или 3 А; TiXo11B, 2 В или 3 В;		
Расширение	Нет	50, 100, 200 мм	

Температурные датчики компании GEORGIN также имеют сравнительно близкие технические характеристики. Важным параметром является рабочая температура, но в случае с РК максимальная температура (~ 400 °С) входит в диапазон всех трех датчиков, что позволяет выбрать любой.

## 5.2. Межфазный регулятор уровня и расхода



Рисунок 12 – Межфазный регулятор уровня Levelflex FMP51

Levelflex FMP51 подходит для измерения уровня даже в экстремальных рабочих условиях, например, при высокой температуре и высоком давлении. FMP51 обеспечивает максимальную стабильность показаний даже в случае

турбулентной поверхности, вспенивания и наличия дополнительного оборудования в резервуаре (рисунок 12). Levelflex FMP51 используется для непрерывного измерения уровня жидкостей, паст и пульп, а также в качестве прибора измерения межфазного уровня. На процесс измерения не влияет изменение среды, температуры, наличия прослоек газа или пара [6].

Таблица 3 – Технические характеристики Levelflex

Параметр	Значение
Принцип измерений	Микроимпульсный принцип измерения
Характеристики/Применение	Коаксиальный зонд: не зависит от внутренней геометрии резервуара. Стержневой зонд: Применим для измерения высоковязких продуктов. Тросовый зонд: широкий диапазон измерения при малых диаметрах присоединения к процессу
Измерение уровня раздела фаз	Межфазное измерение уровня жидкость/жидкость без наличия эмульсионного слоя. Одновременное измерение общего уровня разлива и межфазного уровня
Питание / Коммуникация	2х-проводная схема подключения (HART / PROFIBUS PA / FOUNDATION Fieldbus)
Погрешность	Коаксиальный зонд: +/-3 мм. Стержневой зонд: +/-3 мм. Тросовый зонд: +/-3 мм, >10м:0.03%
Температура окружающей среды	-40 °C ... 80 °C
Рабочая температура	-40 °C ... 150 °C
Рабочее давление абс. / макс. предел избыточного давления	Вакуум ... 40 бар
Смачиваемые части	PTFE Коаксиальный зонд: 316L. Alloy C22 Стержневой зонд: 316L. Alloy C22 Тросовый зонд: 316
Присоединение к процессу	G + NPT 3/4" и 1 1/2", DN40 ... DN150
Длина датчика	Стержневой зонд: 4м Коаксиальный зонд: 4м Тросовый зонд: 35м

Макс. значение измерения	Коаксиальный зонд: 4 м, мин. ДП > 1.4. Стержневой зонд: 4 м, мин. ДП > 1.6. Тросовый зонд: 35 м, мин. ДП > 1.6
Выход	4 ... 20 мА HART PA PROFIBUS FOUNDATION Fieldbus
Замена	FMP50, FMP51



Рисунок 13 – Регулятор расхода

Счетчики нефти «МИГ» предназначены для измерения объема нефтепродуктов и нефти на технологических установках нефтеперерабатывающих и нефтедобывающих предприятий (рисунок 13).

Исполнения счетчиков зависит от условного давления и диаметра условного прохода [5].

Таблица 4 – Технические характеристики МИГ

Характеристики	Значения
Параметры измеряемой среды (нефть по ГОСТ Р 51858-2002 и нефтепродукты)	- температура, °С от 0 до +60; - кинематическая вязкость, м <sup>2</sup> /с (1-100) 10 <sup>-6</sup> ; - содержание свободного газа, не допускается; - размеры механических примесей, мм, не более 4

Температура окружающей среды:	
- преобразователя расхода и магнитоиндукционного датчика, °С	от -50 до +50
- блока «VEGA-03» и блока НОРД-ЭЗМ, °С	от +5 до +40
Потребляемая мощность, ВА	не более 30
Предел относительной погрешности счетчика, в комплекте с блоком «VEGA-03» в диапазоне расхода:	
МИГ-32Ш (20 - 100)% от максимального, в диапазоне вязкости $(1 - 100) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , %	не более, % $\pm 1,5$
МИГ-32 ÷ МИГ-400( 20 - 100 )% от максимального, в диапазоне вязкости $(1-100) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , %	не более $\pm 0,15$
Длина линии связи между блоком «VEGA-03» или блоком НОРД-ЭЗМ и датчиком м	не более 500
Вырез окна в щите для установки блока НОРД-ЭЗМ, мм	194x106
Вырез окна в щите для установки блока «VEGA-03», мм	182x180
Габаритные размеры:	
- блока НОРД-ЭЗМ, мм	202x114x78
- блока «VEGA-03», мм	190x206x113
- датчика, мм	102x70x96
Масса:	
- блока НОРД-ЭЗМ, кг	0,8
- блока «VEGA-03», кг	1,5
- датчика	1,9
Средняя наработка на отказ, ч	24000
Средний срок службы счетчика, лет	не менее 8

### 5.3. Программируемый логический контроллер

Программируемый логический контроллер (ПЛК) – специальная разновидность электронной вычислительной машины. Чаще всего ПЛК используют для автоматизации технологических процессов. В качестве основного режима работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, без серьёзного обслуживания и практически без вмешательства человека [11].

Программируемые логические контроллеры Simatic S7-1500 – это новейшее семейство контроллеров Сименс обладающих великолепными характеристиками, отличным набором функций и впечатляющим быстродействием.

В новых контроллерах S7-1500 значительно снижено время реакции на внешние события. Благодаря такому высокому уровню производительности, контроллеры S7-1500 могут быть использованы для решения задач среднего и высокого уровня сложности.

Удобная конструкция программируемого контроллера S7-1500 и его модульность позволяют его максимально адаптировать к требованиям решаемой задачи. Контроллер имеет естественное охлаждение. В случае модернизации системы контроллер обеспечивает свободное наращивание функциональных возможностей. Повышенная степень защиты программы и данных обеспечивают разработчиков дополнительным уровнем безопасности.



Рисунок 14 – Программируемый логический контроллер

Таблица 5 – Технические характеристики ПЛК

Напряжения питания допустимое отключение: в статике в динамике	24 В ±20% ±33%
Потребляемый ток, номинальное значение	0.85 А
Атмосферное давление	От 1080 до 795 ГПа (от -100 до 2000 м над уровнем моря)

Рабочая память	1.0 Мбайт для программы 5.0 Мбайт для данных Слот карты памяти до 32 Гбайт
Минимальное время выполнения	Логических операций – 10 нс Операций со словами – 12 нс Математических операций: - с фиксированной точкой – 16 нс - с плавающей точкой – 64 нс
Число модулей ввода-вывода	8192
Количество модулей на стойку, не более	32: центральный процессор + 31 модуль
Типы интерфейсов	PROFINET, PROFIBUS, Ethernet
Языки программирования	LAD, FBD, STL, SQL, GRAPH
Условия эксплуатации: диапазон температуры эксплуатации и диапазон относительной влажности	От -40 до +70 °C 100%, появление конденсата и льда
Габариты	70x147x129

## **6. Разработка структурной, функциональной схем автоматизации. Математическое моделирование**

### **6.1. Схема автоматизации ректификационной колонны**

Современный технологический процесс нельзя представить без автоматических систем управления. Корректным применением таких систем можно достичь оптимальных параметров эксплуатации как определенного узла, так и технологического процесса в целом. Одним из основных технологических этапов первичной переработки является процесс перегонки углеводородного сырья. От точности регулирования технологических параметров процесса ректификации нефтегазоконденсатной смеси зависит качество выпускаемой продукции.

К основным показателям качества предъявляются требования, которые и обеспечивают надежную и четкую работы всей системы. Каждый технологический процесс переработки характеризуется определенными технологическими параметрами, обеспечивающими соответствующие качественные показатели конечной продукции. Эти требования на качество продукции и эксплуатацию должны постоянно жестко соблюдаться.

К основным технологическим параметрам работы ректификационной колонны первичной перегонки нефти относятся: давление в колонне; температурный режим колонны; расход сырьевых и продуктовых потоков; уровень жидкости в аппаратах и емкостях.

Параметры работы ректификационной колонны могут изменяться в более или менее широких пределах, отклоняясь от нормального технологического режима. Поддержание требуемых параметров и восстановление отклоненных параметров режима осуществляются автоматической системой регулирования.

Автоматическое регулирование и управление работой аппаратуры осуществляется при помощи технических средств управления и автоматизации. К ним относятся приборы автоматического контроля, управления и регулирования температуры, давления, расходов потоков, уровней жидкости, параметров электрических машин; свойств потоков нефти, газов и получаемых продуктов (плотность, температура вспышки, фракционный состав, вязкость и др.), а также аппаратура автоматической сигнализации, блокировки и извещения (световые или звуковые).

В связи с тем, что объекты регулирования обладают инерционностью, эффект воздействия управления может проявляться через какой-то временной интервал, т. е. с запаздыванием. Устранение вредного влияния запаздывания в процессах регулирования достигается применением регуляторов, учитывающих инерционность регулирования или применением связанного (каскадного) регулирования с включением в систему регулирования нескольких регуляторов и датчиков.

Выход и качество дистиллятов получаемых продуктов определяется: фракционным составом исходного сырья; количеством орошения колонны; числом контактных тарелок или высотой насадочных пакетов и их числом; количеством подаваемого и снимаемого из колонны тепла.

Фракционный состав продуктов, выходящих из колонны, зависит от соответствующей температуры и давления той зоны, где они получают в виде дистиллятных паров или жидкости. Фракционный состав сырья, поступающего на переработку, практически постоянно изменяется, что требует корректировки параметров режима колонны для обеспечения заданного качества получаемых целевых продуктов.

Ректификационная колонна представляет собой сложный взаимосвязанный объект. Функциональная схема установки приведена в приложении А. Уровень автоматизации, представленный в приложении, соответствует базовому уровню. Все незадействованные в этой модели параметры установки не показаны.

Данная система обеспечивает стабилизацию состава дистиллята и поддержание материального и теплового балансов в установке. Основным регулятором, стабилизирующим состав дистиллята (при разделении бинарной смеси при постоянном давлении), является регулятор температуры верха колонны 6, воздействующий на отбор дистиллята. Регулятор температуры 1 стабилизирует температуру питания. Регуляторы уровня 8 и 5 обеспечивают поддержание баланса в системе по жидкой фазе, а регулятор давления 4 – по паровой фазе. Регулятор расхода 3 стабилизирует подачу греющего пара в кипятильник.

Если задачей регулирования является стабилизация состава кубового продукта, то расход греющего пара задается регулятором температуры низа колонны 2, а дистиллята стабилизируется регулятором 7. Одновременное регулирование составов верха и низа колонны обычно не применяют, так как эти координаты связаны между собой, и их одновременное регулирование по обратной связи может привести к снижению запаса устойчивости системы.

## 6.2. Выбор архитектуры и разработка структурных схем автоматической системы регулирования АРС типа

Основными техническими компонентами, входящими в состав любой автоматизированной системы, являются не только соответствующий управляющий программно-логический контроллер (ПЛК), но и такие изделия, как датчики и исполнительные механизмы, необходимые для выполнения функций системы.

Автоматизированная система ректификационной колонны построена по принципу открытой трехуровневой иерархии, которая включает в себя полевой уровень (нижний), контроллерный уровень (средний) и верхний уровень. Структурная схема комплекса аппаратно-технических средств АСУ ТП представлена на рисунке 15.

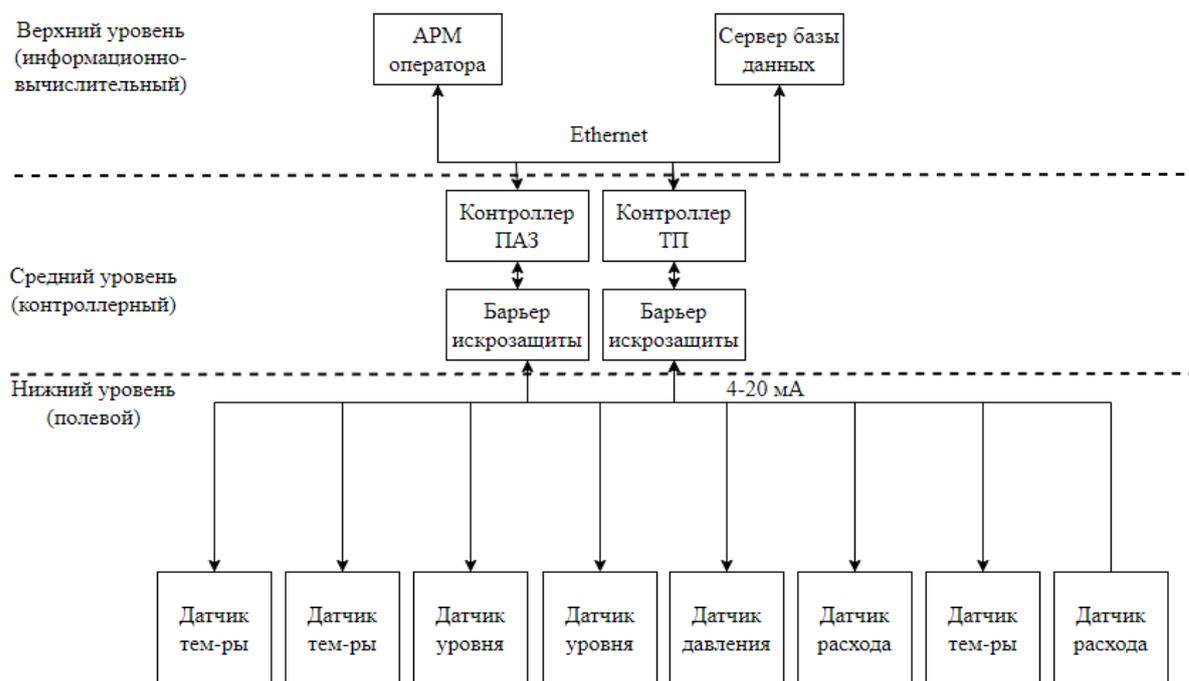


Рисунок 15 – Структурная схема

## 6.3. Разработка системы автоматического регулирования переменной объекта управления

На первом этапе разработки САР переменной объекта управления была разработана структурная схема САР (рисунок 16), она включает в себя такие

элементы как: задающее устройство, ПЛК на основе ПИД-регулятора, частотный преобразователь, исполнительный механизм, который в свою очередь состоит из электропривода и регулирующего клапана, уровнемер и объект управления, которым является непосредственно сама колонна.



Рисунок 16 – Структурная схема САР контроля уровня

Принцип работы замкнутого контура регулирования заключается следующем: уровень в колонне измеряется уровнемером, сигнал с которого поступает на ПЛК и сравнивается с заданным значением. Затем вычисляется разность между измеренным значением и заданным, т.е. ошибка регулирования. Вычисленный сигнал ошибки регулирования поступает на ПИД-регулятор, с ПИД-регулятора сигнал поступает на частотный преобразователь, который в свою очередь регулирует частоту вращения электропривода. На электропривод сигнал поступает с частотного преобразователя, электропривод оказывает воздействие на регулирующий клапан, который влияет на величину подачи воды в РК.

Передаточная функция ректификационной колонны в общем случае имеет вид:

$$W_{\text{РК}}(p) = \frac{ke^{-0.05(n-1)\tau}}{\tau p + 1},$$

где  $k$  – передаточный коэффициент уровень/расход, мс/кг

$n$  – число тарелок участка колонны

$\tau$  – постоянная времени перелива

Согласно методике Френсиса, постоянная времени перелива:

$$\tau = \frac{2}{3} F \frac{h_{\text{ж.ср.}}}{L},$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения тарелки, м<sup>2</sup>;

$h_{ж.ср.}$  - средний уровень жидкости на тарелке, м;

$L$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с.

Технические характеристики однопоточной колонны типа ТКП:

- диаметр колонны, мм	1600;
- свободное сечение колонны, м <sup>2</sup>	2.01;
- рабочее сечение тарелки, м <sup>2</sup>	1.47;
- периметр слива, м,	1.26;
- сечение перелива, м <sup>2</sup>	0.27;
- шаг, мм	75;
- относительное свободное сечение тарелки, %	13.23;
- число рядов клапанов на потолок	10.

Тогда постоянная времени перелива:

$$\tau = \frac{2}{3} 1.47 \cdot \frac{1.26}{0.42} = 2.94.$$

Передаточная функция ректификационной колонны:

$$W_{PK}(p) = \frac{k}{\tau p + 1} = \frac{0.05}{2.94p + 1}.$$

Регулирующий клапан был записан как интегральное звено:

$$W(s) = \frac{k_{кл}}{s}.$$

Для расчета коэффициента передачи примем, что при номинальной скорости вращения выходного вала электропривода – 40 об/мин (0,6 об/сек), затвор клапана перемещается вверх на 0,01 м. Тогда коэффициент передачи:

$$k_{кл} = \frac{0,01}{0,6} \approx 0,02 \frac{м}{об/с}.$$

ПФ клапана:

$$W(s) = \frac{0,02}{s}.$$

Передаточная функция электропривода может быть представлена в виде апериодического звена первого порядка:

$$W_{\text{дс}}(s) = \frac{K_{\text{дс}}}{T_{\text{дс}} \cdot s + 1} = \frac{0,054}{1,5 \cdot s + 1}$$

Частотный преобразователь тоже был представлен апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{чп}}(s) = \frac{K_{\text{чп}}}{T_{\text{чп}} \cdot s + 1} = \frac{2,5}{0,1 \cdot s + 1}$$

Далее была разработана модель САР в программном обеспечении Matlab Simulink R2020b (рисунок 17).

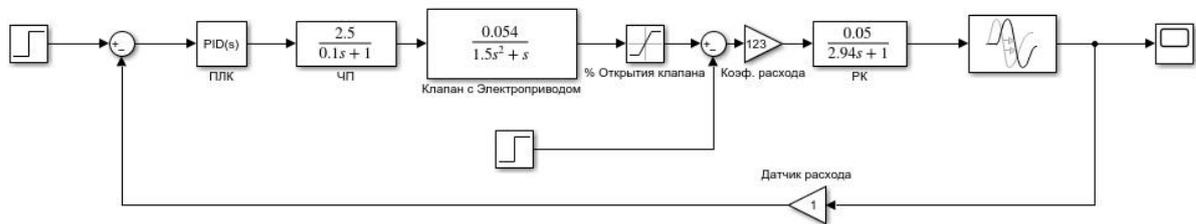


Рисунок 17 – Модель САР

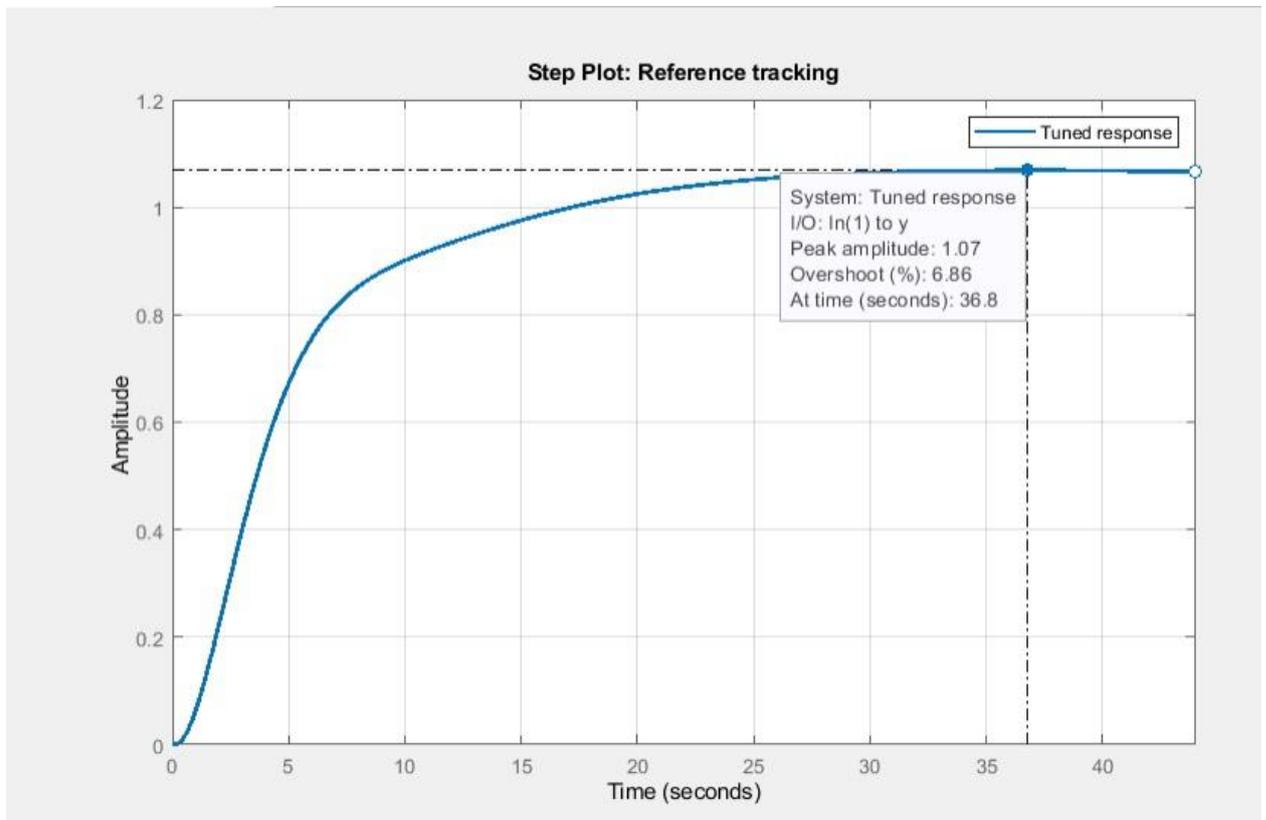


Рисунок 18 – Переходный процесс

Анализируя полученные качества переходного процесса (перерегулирование в районе 7 % и время переходного процесса равное 37 секундам) можно сделать вывод, что система устойчива и работоспособна.

#### **6.4. Разработка схем внешних проводок РК**

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой изображены электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом, инженерном оборудовании и коммуникациях (трубопроводах, воздуховодах и т.д.), вне щитов и на щитах, а также связи между щитами, пультами, комплексами или отдельными устройствами комплексов [10].

Сигналы, приходящие со всех датчиков и исполнительных механизмов, по контрольным кабелям поступают в клеммные соединительные коробки, откуда они попадают на щит оператора. Клеммная соединительная коробка (КСК) предназначена для соединения кабелей при монтаже различного технологического оборудования.

Схема внешней проводки для ректификационной колонны показаны в приложении В.

#### **7. SCADA для ректификационной колонны**

SCADA-система предназначена для диспетчерского контроля, а также сбора необходимых данных. SCADA-системы позволяют вести постоянный мониторинг и контроль удаленных объектов. Главной задачей системы является сбор данных о большом количестве удаленных объектов, которые поступают с пункта контроля, а также для отображения данной информации в едином пункте контроля. Данная система позволяет не только наблюдать за устройством, а также управлять им. 85% данных, которые используются аналитическими инструментами, например: программное обеспечение управления эффективностью активов или программное обеспечение управления операциями, поступают «с поля». Важно, что корректная настройка уровня автоматизации нужна с целью обеспечения способности принятия решений в Индустрии 4.0.

Главная задача программного обеспечения для автоматизации заключается в том, чтобы обеспечить оператору окно в приложении вместе с мнемосхемами, представлениями сигналов, алармами и т. д. Но новейшие технологии делают HMI / SCADA более сильным инструментом, довольно простым в применении и наиболее «подключенными». Разработанная SCADA-система отображена в приложении Б.

## **8. Анализ полученных результатов**

В основной части выпускной квалификационной работы были изучены свойства и состав нефти, а также операции по подготовке нефти на промысле, создана структурная схема нефтеперерабатывающего завода по технологическому регламенту, а также была разработана функциональная схема. Было проведено математическое моделирование системы. Был изучен принцип работы, конструкция и создана 3D-модель ректификационной колонны, а также была разработана схема соединений внешних проводок для ПК. Были описаны параметры, контролируемые в ректификационной колонне, а также описаны приборы для измерения параметров, приведена сравнительная характеристика. Составлена и описана схема автоматизации ректификационной колонны, разработана и подготовлена SCADA-система для ректификационной колонны.

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

### 9.1. Потенциальные потребности результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования являются коммерческие организации в нефтегазовой отрасли, в частности нефтеперерабатывающие заводы, предприятия. Научное исследование рассчитано на крупные предприятия. Для данных предприятий разрабатывается автоматизированная система управления ректификационной колонны (РК). Разработанная автоматизированная система управления должна обеспечивать автоматизированный и дистанционный контроль и управление в реальном времени технологическим процессом ректификации нефти, а также контроль уровня сырья, его нахождения в заданных нормативных пределах.

В таблице 6 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика, направление деятельности. Буквами обозначены компании: «А» – ООО «Томская нефть», «Б» – ОАО «Газпромнефть – Восток», «В» – Непубличное АО «Микран».

Таблица 6 – Сегментирование рынка

		Направление деятельности		
		Разработка АСУ ТП	Выполнение проектов строительства	Внедрение SCADA систем
Размер компании	Мелкая	Б, В	А, Б	В
	Средняя	Б, В	А, Б	Б, В
	Крупная	В	А	В

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: разработка АСУ ТП и внедрение SCADA-систем для средних и крупных компаний.

## 9.2. Анализ конкурентных технических решений

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

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. В таблице 7 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 7 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>Р</sub>	Б <sub>К1</sub>	Б <sub>К2</sub>	К <sub>Р</sub>	К <sub>К1</sub>	К <sub>К2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности	0,15	3	4	3	0,45	0,6	0,45
2. Простота эксплуатации	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45

3. Надежность	0,25	5	3	2	1,25	0,75	0,5
4. Точность измерения	0,15	4	2	3	0,6	0,3	0,45
5. Безопасность	0,2	4	2	1	0,8	0,4	0,2
6. Универсальность	0,1	4	2	1	0,4	0,2	0,11
<b>Экономические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Цена	0,05	1	4	5	0,05	0,2	0,25
2. Срок службы	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
3. Затраты на обслуживание	0,07	3	4	4	0,21	0,28	0,28
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>33</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>4,79</b>	<b>3,38</b>	<b>2,97</b>

Анализ конкурентных технических решений рассчитываем по формуле

(1):

$$K = \sum B_i + B_i, \quad (1)$$

Где,  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В ходе анализа конкурентных технических решений была составлена оценочная карта, где были выделены наиболее важные критерии оценки как технические, так и экономические.

### 9.3. SWOT-анализ

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

Таблица 8 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны:</b> С1. Простота настройки и эксплуатации системы.	<b>Слабые стороны:</b> Сл1. Отсутствие прототипа проекта.
--	---	--

	<p>C2. Возможность передачи информации на большие расстояния</p> <p>C3. Универсальность.</p> <p>C4. Возможность модификации.</p> <p>C5. Использование SCADA-систем.</p>	<p>Сл2. Отсутствие необходимого оборудования.</p> <p>Сл3. Большой срок поставок используемого оборудования.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>V1. Модернизация процесса ректификации.</p> <p>V2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>V3. Использование существующего программного обеспечения.</p> <p>V4. Растет роль автоматизации технологических систем в промышленности растёт.</p>	<p>V1C4. Позволит компании легко модифицировать систему.</p> <p>V1C1C2. Позволит достичь одну из лучших технических и временных показателей системы.</p> <p>V4C3C5. Увеличение функциональных и технических возможностей работы ПК.</p>	<p>V1Сл1. Проведение испытаний и тестов на предприятии, которое заинтересовано в инновациях.</p> <p>V3Сл3. Длительный отрезок времени без технологии.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Повышение цен.</p>	<p>У4С3. Использовать продукцию отечественного производителя.</p> <p>У2С4. Модификация производства, что позволит снизить стоимость себестоимости</p>	<p>У1Сл1. Провести испытания системы и показать её успешность.</p>

У3. Захват внутреннего рынка иностранными компаниями.	нефти У1С1С2С3С4С5. Продвигать продукцию	
У4. Ограничения на экспорт.	опираясь на её преимущества.	

– Чтобы уменьшить влияние Сл1, разрабатываемая система прорабатывается детально, а также подвергается отладке на этапах разработки проекта.

– Большой срок поставок используемого оборудования связан с наличием оборудования у поставщика и местонахождения, чтобы уменьшить влияние Сл3, нужно провести исследование аналогов на местном рынке.

## **10. Планирование научно-исследовательских работ**

### **10.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Постановка целей и задач, получение исходных данных	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Постановка целей и задач работы	Руководитель, Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер
Проектирование автоматизированной системы	6	Описание технологического процесса	Инженер
	7	Разработка структурной схемы АС	Инженер
	8	Разработка функциональных схем АС	Инженер
	9	Выбор архитектуры АС	Инженер
	10	Разработка схемы соединения внешних проводок	Инженер
	11	Выбор алгоритма управления АС	Инженер
	12	Разработка экранных форм АС	Инженер
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Инженер

Из таблицы 9 можно заметить, что в основном работа была проделана самостоятельно, а некоторые этапы – совместно с руководителем.

## 10.2. Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости  $t_{ож\ i}$  используется следующая формула:

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

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями по формуле 3. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней были переведены в календарные дни по формуле 4.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

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

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

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

Получили, что  $k_{\text{кал}} = 1,221$ .

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округлены до целого числа. Все рассчитанные значения были занесены в таблицу 10.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{p_i}$	Длительность работ в календарных днях $T_{k_i}$		
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ож}}$ , чел-дни					
	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель
Составление и утверждение технического задания	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2
Подбор и изучение материалов по теме	2	1	4	3	2,8	1,8	1,4	0,9	2	1
Выбор направления исследований	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1

Постановка целей и задач работы	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1	
Описание технологического процесса	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3	-	
Разработка структурной схемы АС	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3	-	
Разработка функциональных схем АС	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	6	-	
Выбор архитектуры АС	6	-	12	-	8,4	-	8,4	-	10	-	
Разработка схемы соединения внешних проводов	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	3	-	
Выбор алгоритмов управления АС	6	-	9	-	7,2	-	7,2	-	9	-	
Разработка экранных форм АС	6	-	10	-	7,6	-	7,6	-	9	-	
Составление пояснительной записки	6	2	10	5	7,6	3,2	3,8	1,6	5	2	
Итого:								42,1	5,6	51	7

### 10.3.Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научных работ представлен в форме диаграммы Гранта, которая представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ ра-	Вид работ	Ис-	$T_{k_i}$	Продолжительность выполнения работ
-------	-----------	-----	-----------	------------------------------------

				Март			Апрель			Май			Июнь
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2	▨									
2	Подбор и изучение материалов по теме	Р, И	1 2	▨ ■									
3	Выбор направления исследований	Р, И	1 1	▨ ■									
4	Постановка целей и задач работы	Р, И	1 1	▨ ■									
5	Календарное планирование работ по теме	Р, И	1 1	▨ ■									
6	Описание технологического процесса	И	3		■								
7	Разработка структурной схемы АС	И	3			■							
8	Разработка функциональных схем АС	И	6				■						
9	Выбор архитектуры АС	И	1 0				■						
10	Разработка схемы внешних проводок	И	3					■					
11	Выбор алгоритмов управления АС	И	9						■				
12	Разработка экранных форм	И	9							■			
13	Составление пояснительной записки – руководитель	Р, И	2 5									▨ ■	



■ – инженер

#### 10.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

#### 10.5. Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, m \quad (6)$$

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

$N_{расxi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 12 сведены сведения о материальных затратах на научные исследования.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Ноутбук	шт.	1	41 000	41 000
Итого	41 000			

#### 10.6. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Результаты расчетов по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	AutoCAD 2022	1	16 667	16 667
2	Microsoft Office	1	9 978	9 978
3	MATLAB	1	6 737	6 737
4	TRACE MODE IDE6 (base)	1	6 976	6 976
Итого:				40 358

### 10.7. Основная заработная плата исполнителей темы

В данной работе учитывается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Учитывается основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, и дополнительная заработная плата:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (7)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{он} + T_p, \quad (8)$$

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

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

$Z_{он}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_D}, \quad (9)$$

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.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (Фд)	243	271

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\delta}) \cdot k_p, \quad (10)$$

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

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\delta}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{np}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$З_m$ , руб.	$З_{\partial n}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	32962	0,3	0,3	1,3	68560,96	2934,3	5,6	16432,1
Инженер	19200	0,3	0,3	1,3	39936	1532,6	42,1	64522,5
Итого:								80954,6

У студента заработная плата выше, т.к. число рабочих дней, затраченных на разработку, больше.

### 10.8. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\partial on} = k_{\partial on} \cdot З_{осн}, \quad (11)$$

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

В таблице 16 представлен расчет дополнительной заработной платы.

Таблица 16 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$З_{осн}$ , руб	$k_{\partial on}$	$З_{\partial on}$ , руб
Руководитель	16432,1	0,12	1971,9
Студент	64522,5	0,12	7742,7
Итого:			9714,6

Поскольку расчет дополнительной заработной платы представляет собой умножение основной заработной платы на коэффициент, то результат получился схожим с тем, что мы получили при расчёте основной заработной платы.

### 10.9. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{\partial on}), \quad (12)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработанная плата, руб.	Дополнительная заработанная плата, руб.
Руководитель	16432,1	1971,9
Студент	64522,5	7742,7
Отчисления во внебюджетные фонды	30 %	
Итого		
Руководитель	5521,2	
Студент	21679,6	
Итого	27200,8	

По итогу отчисления во внебюджетные фонды составит: 27200,8 руб.

#### 10.10. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (13)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов возьмем в размере 16%.

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (39290 + 40358 + 80954,6 + 9714,6 + 27200,8) = 31602,88 \text{ руб.}$$

#### 10.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	41 000
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	40 358
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	80954,6
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9714,6
5. Отчисления во внебюджетные фонды	27200,8
6. Накладные расходы	31602,9
7. Бюджет затрат НТИ	232120,9

В ходе формирования бюджета затрат на НТИ вышло, что затраты составляют: 232121 руб.

### 10.12. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (14)$$

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

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

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

$\Phi_{max}$  зависит от сложности проекта, который разрабатывается для компании заказчика. На сложность проекта влияет огромное количество факторов, поэтому достоверно оценить величину  $\Phi_{max}$  невозможно. Примем, что стоимость выполнения проекта автоматизации УПСВ в компании «ЭлМетро» равняется 240000 руб., а в компании «Вымпел» – 260000 руб.

Расчет интегрального финансового показателя разработки представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет интегрального финансового показателя разработки

Исполнитель	$\Phi_{pi}$	$\Phi_{max}$	$I_{финр}^{студент}$	$I_{финр}^{«ЭлМетро»}$	$I_{финр}^{«Вымпел»}$
Студент с руководителем	232121 руб.	260000 руб.	0,89	0,92	1
«ЭлМетро»	240000 руб.				
«Вымпел»	260000 руб.				

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Студент с преподавателем	«ЭлМетро»	«Вымпел»
Критерии				
Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	4	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,3	4	5	4
Помехоустойчивость	0,05	5	4	4
Энергосбережение	0,05	5	4	5
Надежность	0,15	4	4	4
Материалоемкость	0,15	4	5	4
Итого	1			

Значения интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Значения интегрального показателя ресурсоэффективности

$I_{студент}$	$I_{\text{«ЭлМетро»}}$	$I_{\text{«Вымпел»}}$
4,4	4,45	4,35

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}}$$

Значения интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Значения интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки

$I_{исп.студент}$	$I_{исп.\text{«ЭлМетро»}}$	$I_{исп.\text{«Вымпел»}}$
5,17	4,83	4,35

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{Э}_{ср.i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.студент}}$$

В таблице 23 представлена сравнительная эффективность разработки.

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разработанный вариант	«ЭлМетро»	«Вымпел»

Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,92	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,45	4,35
Интегральный показатель эффективности	5,17	4,83	4,35
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,93	0,84

Из полученных данных, следует, что система, разработанная студентом и руководителем, наиболее эффективна.

### **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В данном разделе оценены экономические аспекты разработки исследуемой автоматизированной системы управления ректификационной колонны:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка имеет наименьшую конкуренцию на рынке услуг по автоматизации ТП у крупных и мелких компаний.

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Среди выявленных конкурентов: ООО «ЭлМетро» и ООО «Вымпел». Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкурентам уровню шума и затратам на оборудование, однако выигрывает за счёт ремонтпригодности, надёжности, точности измерения и возможности гибкого модифицирования.

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: отсутствие спроса на новые технологии, повышение цен, захват внутреннего рынка иностранными компаниями, а также ограничения на экспорт. Возможные пути

снижения влияния выявленных угроз представлены при составлении матрицы SWOT.

4. При планировании научно-исследовательских работ была определена структура работ в рамках научного исследования, по результату чего можно говорить о том, что большинство работ было проделано самостоятельно. Также разработан график проведения научного исследования в виде диаграммы Ганта. Из диаграммы видно, что практическая часть всего исследования занимает порядка двух календарных месяцев. Это связано с целью провести более детальное проектирование разработки.

5. В процессе расчёта бюджета НТИ было выявлено, что затраты на заработную плату студента выше, чем у руководителя. Это связано с тем, что у студента при меньшем окладе, большее число рабочих дней. Также в общем бюджет, требуемый для проведения научно-технического исследования, составил 232121 руб.

При оценке эффективности исследования было выявлено, что разработанный проект автоматизации управления ректификационной колонны достаточно эффективен среди таких крупных компаний, как «ЭлМетро» и «Вымпел».

## **11. Социальная ответственность**

На сегодняшний день нефтегазодобывающая промышленность России – это не только добыча ресурсов из недр земли, но и система комплексов по очистке сырья и производству продукции. И огромная роль в данной индустрии отводится специализированным автоматизированным системам.

Одной из основных задач автоматизации является функционирование технологического процесса с наименьшим участием человека, а также сохранение производительности труда и эффективности процессов путем улучшения рабочих условий персонала и минимизации воздействия производственных мощностей на окружающую природную среду.

С одной стороны, безопасность жизнедеятельности на производстве позволяет обеспечить защиту трудящегося, благодаря соблюдению норм и правил, устанавливающих оптимальные значения температуры, влажности, вибрации и других параметров, с другой – экологический инжиниринг, который посредством организационных и правовых действий старается уменьшить число вредоносных факторов, влияющих на природу. Соблюдение техники безопасности при работе с установками поможет уберечь сотрудника от опасностей и рисков, которые могут возникнуть на рабочем месте. Особенно, если технологический процесс происходит с участием взрывоопасных жидкостей и газов, которые могут повлиять на возникновение пожаров, взрывов.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является ректификационная колонна на нефтеперерабатывающем заводе. Данная установка применяется для разделения бинарных, многокомпонентных или непрерывных смесей на практически чистые компоненты или их смеси.

Целью данной работы является разработка эффективной автоматизированной системы управления ректификационной колонны.

Рабочей зоной являются технологическая площадка ректификационной колонны, диспетчерская.

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: программируемый логический контроллер, датчики, регуляторы.

Конечным пользователем разрабатываемой АСУ ТП ректификационной колонны будут операторы технологических установок.

### **11.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В трудовом кодексе РФ от 05.02.2018 N 8-ФЗ содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и так далее. Оператор исходя из трудового кодекса имеет право на сокращенную продолжительность рабочего времени, для работников в возрасте от шестнадцати до восемнадцати лет - не более 35 часов в неделю. При непрерывном функционировании установки имеется ночная смена с 22 до 6 часов. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно Федеральному закону от 28 декабря 2013 года N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» условия труда оператора технологических установок относится ко второму классу (допустимые условия труда).

Согласно ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». При создании рабочего места оператора следует учитывать:

- рабочую позу человека-оператора;
- пространство для размещения человека-оператора;
- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором.

Также стоит принимать во внимание, что рабочее место должно иметь достаточное пространство для осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. Все требуемые органы управления и индикаторы автоматизированного рабочего места должны быть группированы и полностью расположены в зоне досягаемости рабочего.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы. Так как, основная работа оператора заключается в управлении процессом с помощью SCADA-системы, поэтому экран монитора следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от сагиттальной плоскости. Часто используемые источники информации должны быть расположены под углами  $30^\circ$ , а редко используемые –  $60^\circ$ .

## 11.2. Производственная безопасность

Управление ректификационной колонной осуществляется операторам технологических установок с автоматизированного рабочего места. Перечень опасных и вредных факторов, присутствующих при работе оператора технологических установок согласно ГОСТ 12.0.003-2015 представлен в таблице 24. Таблица 24 – Возможные опасные и вредные факторы в операторской АСУ ТП

Факторы (ГОСТ 12.0.003-215)	Нормативные документы
1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
2. Повышенный уровень шума	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
3. Повышенный уровень общей вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

4. Электромагнитное поле промышленной частоты (50-60 Гц)	СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»
5. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

### **11.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

#### **11.3.1 Повышенный уровень шума**

Источниками шума в РК являются насосы, вентиляторы на ЭВМ оператора и в шкафе местного управления, шум протекания нефти по трубам.

При работе с повышенным уровне шума появляются профессиональные болезни такие как тугоухость, нервные и сердечно-сосудистые заболевания. Предельно допустимые уровни звука и звукового давления в октавных полосах частот на рабочих местах представлен в таблице 25, согласно СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (пункт 6).

Таблица 25 – Предельно допустимые уровни звука и звукового давления

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Для источников постоянного шума									Для источников непостоянного шума		
		Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука, скорректированный по А. $L_A$ , дБ	Эквивалентный скорректированный по А уровень звука $L_{Aэкв}$ , дБ	Максимальный скорректированный по А уровень звука $L_{Aмакс}$ , дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
I Предельно допустимые октавные уровни звукового давления, дБ; уровни звука, скорректированные по А, дБ; эквивалентные и максимальные уровни звука, скорректированные по А, дБ, на рабочих местах в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках промышленных предприятий для основных видов трудовой деятельности													
1 Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий	–	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65	65	80

Для снижения уровня шума необходимо выполнить ряд действий: провести звукоизоляцию рабочего места если установка ПК находится в непосредственной близости к рабочему месту оператора и предоставить оператору средства индивидуальной защиты (беруши).

### **11.3.2 Электромагнитное поле промышленной частоты**

Работа оператора АСУ ТП в основном связана с работой за персональным компьютером. В следствие чего на него оказывается воздействие электромагнитного излучения, источниками которого являются системный блок и кабели, соединяющие электрические цепи. Электромагнитные излучения оказывают негативное влияние на сердечно-сосудистую, нервную и эндокринную систему, а также могут привести к раковым заболеваниям. Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».

Для снижения воздействия данного типа излучения предпринимают меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение специализированных очков от электромагнитного излучения.

### **11.3.3 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Питание многих элементов установки, происходит от сетевого напряжения 220 В, некоторые модули питаются от 12 В или 24 В, поэтому существует вероятность поражения человека данным напряжением. Несоблюдение правил ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» может привести к смертельному исходу. Поражение зачастую происходит из-за контакта человека с оголенными проводами или частями цепей, в которых остался заряд, например, при работе с электроприводами регулирующих клапанов используется преобразователь частоты, в котором имеются конденсаторы, сохраняющие напряжение даже после отключения системы.

Действие электрического тока на организм человека может быть тепловым (ожоги), механическим (разрыв тканей, растрескивание костей), химическим (электролиз), и биологическим (нарушение функций нервной системы и управляемых ею процессов в живом организме). Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц, соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА.

Чтобы избежать воздействия тока на организм следует:

- использовать изоляцию надлежащего качества, в некоторых случаях – двойную;
- использовать диэлектрические перчатки и прорезиненную обувь;
- проводить плановые проверки и ремонт электропроводки и электрооборудования;
- всё электрическое оборудование и составляющие электроустановок должны быть заземлены.

#### **11.3.4 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения.

Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же, как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

В помещении операторной в качестве искусственного освещения используются светильники с люминесцентными лампами. Нормы освещенности приведены в СП 52.13330.2016, освещенность рабочего места оператора АСУ должна составлять (300 – 500) Лк. при общем освещении.

Коэффициент пульсации освещения — параметр, который отражает силу изменения светового потока, направляемого на единицу поверхности в определенный временной промежуток.

Стоит учесть, что существующими санитарными правилами установлен верхний лимит на параметр коэффициента пульсации. В месте организации рабочего места он не должен быть выше 20% [12]. При этом, чем более ответственный вид деятельности у работника, тем ниже должен быть этот параметр.

Для офисных помещений и административных зданий, где подразумевается напряженный зрительный труд, коэффициент пульсации не должен быть больше 5% [12].

При этом опасность света как раз и заключается в том, что его нельзя распознать, но результатом действия может стать расстройство сна, слабость, депрессия, сбои в работе сердца, дискомфорт и так далее.

В зимний период вследствие укороченного светового дня и недостаточного естественного освещения необходимо использовать искусственное освещение. Освещенность рабочего места в норму достигается периодическим мытьем окон, подстриганием веток деревьев.

### **11.3.5 Повышенный уровень общей вибрации**

Анализ показателей норм вибрации определяется в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 на рабочем месте оператора технологических установок присутствует общая производственная вибрация (технологическая вибрация на стационарных рабочих местах) [14].

Длительное воздействие вибрации высоких уровней на организм человека приводит к развитию преждевременного утомления, снижению производительности труда, росту заболеваемости и нередко к возникновению профессиональной патологии – вибрационной болезни.

При внедрении автоматизированной системы управления ректификационной колонной вибрация может появиться вследствие наличия вибрации

на участке с объектами управления, которая передается в операторное помещение.

Предельно допустимые значения вибрации для автоматизированного рабочего места оператора ректификационной колонны представлены в таблице 3.

Таблица 26 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест для оператора технологической установки согласно СанПиН 1.2.3685-21

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентный скорректированные уровни виброускорения	
				$m/c^2$	дБ
Общая	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах	$Z_0$	$W_k$	0,1	100
		$X_0, Y_0$	$W_d$	0,071	97

Для снижения воздействия этого фактора используются: виброизолирующие рукавицы и виброизолирующая обувь.

#### 11.4. Экологическая безопасность

Атмосфера. Источником загрязнения являются легкие фракции углеводородов, которые могут испаряться в окружающую среду при недостаточной герметичности частей установки. Основной метод предупреждения – модернизация систем транспорта и поддержания их в оптимальном состоянии благодаря постоянной проверке всех основных узлов системы: резервуаров, трубопроводов. Добиться этого можно, если своевременно устранять неплотности в конструкциях и соединительных швах резервуаров, постоянно проверять наличие прокладок во всех соединениях труб, контролировать качество используемой аппаратуры.

Литосфера. Загрязнение почвы нефтехимическими веществами может возникать в случае аварийных ситуаций (разливов вдоль трасс трубопроводов и утечек нефти), при ремонте оборудования, при зачистке трубопроводов. Загрязненный грунт с нефтепродуктами вывозится в места, согласованные с санитарной инспекцией, для нейтрализации и дальнейшего закапывания. Замазочная ветошь, тряпки собираются и сжигаются за территорией установки, в местах, согласованных с пожарным надзором для того, чтобы предотвратить загрязнение почв.

Селитебная зона. Воздействие на селитебную зону не происходит.

Гидросфера. Попадание нефти в водоемы может возникать в случае аварий, утечек или ремонта. С целью охраны водоемов от попадания загрязненных стоков, все промышленные стоки направляются по системе трубопроводов на очистные сооружения с последующей подачей их в систему поддержки пластового давления.

### **11.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В процессе эксплуатации ректификационной колонны возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций: утечка сырья, пожар, взрыв, геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории).

Наиболее вероятным ЧС может являться пожар – это неконтролируемое горение вне специального очага.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» был определен класс возможного пожара: пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением (Е) [15].

Источником возникновения пожара может послужить:

- короткое замыкание электрической цепи приборов;
- переполнение при наливе резервуара, что приводит к предельной концентрации взрывоопасной смеси под верхней крышей резервуара;

- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- нагрев резервуаров в летний период.

Согласно требованиям, СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов [13]. Требования пожарной безопасности» пожарная безопасность должна обеспечиваться за счет:

- предотвращения разлива и растекания нефти;
- предотвращения образования на территории где находится ректификационная колонна горючей паровоздушной среды и предотвращение образования в горючей среде источников зажигания;
- противоаварийной защиты, способной предотвратить аварийный выход нефти из резервуаров, оборудования, трубопроводов;
- организационных мероприятий по подготовке персонала, обслуживающего ректификационную колонну, к предупреждению, локализации и ликвидации аварий, аварийных утечек, а также пожаров и возгораний.

Управлять пожарной сигнализацией можно с операторской или в ручном режиме по месту. При возникновении пожара система пожаротушения срабатывает автоматически.

В случае возникновения пожара на ректификационной колонне необходимо:

1. Покинуть место пожара;
2. Прекратить подачу электроэнергии;
3. Прекратить подачу нефтяной смеси в колонну;
4. Руководствоваться инструкциями по противопожарной безопасности, разработанными на эксплуатирующем предприятии.

Основными огнетушащими веществами являются пенные составы, имеющие меньшую с нефтепродуктами плотность, покрывающие поверхность горячей жидкости и блокирующие поступление кислорода в среду горения.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

Для данной установки категория пожарной опасности В – пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов. В случае обнаружения признаков горения (задымления, запах гари, повышение температуры) срочным образом сообщить в местную пожарную охрану следующую информацию: адрес объекта, место возникновения пожара и ФИО позвонившего. Своими силами приступить к тушению пожара и провести эвакуацию всех сотрудников.

### **Вывод по разделу**

Обеспечение безопасности на производстве является очень сложным и ответственным процессом, особенно это касается предприятий нефтегазовой отрасли, которая отличается своими повышенными рисками возникновения чрезвычайных ситуаций, а также имеет немалый спектр возможных вредных и опасных факторов, которые могут нанести вред жизни и здоровью рабочего персонала.

В результате выполнения данного раздела были определены меры обеспечения безопасности, которые снизят риски для работника и повысят его работоспособность. Было определено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Согласно ПУЭ помещение по электробезопасности относится ко второй категории (помещение с повышенной опасностью).

Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок должна иметь III группу по электробезопасности.

Согласно СП 12.13130.2009, помещение рабочей зоны относится к категории А (повышенная взрывопожароопасность) из-за легковоспламеняющихся жидкостей, обращающихся в помещении.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 определена IIa категория тяжести труда, это работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг)

изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения, диапазон температуры воздуха ниже оптимальных величин – 18-19,9°C, выше оптимальных величин – 22,1-27°C.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года, N2398 «Критерии отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» (с изменениями на 7 октября 2021 года) объект (ректификационная колонна), оказывающий значительное негативное воздействие на окружающую среду относится ко II категории.

## Заключение

В основной части выпускной квалификационной работы была проведена автоматизация ректификационной колонны на нефтеперерабатывающем заводе. Была приведена функциональная схема автоматизации в приложении А. Функциональная схема автоматизации отражает каким образом ректификационная колонна подключена к полемому уровню и более детально показано какие протоколы используется в определенных участках системы. Собрана САР для некоторого сектора схемы. Для информационного обеспечения был предоставлен полный список необходимого программного обеспечения.

Разработаны экранные формы для операторов и было выведено вся необходимая информация.

В «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» даны экономическое описание проекта, а именно затраты на разработку. Приведен график работ для инженера и руководителя проекта. Для них рассчитана заработная плата и время необходимое на выполнение проекта. Проведен конкурентный анализ среди аналогов и был сделан вывод что данная разработка является конкурентоспособной.

В «Социальной ответственности» приводятся меры для оптимальной работы сотрудника согласно с трудовым законодательством. Были подставлены вредные и опасные факторы на производстве. Проведено ознакомление профессиональных болезней. Предоставлены методы предотвращения. Уделено внимание на экологию. Для экологии определены опасные факторы, которые может сделать СИКН при неправильной работе телекоммуникационной сети и эксплуатации.

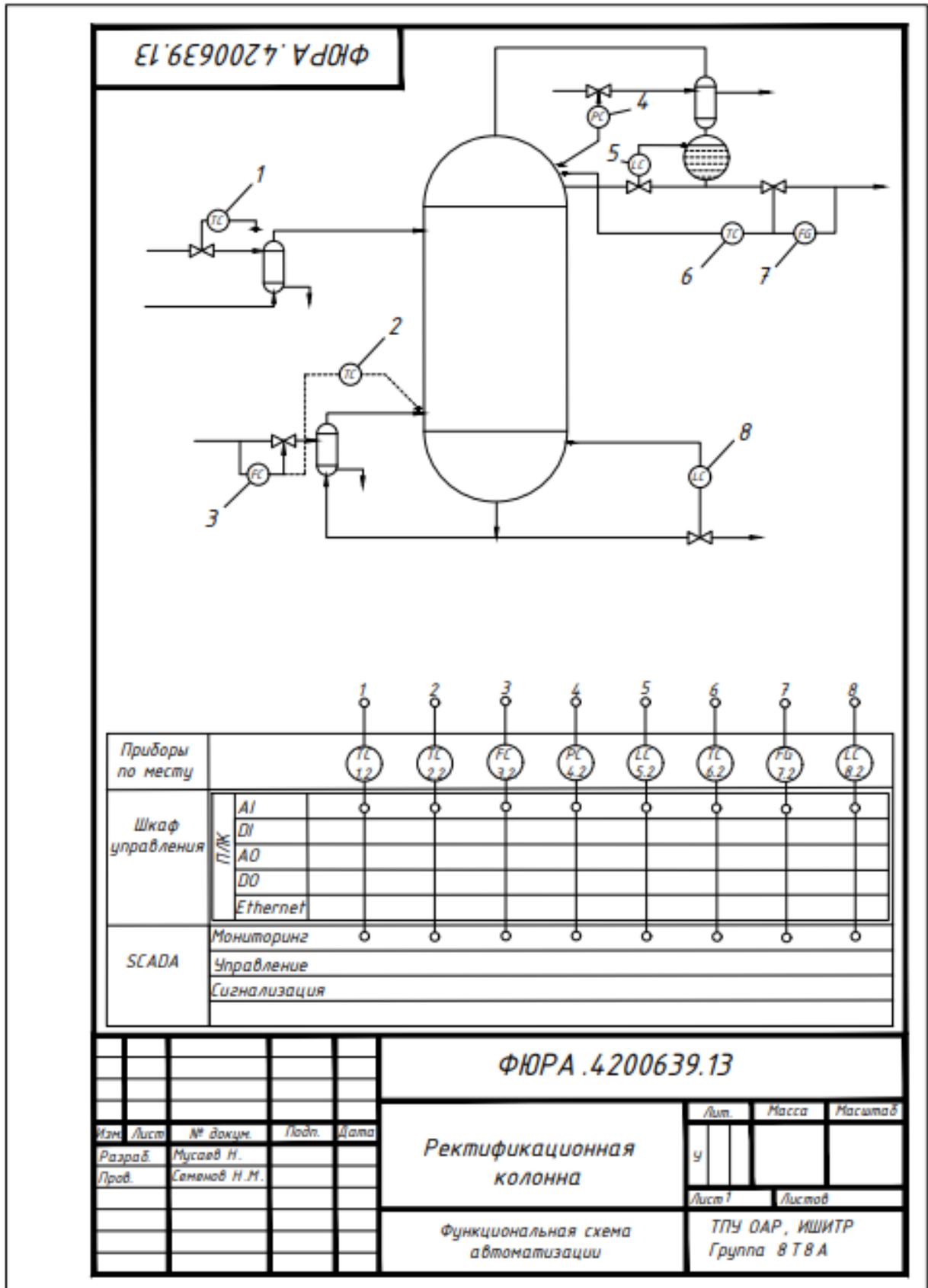
## Список используемой литературы

1. Сбор и подготовка нефти [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://vseonefti.ru/upstream/sbor-i-podgotovka-nefti.html>
2. Нефть и её промысловая подготовка [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D1%84%D1%82%D1%8C>
3. Нефтеперерабатывающий завод [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/pererabotka-nefti-i-gaza/142499-neftepererabatyvayushchiy-zavod-npz/>
4. Регулирование параметров работы ректификационных колонн [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://chem21.info/info/1854175/>
5. Руководство по эксплуатации МИГ [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <http://www.td-rashodomer.ru/catalog/rashodomery-schetchiki/turbinnye/mig.htm>
6. Руководство по эксплуатации Levelflex M FMP40 [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://www.pkimpex.ru/opisanie/urovneмер-levelflex-m-fmp40>
7. Руководство по эксплуатации GEORGIN S4000 [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://dmliefer.ru/content/georgin>
8. Руководство по эксплуатации GEORGIN [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://dmliefer.ru/katalog/kip/ustrojstva-izmerenij-davlenija>
9. САПР TRACE MODE 6: учебно-методическое пособие / А.А. Мезенцев, В.М. Павлов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 137 с.
10. Схема соединений внешних проводок [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293851/4293851760.htm>
11. Программируемый логический контроллер [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://www.compel.ru/lib/95591>

12. Естественное и искусственное освещение [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>
13. Склады нефти и нефтепродуктов [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948>
14. Повышенный уровень вибрации [Электронный курс] – Режим доступа: -URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
15. Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс] – Режим доступа: –URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644>
16. СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» [Электронный ресурс] – Режим доступа: –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948>

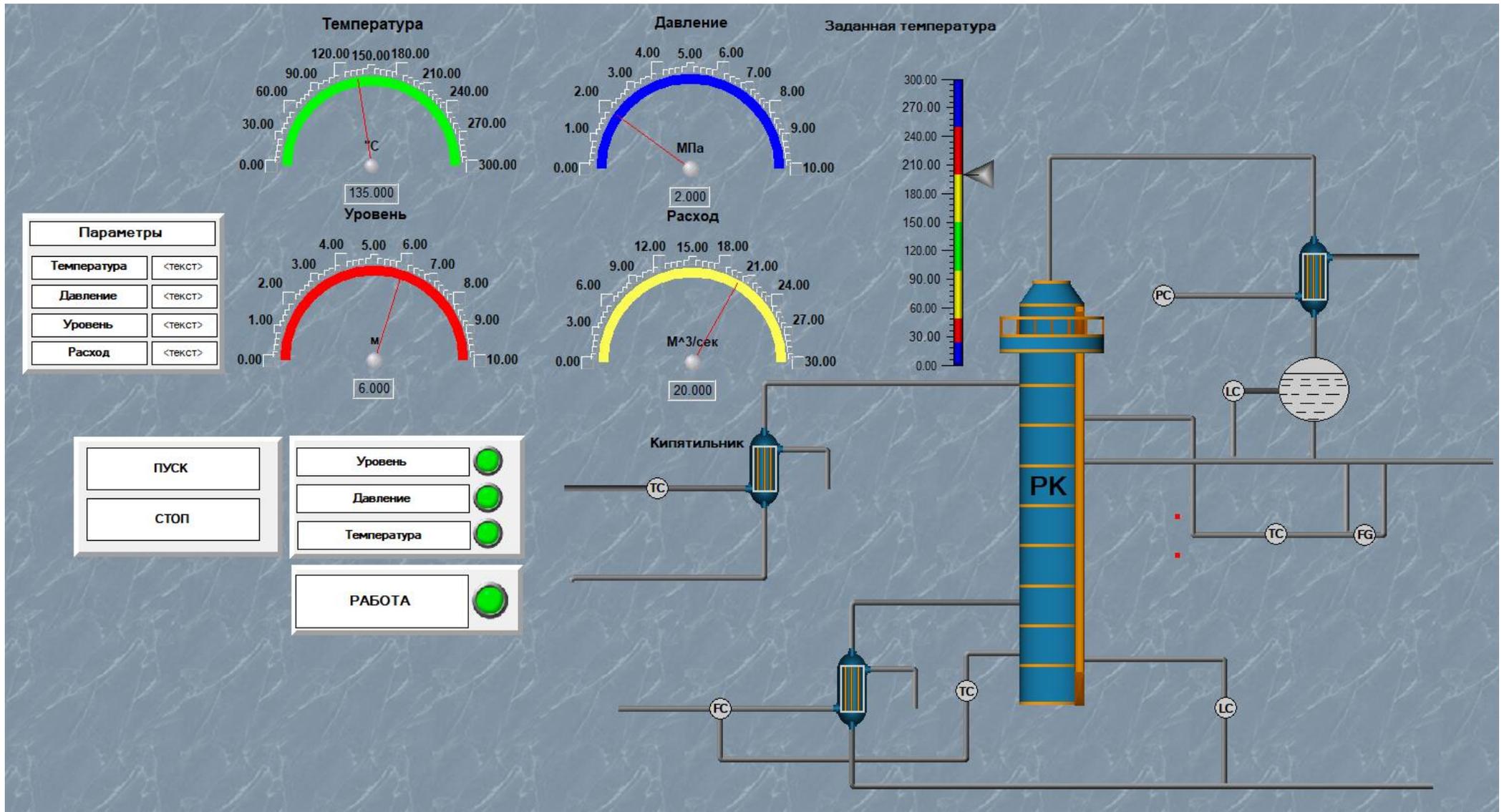
# Приложение А

## Функциональная схема автоматизации



# Приложение Б

## Экранная форма



## Приложение В

### Схема внешних проводов

