

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 - 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированный контроль контуров регулирования нефтехимического производства УДК 681.518.52:665.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Яненц Артур Александрович		3.06.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		3.06.2020

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н., доцент		3.06.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н., доцент		3.06.2020

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов Семён Викторович	к.т.н., доцент		3.06.2020

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код рез-та	Результат обучения  (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2, ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные</i>		
P7	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-8, ПК-11, ПК-16, ОПК-3, ОПК-6, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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 - 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Ефимов С.В.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8TM81	Яненц Артуру Александровичу

Тема работы:

Автоматизированный контроль контуров регулирования нефтехимического производства	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 59-41/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3.06.2020
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является модель технологического процесса переработки сырой нефти разработанная в Honeywell UniSim design suite.</p> <p>Целью магистерской диссертации является разработка и исследование автоматизированной системы мониторинга ключевых показателей эффективности контуров автоматического регулирования нефтехимического производства.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Подбор и изучение материалов по теме; описание технологического процесса; анализ методов мониторинга контуров управления; анализ влияния контуров управления на технологический процесс; разработка интерфейса вывода технологических параметров. разработка системы мониторинга технологического процесса на языке программирования С#; построение контрольных карт Шухарта с автоматическим анализом данных.</p>
--	---

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Горбенко Михаил Владимирович
Раздел на иностранном языке	Пичугова Инна Леонидовна

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
<p>Мониторинг производительности контуров управления; описание технологического процесса; описание контуров регулирования; описание программы мониторинга контуров</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>24.02.2020</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		24.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Яненц Артур Александрович		24.02.2020

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 - 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение (НОЦ) - Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3.06.2020
--	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
7.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
25.05.2020	Социальная ответственность	20
30.05.2020	Разработка системы автоматизированного контроля контуров регулирования нефтехимического производства	60

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		24.02.2020

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов Семён Викторович	к.т.н., доцент		24.02.2020

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ81	Яненц Артур Александрович

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	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	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 0,1 (см. МУ)

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

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

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ - выполнить
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - выполнить
8. Потенциальные риски

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	24.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский В.Ю.	к.э.н., ДОЦЕНТ		24.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Яненц Артур Александрович		24.02.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ТМ81	Яненц Артур Александрович

<b>Школа</b>	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение автоматизации и робототехники
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	Автоматизация технологических процессов и производств

**Тема ВКР:**

Автоматизированный контроль контуров регулирования нефтехимического производства	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является модель технологического процесса переработки сырой нефти разработанная в Honeywell UniSim design suite. Результатом работы является система мониторинга эффективности контуров управления с разработанная на языке программирования C#.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1.1 Организационные мероприятия по обеспечению безопасности трудящихся за персональным компьютером.

<p><b>2. Производственная безопасность</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>2.1 Рассмотрены вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– электромагнитные излучения;</li> <li>– ионизирующее излучение.</li> </ul> <p>2.2 Рассмотрены опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электрический ток;</li> <li>– пожаробезопасность.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>3.1 Рассмотрены негативно влияющие на экологию факторы при эксплуатации компьютера.</p> <p>3.2 Решения по обеспечению экологической безопасности согласно нормативным документам.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС на объекте: возгорание, взрыв, короткое замыкание. Наиболее распространённым типом ЧС является пожар.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н., доцент		24.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Яненц Артур Александрович		24.02.2020

## Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 112 страницах, содержит 43 рисунка, 10 таблиц, 21 источник литературы, 1 приложение.

Объектом исследования является модель технологического процесса переработки сырой нефти разработанная в Honeywell UniSim design suite.

Целью магистерской диссертации является разработка и исследование автоматизированной системы мониторинга ключевых показателей эффективности контуров автоматического регулирования нефтехимического производства.

В ходе выполнения данной работы были проведены:

- анализ методов мониторинга контуров управления;
- анализ влияния контуров управления на технологический процесс;
- оценка эффективности контуров управления;
- разработка интерфейса вывода технологических параметров;
- разработка системы мониторинга контуров управления на языке программирования C#;
- построение контрольных карт Шухарта с автоматическим анализом данных.

Для выполнения работы использовались программные продукты Microsoft Visio 2013, Honeywell UniSim design suite, Microsoft Visual Studio 2017.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

Ключевые слова: АСУ ТП, C#, система мониторинга, контрольные карты Шухарта, Honeywell UniSim, Windows Forms, технологический процесс, перегонка нефти, контура регулирования.

## Термины и определения

В работе используются следующие термины и определения:

**Автоматизированная система:** это совокупность аппаратных и программных средств. АС используется при управлении процессами в рамках технологического процесса.

**Интерфейс:** это набор правил и средств, обеспечивающих нормальное взаимодействие между устройствами, программными системами и между системой и пользователями.

**Технологический процесс:** это последовательные технологические операции, которые необходимы, чтобы выполнить определённый вид работ.

**Windows Forms:** интерфейс программирования приложений (API), отвечающий за графический интерфейс пользователя и являющийся частью Microsoft .NET Framework.

**Контур регулирования:** это система, состоящая из объекта регулирования и регулирующего устройства.

**Контрольная карта (карта Шухарта):** линейчатый график, построенный на основании данных измерений показателей процесса в различные периоды времени.

**Кавитация:** физический процесс образования пузырьков в жидких средах, с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии.

## Обозначения и сокращения

Применены следующие сокращения:

АС – Автоматизированная система;

ПО – Программное обеспечение;

САУ – Система автоматического управления;

СОИ – Система сбора и обработки информации;

ТП – Технологический процесс;

CLPM – Control loop performance-monitoring;

DA – Data access;

DCS – Distributed control system;

IoT – Internet of things;

KPI – Key Performance Indicators.

## Оглавление

Введение.....	16
1 Требования к системе мониторинга контуров управления .....	18
1.1 Требования к функциональным возможностям системы .....	18
1.2 Требования к техническому обеспечению .....	18
1.3 Требования к программному обеспечению.....	19
1.4 Требования к информационному обеспечению.....	19
2 Современные системы мониторинга производительности контуров управления .....	21
2.1 Обзор решений .....	21
2.2 Требования к мониторингу производительности контуров .....	22
2.3 Анализ производительности контура управления .....	23
2.4 Пользовательский интерфейс .....	25
2.5 Установка и настройка .....	27
2.6 Преимущества программного обеспечения для оценки производительности контуров .....	28
2.7 Proficy Plant Applications .....	29
3 Разработка системы мониторинга контуров управления перегонкой сырой нефти.....	32
3.1 Анализ технологического процесс.....	32
3.1.1 Описание технологического процесса.....	32
3.1.2 Описание контуров регулирования.....	33
3.1.3 Технологические параметры контуров.....	42
3.1.4 Коэффициент полезного действия теплообменника.....	44
3.1.5 Расчет кавитации клапана .....	45
3.2 Реализация программы .....	46

3.2.1 Экспорт данных из UniSim .....	46
3.2.2 Вывод статистических данных по контурам .....	48
3.2.3 Статистические показатели пригодности процесса .....	52
3.2.4 Контрольные карты Шухарта .....	56
3.2.5 Анализ контрольных карт .....	61
3.3 Выводы по разделу .....	62
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
4.1 Организация и планирование работ .....	64
4.1.1 Продолжительность этапов работ .....	66
4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	72
4.2.1 Расчет затрат на материалы .....	72
4.2.2 Расчет заработной платы.....	73
4.2.3 Расчет затрат на социальный налог .....	74
4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию .....	74
4.2.5 Расчет амортизационных расходов.....	75
4.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов.....	76
4.2.7 Расчет прочих расходов .....	77
4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки.....	77
4.2.9 Расчет прибыли .....	78
4.2.10 Расчет НДС .....	78
4.2.11 Цена разработки НИР .....	78
4.3 Оценка экономической эффективности проекта .....	78
5. Социальная ответственность .....	80
5.1 Аннотация.....	80

5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	82
5.3 Производственная безопасность .....	83
5.4 Анализ опасных и вредных факторов.....	84
5.4.1 Микроклимат производственных помещений.....	84
5.4.2 Повышенный уровень шума.....	85
5.4.3 Электромагнитные излучения .....	86
5.4.4 Ионизирующее излучение .....	87
5.4.5 Освещённость рабочей зоны .....	88
5.4.6 Расчет освещенности рабочего места .....	89
5.4.7 Электробезопасность.....	91
5.4.8 Пожарная безопасность.....	92
5.5 Экологическая безопасность.....	93
5.5.1 Анализ воздействия на окружающую среду.....	93
5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	94
5.6.1 Перечень возможных чрезвычайных ситуаций на объекте.....	94
5.7 Выводы по разделу .....	95
Заключение .....	96
Список используемой литературы .....	97
Приложение А (справочное) Раздел на ИЯ.....	99

## **Введение**

Нефтеперерабатывающее производство обеспечивается сотнями, иногда тысячами контуров регулирования, которые управляют установкой в соответствии с ее назначением. Установка может оптимально работать только если все контуры регулирования идеально согласованы друг с другом. На практике такое согласование до сих пор выполняется слишком длительным и дорогим путем.

Для того чтобы достигнуть оптимальной производительности технологического процесса, необходимо чтобы контуры регулирования параметров были всегда настроены на максимальную производительность. Данный эффект может быть достигнут, только путем непрерывного мониторинга производительности каждого контура регулирования, а также при наличии принятых корректирующих действий в случае обнаружения низкой производительности. Стоит отметить, что в сложных и крупных технологических объектах диагностика и решение проблем эффективности контуров управления достаточно затруднены.

Целью магистерской диссертации является разработка и исследование автоматизированной системы мониторинга ключевых показателей эффективности контуров автоматического регулирования нефтехимического производства.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить и описать технологический процесс перегонки нефти.
2. Проанализировать методы мониторинга контуров управления.
3. Проанализировать влияния контуров управления на технологический процесс.
4. Разработать интерфейс вывода технологических параметров.
5. Разработать систему мониторинга технологических параметров на языке программирования C#.

6. Разработать методику построения контрольных карт Шухарта с автоматическим анализом данных.

## **1 Требования к системе мониторинга контуров управления**

### **1.1 Требования к функциональным возможностям системы**

Необходимо, чтобы система функционировала круглосуточно.

Система должна иметь переносные и встроенные средства диагностирования и контроля, которые в свою очередь обязаны обеспечивать:

- Фоновый контроль компонентов АС (контроллеры, станции персонала и операторов) во время функционирования.
- Тестовый контроль компонентов при включении или перезапуске, предназначенный для детального самоконтроля и определения функциональных отказов при включении устройства.
- Контроль элементов системы при проведении ремонтно-восстановительных работ [1].

Система должна иметь гибкую структуру, легко адаптироваться к изменению технологической схемы установки, обеспечивать конфигурирование новых контуров измерения, контроля, регулирования и программно-логического управления.

Система должна обеспечивать возможность управления установкой в случае несущественных изменений технологии или методов управления путем переналадки контуров управления силами обслуживающего персонала.

Система должна быть многофункциональным, восстанавливаемым, ремонтируемым изделием.

### **1.2 Требования к техническому обеспечению**

Комплекс используемых в системе технических средств должен быть минимально достаточным для обеспечения функций, указанных в данном техническом задании. Построение комплекса проводится на базе нижеуказанных программно-технических комплексов:

- Контрольно-измерительные приборы и автоматика (датчики, исполнительные механизмы, управляемые регуляторы и т.д.).
- Контроллеры или подсистемы управления.
- Средства архивирования данных.

- Сетевое оборудование.

Комплекс технических средств должен удовлетворять требованиям устойчивости, а именно безотказная работа в заданном режиме в реальных условиях окружающей среды или искусственно создаваемых на местах их размещения. Применяемые технические средства должны:

- быть ремонтпригодными и заменяемыми;
- работать от питания промышленных сетей [2].

### **1.3 Требования к программному обеспечению**

Программные средства разрабатываемой системы мониторинга обязаны соответствовать перечисленным требованиям:

- функциональная достаточность;
- восстанавливаемость;
- возможность модификации;
- построение модульным типом;
- удобство использования.

Программные средства должны быть достаточными для обеспечения заданного функционала системы при их совместной работе с техническими средствами [3].

### **1.4 Требования к информационному обеспечению**

Информационное обеспечение – набор данных, сигналов (входных и выходных), достаточный как по объему, так и по содержанию, для обеспечения стабильной работы всех автоматизированных функций, оперативной и достоверной оценки состояния оборудования. Одной из основных задач при разработке информационного обеспечения является организация человеко-машинного интерфейса.

Информационное обеспечение включает в себя:

- информационные массивы, в которые входят входная аналоговая и дискретная информация, результаты расчетов и наиболее значимые промежуточные результаты, а также справочная информация;
- описание процедуры передачи и сбора необходимой информации;

- систему, организующую базу данных в реальном времени и архивных данных;
- формы различных выходных документов, таких как входные листы и ведомости, а также отчеты в удобной для пользователя форме.

## **2 Современные системы мониторинга производительности контуров управления**

### **2.1 Обзор решений**

За последнее десятилетие несколько программных продуктов для мониторинга производительности контура управления (CLPM) стали коммерчески доступными. Эти продукты автоматически контролируют производительность контуров управления. Они способны идентифицировать несколько аспектов контроля и генерировать приоритетный список проблемных контуров с диагностикой отдельных проблем, которые в дальнейшем имеется возможность устранить [4].

Решения для мониторинга контура управления доступны от поставщиков распределенных систем управления (DCS) и сторонних компаний-разработчиков программного обеспечения, включая ABB, AspenTech, Capstone Technology, Control Arts, ControlSoft, Control Station, Emerson, ExperTune, Honeywell / Matrikon, PAS и RoviSys. Все перечисленные продукты могут различаться с точки зрения диапазона выполняемых анализов, представления результатов, наличию функций отчетности и методам сбора данных, однако стоит отметить, что все продукты направлены на определение и формирование отчетов о неэффективности отдельных контуров регулирования.

Несмотря на различия в функциях и методах представления данных, большинство из них предоставляют следующие основные функции:

- Автоматический сбор данных процесса для анализа.
- Оценка динамических характеристик контуров управления.
- Диагностика проблем производительности контура управления.
- Представление производительности контура управления с помощью набора метрик.
- Объединение показателей производительности контура управления в ключевые индикаторы производительности (KPI).

- Представление производительности контура управления в пользовательских интерфейсах и / или отчетах.

## 2.2 Требования к мониторингу производительности контуров

Первым требованием к мониторингу производительности контуров управления является доступ к несжатым данным процесса, отображенным достаточно быстро, чтобы отразить динамику контура (рисунок 1). Одним из способов сбора данных процесса для мониторинга контура управления является связывание объектов для управления процессом (OPC) с доступом к данным в реальном времени (DA), поскольку оно поддерживается всеми современными системами управления и дает программному обеспечению контроля контура управления возможность контроля над частотой дискретизации и разрешением данных. Помимо этого, большое внимание должно быть уделено скорости, с которой программное обеспечение оценки производительности контура управления получает данные от сервера данных, чтобы избежать их перегрузки [5].

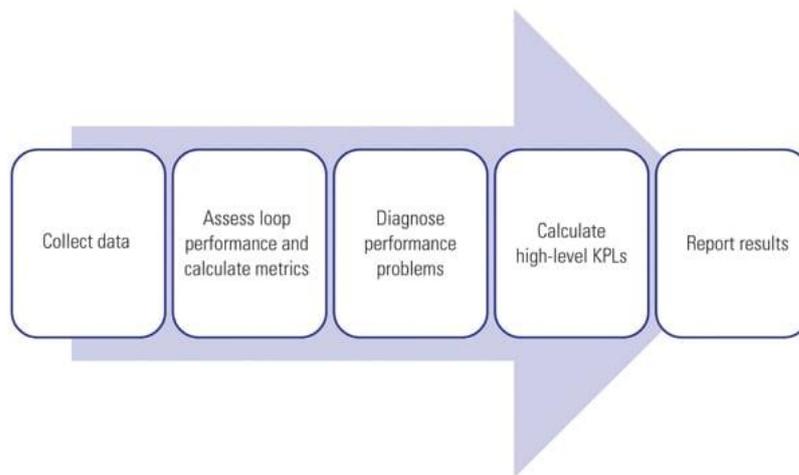


Рисунок 1 – Мониторинг контуров

Поскольку программное обеспечение имеет несколько пользователей, крайне важна архитектура клиент-сервер. Сервер отвечает за сбор данных, проведение анализа, архивирование результатов, отправку запланированных отчетов и предоставление результатов производительности по запросу из клиентских приложений. Клиентские приложения могут использоваться

инженерами, техниками и менеджерами, распределенными по всему предприятию.

### **2.3 Анализ производительности контура управления**

Производительность контура управления должна оцениваться с разных точек зрения. Например, контур управления должен работать в режиме автоматического управления, быть стабильным и уменьшать разбалансировку процесса [2]. Каждый аспект производительности контура может быть выражен в виде метрики. Метрики можно сравнить с пороговыми значениями для правильной производительности контура. Если одна или несколько метрик превышает пороговое значение, контур управления может быть отмечен как имеющий низкую производительность, и метрика (метка), вызывающая сбой, может указывать причину. В данном случае технический персонал может оказать содействие в решение данной проблемы [6].

Для оценки производительности контура управления очень важны следующие показатели:

- процент времени, в течение которого контроллер не находится в правильном режиме (или в ручном режиме);
- реагирование контроллера на изменения и нарушения уставки;
- колебание контура;
- процент времени на выходе контроллера в его пределах;
- стандартное отклонение по ошибке;
- измерение шума;
- максимальное отклонение от заданного значения.

После расчета отдельных показателей производительности контура управления их следует объединить в общий показатель, представляющий общее состояние контура управления. Таким образом, можно сравнить производительность всех контуров управления, и их можно ранжировать в порядке производительности, чтобы можно было легко найти контуры, требующие внимания. Важной частью мониторинга производительности контура управления является диагностика при обнаружении низкой

производительности. Инженеры и технические специалисты по управлению технологическим процессом могут использовать диагностику для принятия решения о соответствующем типе корректирующих действий, таких как настройка или техническое обслуживание.

Программное обеспечение CLPM должно иметь возможность обнаруживать различные рабочие условия и связывать их с периодическими оценками производительности, а также быть способно определять состояние оборудования и оценивать его только в том случае, если оборудование работает [6].

Диагностика контуров регулирования является важной функцией, но может привести к путанице. Если в контуре управления есть проблема, находящаяся на пороге обнаружения, программное обеспечение может периодически сообщать об этой проблеме, когда рабочие условия меняются от одного периода оценки к следующему. Если контур имеет более одной проблемы, его история производительности может иногда указывать одну проблему, а иногда – другую, а иногда и вовсе не указывать. Это может сбить с толку пользователя, который ищет однозначный путь решения проблемы.

В высокоинтерактивных процессах зачастую имеется сложность в поиске основной причины колебаний процесса. Существует двухэтапный подход к решению этой проблемы: сначала должны быть идентифицированы все контура, на которые воздействует колебание, а затем должен быть идентифицирован ведущий контур управления. Некоторые пакеты программного обеспечения CLPM имеют многовариантный анализ взаимодействия, который потенциально может помочь идентифицировать все контура, на которые влияет общее колебание, и точно определить причину.

Для мониторинга производительности контура управления в долгосрочной перспективе полезно иметь агрегированные метрики производительности, такие как индекс средней производительности всех контуров управления. Для этого можно использовать KPI. KPI для контроля

эффективности могут быть агрегацией производительности отдельных контуров управления на уровне единицы или предприятия [7].

## **2.4 Пользовательский интерфейс**

Фактический анализ производительности контура управления очень сложен, и важно, чтобы программное обеспечение CLPM скрыло эту сложность от пользователя. Результаты работы контуров должны быть представлены в интуитивно понятной форме с простыми в использовании возможностями навигации и детализации. Идеально подходит несколько ориентированных на задачи пользовательских интерфейсов с простой навигацией между ними и детализацией (рисунки 2, 3 и 4), например:

- Древовидная карта с цветными прямоугольниками для отображения производительности контура (в цвете) и его важности (в размере) в иерархической структуре.
- Сетка для отображения всех показателей производительности всех контуров управления и предоставления возможностей сортировки и фильтрации.
- Окно для отображения данных, которые использовались для оценки производительности отдельного контура, а также статистики и метрик.
- Исторический график производительности и показателей контура с течением времени.



Рисунок 2 – Интерфейс Plant Automation Services Inc

Древовидная карта отображает отдельные контуры с эффективностью управления, обозначенной цветом, а также приоритет контура, который указан размером блока.

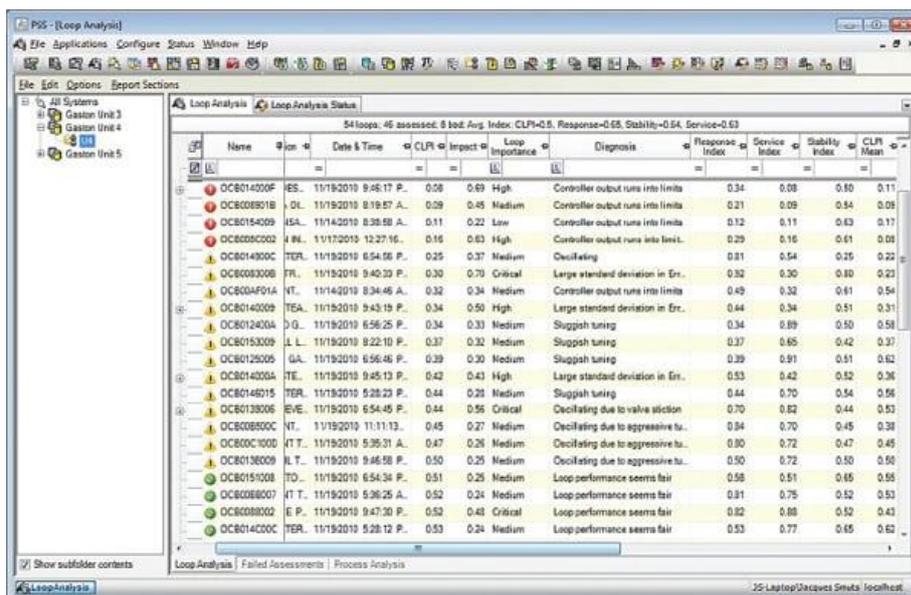


Рисунок 3 – Окно мониторинга контуров

Программное обеспечение CLPM организует показатели производительности контура управления и отображает их в виде сетки, которую можно отфильтровать и отсортировать, чтобы сузить и выявить конкретные проблемы.

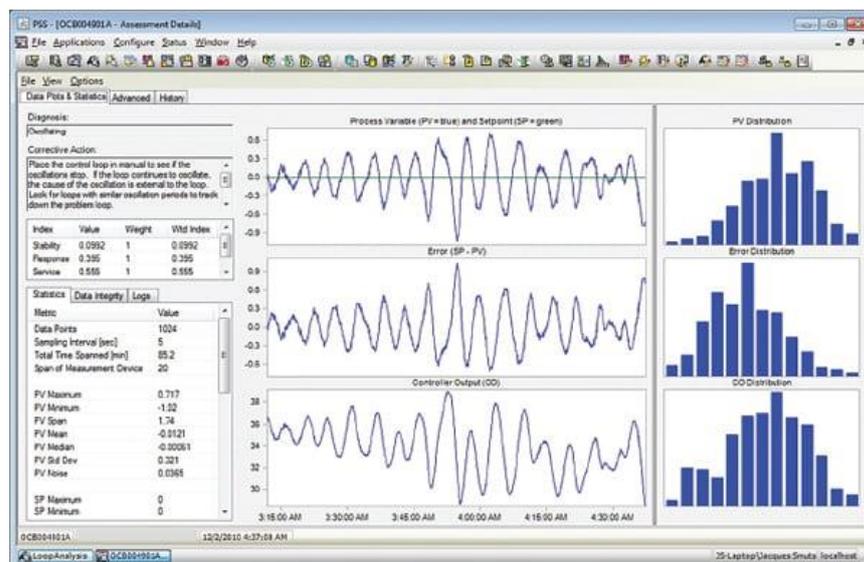


Рисунок 4 – Графики производительности контура управления

Программное обеспечение CLPM отображает фактические данные и соответствующие метрики, используемые для оценки производительности контура управления.

Интерактивное использование программного обеспечения для мониторинга контуров имеет важное значение для анализа информации с помощью специальной навигации, детализации, сортировки данных и пользовательской фильтрации. Однако для периодического обзора производительности контура управления целевые отчеты гораздо более эффективны. Программное обеспечение для мониторинга производительности должно иметь предварительно упакованные отчеты. Отчеты или ссылки на отчеты должны передаваться пользователям по электронной почте.

## 2.5 Установка и настройка

После установки программного обеспечения необходимо получить список контуров управления и загрузить его в собственную базу данных программного обеспечения. В дополнение к списку контуров необходимы точки подключения данных (адреса OPC) для уставки контура, переменной процесса, выхода контроллера, режима и пропорциональных / интегральных / производных настроек. Может также потребоваться дополнительная информация, такая как желаемое время, цель управления, стратегия управления,

тип процесса и так далее. Эта информация потенциально может быть загружена в программное обеспечение, настроив электронную таблицу со всеми контурами и импортировав ее в программное обеспечение CLPM [8].

Поскольку у контуров управления разные цели и рабочие ограничения, программное обеспечение CLPM должно предоставлять настраиваемые параметры для удовлетворения функциональности и технологической среды контура. Первоначально программное обеспечение CLPM может поставляться с настройками по умолчанию. Их использование может привести к тому, что программное обеспечение сообщит о проблемах или пропустит низкую производительность. Чтобы повысить точность оценок контура, настраиваемые параметры должны быть установлены в соответствии с целями управления каждого контура и рабочими ограничениями. Для выполнения этой калибровки требуется специалист с высоким уровнем технических знаний в области контуров управления, контролируемого процесса и программного обеспечения для мониторинга.

После того, как программное обеспечение для оценки контуров было откалибровано, техник по КИПиА должен иметь возможность использовать древовидную карту для поиска проблемных контуров для получения диагнозов и корректирующих действий [8].

## **2.6 Преимущества программного обеспечения для оценки производительности контуров**

Многие преимущества связаны с информацией, анализом и диагностикой, предоставляемыми программным обеспечением для мониторинга производительности контура управления.

Например, когда опытные работники уходят из компании, их неизбежно заменяют более молодые работники, у которых имеется меньше опыта. Программное обеспечение CLPM может быть полезно менее опытным инженерам и техническим специалистам по управлению процессами, помогая им различать высокую и низкую производительность контура.

Существует несколько дополнительных способов, которыми программное обеспечение для оценки производительности может улучшить рабочие процессы, повысить эффективность и сэкономить время:

- Автоматическая оценка производительности контура. Программное обеспечение CLPM оценивает производительность сотен или тысяч контуров управления без необходимости вмешательства человека. Программное обеспечение может выявлять неэффективные контуры управления, чтобы их можно было обслуживать.

- Программное обеспечение CLPM учитывает как производительность, так и важность контура управления, вследствие этого оно может предоставить приоритетный список плохо работающих контуров.

- Диагностика проблем управления. Программное обеспечение CLPM не только указывает, какие контуры имеют низкую производительность, но также пытается определить причину плохой производительности.

- Поддержание производительности и истории настройки. Программное обеспечение CLPM может вести историю, связанную с несколькими аспектами производительности контура управления. Полезно посмотреть, в какой момент параметры настройки были изменены, какими были старые значения, на что они были изменены и как эти изменения повлияли на производительность и стабильность контура управления.

## **2.7 Proficy Plant Applications**

Программный продукт Proficy Plant Applications предоставляет возможность в реальном времени отследить показания, получаемы с датчиков, подсвечивая значения выходящие за рамки уставок. На основе имеющихся данных ПО имеет возможность построить графики и гистограммы, позволяющие определить статистические характеристики процесса. Помимо этого, необходимые статистические характеристики выводятся в отдельной таблице.

Дата	03. мар. 2020				
Время	12:15	12:16	12:17	12:18	12:19
Продукт	PPH030GP/3	PPH030GP/3	PPH030GP/3	PPH030GP/3	PPH030GP/3
Давление материала до сита 5181	12,32	12,32	12,32	12,32	12,32
Давление материала после сита 5181	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81
Температура гран. воды 5181	49,11	49,11	49,03	49,03	49,03
Температура цилиндра экструдера 1 81	180,68	180,39	180,10	179,58	179,29
Температура цилиндра экструдера 2 81	180,68	180,39	180,10	179,58	179,29
Температура цилиндра экструдера 3 81	229,56	228,70	228,97	230,58	231,23
Температура цилиндра экструдера 4 81	227,52	227,52	228,06	228,90	229,90
Температура цилиндра экструдера 5 81	189,28	189,02	188,75	189,02	189,34
Температура цилиндра экструдера 6 81	189,96	190,86	191,43	191,17	190,57
Температура цилиндра экструдера 7 81	189,98	189,98	189,98	189,98	189,98
ПТР гранулята 5181	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02

Рисунок 5 – Таблица значений

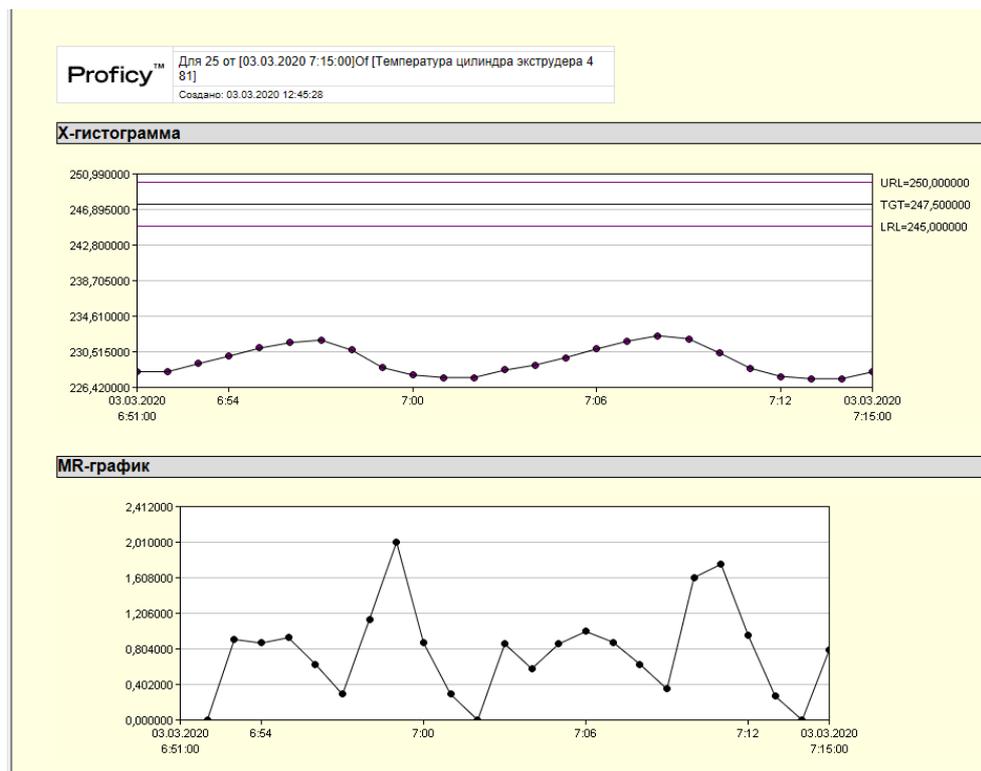
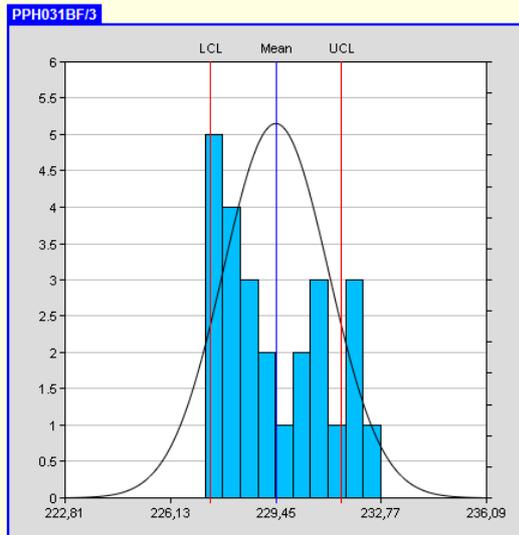


Рисунок 6 – X гистограмма



Статистика

Продукт	PPH031BF/3
LSL	245,000000
USL	250,000000
Ориентировочный	247,500000
Среднее	229,451600
Минимум	227,410000
Максимум	232,360000
Estimated Sigma	0,682993
Process Mean	229,451600
Process Minimum	227,410000
Process Maximum	232,360000
Sigma	1,659469
#Значения	25
Cp	0,819592
Cp	1,220119
Cpk	-7,588359
Cpm	0,046139
Pp	0,502169
Ppk	-3,123167
Zlsl	-9,369500
Zusl	12,382511
Zt	-10,876006

Рисунок 7 – Статистические данные

### 3 Разработка системы мониторинга контуров управления перегонкой сырой нефти

#### 3.1 Анализ технологического процесс

##### 3.1.1 Описание технологического процесса

Опишем процесс перегонки нефти, схема которого представлена на рисунке 8.

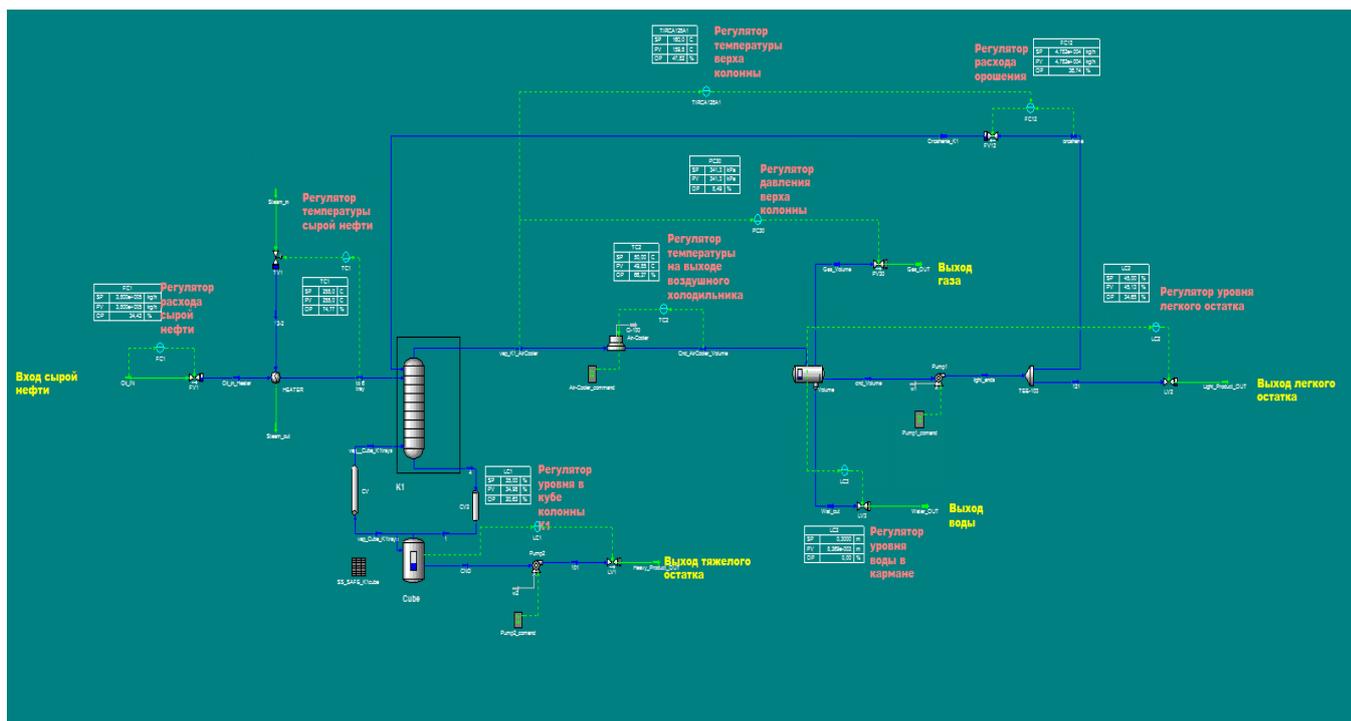


Рисунок 8 – Схема технологического процесса в Unisim

Сырая нефть поступает в систему через задвижку FV1, расход задается с помощью регулятора FC1 и в зависимости от заданного значения устанавливается степень открытия FV1. Далее нефть поступает в подогреватель с промежуточным теплоносителем, которым выступает водяной пар. На регуляторе TC1 задается требуемая температура сырой нефти и в зависимости от данного значения клапан TV1 приоткрывается или прикрывается. Пар через задвижку TV1 поступает в подогреватель и передает теплоту нефти, отработавший пар выводится из системы.

Подогретая нефть поступает в колонну, где в межтрубное пространство низа колонны подается насыщенный водяной пар, который передает свою теплоту жидкости тяжелого остатка. Жидкость начинает кипеть. В результате по

трубам поднимается парожидкостная смесь, которая выходит из колонны и попадает в сепаратор кубового остатка. Под рабочей тарелкой сепаратора происходит сепарация жидкой и паровой фаз: жидкость стекает в низ сепаратора и отсасывается насосом из него в качестве кубового остатка, а пар возвращается в колонну. Уровень кубового остатка регулируется с помощью LC1.

В тоже время пары нефти поднимаются в верхнюю часть колонны, разделенной металлическими тарелками с отверстиями, прикрытыми колпачками. Поднимающаяся смесь паров нефти охлаждается и конденсируется на соответствующих тарелках. Сверху колонны производится орошение, в качестве оросителя используется часть легкокипящей фракции. Из колонны выводятся пары бензина, которые поступают в воздушный холодильник, температура в нем задаётся с помощью TC2. При охлаждении пары бензина конденсируются, превращаются в жидкий бензин, который поступает в сепаратор, где производится процесс отделения жидкости и газа. Далее легкий остаток частично идет в хранилище, а частично подается на орошение.

### **3.1.2 Описание контуров регулирования**

Перечислим и опишем контура регулирования в системе перегонки нефти.

#### **1. Контур регулирования расхода сырой нефти.**

Необходимо, чтобы расход сырой нефти не превышал и не опускался ниже заданного для это используются алгоритмы автоматического поддержания расхода нефти. В качестве алгоритма регулирования выберем алгоритм ПИД регулирования, который обеспечивает хорошее качество регулирования, достаточно малое время выхода на режим и низкую чувствительность к внешним воздействиям.

Перечислим основные элементы схемы: ПЛК с ПИД-регулятором, объект управления, регулирующий орган. Функциональная схема представлена на рисунке 9.

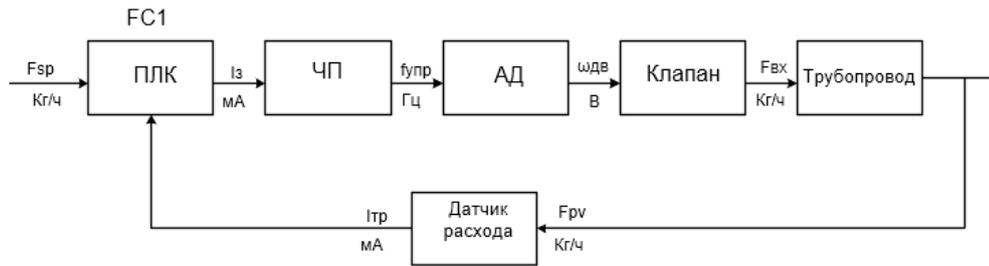


Рисунок 9 – Функциональная схема поддержания расхода сырой нефти

Объектом управления является участок трубопровода после клапана. Регулирующим органом выступает клапан, управляемый электроприводом, который в данной схеме разделен на частотный преобразователь, асинхронный двигатель и редуктор.

На панели оператора устанавливается необходимый расход. В ПЛК передается значение с датчика давления, затем происходит сравнение значений. Далее формируется выходной токовый сигнал, который подается на частотный преобразователь, на выходе которого формируется напряжение питания электропривода клапана. С помощью клапана с электроприводом электрическая энергия преобразуется в поступательное движение штока. Таким образом, расход сырой нефти становится равным заданному.

Линеаризованная модель системы управления описывается следующим набором передаточных функций:

*Передаточная функция частотного преобразователя*

Дифференциальное уравнение для частотного преобразователя выглядит следующим образом:

$$T_{\text{чп}} \frac{df}{dt} + f = k_{\text{чп}} \cdot I_3, \quad (1)$$

где  $T_{\text{чп}}$  – постоянная времени частотного преобразователя,

$f$  – частота,

$k_{\text{чп}}$  – коэффициент передачи частотного преобразователя,

$I_3$  – заданный электрический ток.

Частотный преобразователь представляет собой апериодическое звено, которое преобразует электрическую энергию сети в электрическую энергию для управления клапана.

Далее, можно записать передаточную функцию частотного преобразователя:

$$W_{\kappa}(s) = \frac{k_{\text{чп}}}{T_{\text{чп}} \cdot s + 1}. \quad (2)$$

*Передаточная функция асинхронного двигателя*

Дифференциальное уравнение для асинхронного двигателя выглядит следующим образом:

$$T_{\text{дв}} \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{\text{дв}} \cdot f, \quad (3)$$

где  $T_{\text{чп}}$  – постоянная времени двигателя,

$f$  – частота,

$k_{\text{чп}}$  – коэффициент передачи двигателя,

$\omega$  – скорость вращения вала.

Асинхронный двигатель представляет собой апериодическое звено, которое преобразует электрическую энергию в скорость вращения вала.

Таким образом, можно записать передаточную функцию двигателя:

$$W_{\text{дв}}(s) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}} \cdot s + 1}. \quad (4)$$

*Передаточная функция клапана*

Дифференциальное уравнение для клапана выглядит следующим образом:

$$\frac{dP_{\text{вх}}}{dt} = \lambda, \quad (5)$$

где  $P_{\text{вх}}$  – давление на входе,

$\lambda$  – степень открытия.

Клапан представляет собой интегрирующее звено, которое преобразует степень открытия  $\lambda$  клапана в давление на выходе.

Таким образом, можно записать передаточную функцию клапана:

$$W_k(s) = \frac{1}{s}. \quad (6)$$

*Передаточная функция трубопровода*

Объектом управления является участок трубопровода после клапана. Передаточная функция объекта управления может быть описана апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием [10]:

$$W_{\text{тр}}(s) = \frac{1}{T \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_0 \cdot s}, \quad (7)$$

$$\tau_0 = \frac{L \cdot f}{P}, \quad (8)$$

$$T = \frac{2 \cdot L \cdot f \cdot c^2}{P}, \quad (9)$$

$$c = \frac{P}{f} \cdot \sqrt{\frac{p}{2 \cdot \Delta p \cdot g}}, \quad (10)$$

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (11)$$

где  $P$  – давление после клапана,  
 $L$  – длина участка трубопровода,  
 $\Delta p$  – перепад давления в трубопроводе,  
 $p$  – плотность нефти,  
 $d$  – диаметр трубы.

В связи с тем, что транспортное запаздывание незначительное, вследствие небольшой длины трубопровода им можно пренебречь.

Датчик расхода, согласно литературным источникам, можно считать безынерционным звеном [9].

Редуктор можно считать безынерционным звеном. Коэффициент передачи для редуктора выберем равный 0,02, таким образом, за один оборот при номинальной скорости двигатель способен переводить клапан в полностью закрытое или открытое положение.

## 2. Контур регулирования температуры сырой нефти

Для проведения процесса разделения сырой нефти на легкие и тяжелые фракции нефть необходимо подогреть, для этого используется подогреватель с промежуточным теплоносителем (водяной пар). Для обеспечения заданной температуры применяется алгоритм автоматического регулирования. Схема представлена на рисунке 10.

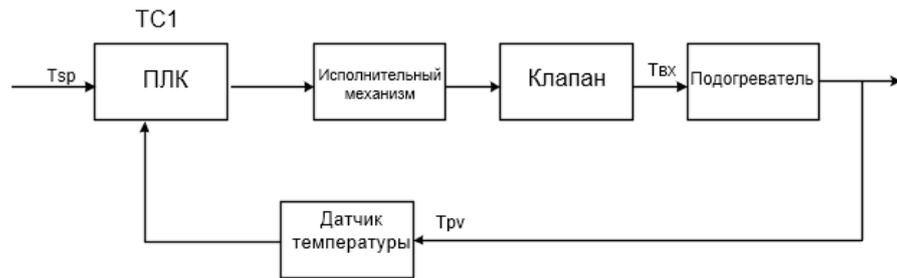


Рисунок 10 – Функциональная схема поддержания температуры сырой нефти

Если температура нефти на выходе из подогревателя равна заданной, то сигнал с датчика «PV» равен сигналу «SP» и сигнал ошибки на входе регулятора равен нулю, таким образом клапан открыт на заданную величину, поддерживая заданную температуру. Если температура нефти увеличивается или уменьшается, возникает разность между значениями  $T_{sp}$  и  $T_{rv}$  и как следствие клапан приоткрывается или прикрывается тем самым подает большее или меньшее количество водяного пара в подогреватель.

Рассмотрим количество теплоты поступающего и выходящего из выделенного объема  $\Delta x$  для теплоносителя 1. Уравнение теплового баланса в этом случае запишется в виде следующей алгебраической суммы:

$$\Delta Q = Q' + Q'' + Q''' + Q^{IV}, \quad (12)$$

где  $Q'$  – количество теплоты, поступающее в выделенный элементарный объем  $\Delta X$  за время  $\Delta t$ , с первым теплоносителем,

$Q''$  – количество теплоты, выходящее из выделенного объема  $\Delta X$  за время  $\Delta t$  с первым теплоносителем,

$Q'''$  – количество теплоты, которое переходит за время  $\Delta t$  в выделенном объеме  $\Delta X$  от первого теплоносителя ко второму через поверхность теплообменника,

$Q^{IV}$  – количество теплоты, которое переходит в окружающую (внешнюю) среду,  $Q^{IV} = 0$ , так как нами принято, что теплоизоляция теплообменника идеальная,

$\Delta Q$  – изменение теплосодержания в выделенном объеме  $\Delta X$  за время  $\Delta t$ .

Определим значение количества теплоты через технологические и конструктивные параметры теплообменника.

Количество теплоты, которое поступает за промежутки времени  $\Delta t$  в выделенный элемент  $\Delta X$  с первым носителем:

$$Q' = G_1 C_1 T_1(x, t) \Delta t, \quad (13)$$

где  $C$  – удельная теплоемкость, первого теплоносителя.

Количество теплоты, которое выходит за время  $\Delta t$  из элементарного объема  $\Delta X$  с первым теплоносителем:

$$Q'' = -G_1 C_1 T_1(x + \Delta x, t) \Delta t, \quad (14)$$

знак «-» означает, что теплота отводится, то есть выходит меньшее количество.

Количество теплоты, которое переходит от первого теплоносителя ко второму за счет теплопередачи через поверхность теплообмена:

$$Q''' = -q \Delta F \Delta t = -k_T [T_1(x, t) - T_2(x, t)] \Delta F \Delta t, \quad (15)$$

где  $q = k_T [T_1(x, t) - T_2(x, t)]$  – тепловой поток через стену,

$k_T$  – коэффициент теплопроводности (теплопередачи) стенки,

$\Delta F$  – площадь поверхности, через которую в выделенном элементе происходит передача теплоты.

Знак «-» так как поток направлен в сторону уменьшения тепла.

Так как толщина стенок труб теплообменника обычно мала по сравнению с диаметром, то выражение для площади можно записать в следующем виде:

$$\Delta F = \Pi \Delta X, \quad (16)$$

где  $\Pi$  – периметр трубы теплообменника.

Тогда значение  $Q''$  определится следующим образом:

$$Q'' = k_T [T_1(x, t) - T_2(x, t)] \Pi \Delta X \Delta t. \quad (17)$$

Вместе с тем, за период времени  $\Delta t$  в выделенном объеме  $\Delta X$  произошло изменение теплосодержания теплоносителя, которое запишется следующим образом:

$$-\Delta Q = S_1 \Delta X \rho_1 C_1 T_1(X, t + \Delta t) - S_1 \Delta X \rho_1 C_1 T_1(X, t), \quad (18)$$

где  $S_1$  – площадь поперечного сечения полости, в которой находится первый теплоноситель.

Подставив полученные выражения в уравнение теплового баланса (12) получим:

$$\begin{aligned} [-\Delta Q = S_1 \Delta X \rho_1 C_1 T_1(X, t + \Delta t) - S_1 \Delta X \rho_1 C_1 T_1(X, t)] = \\ = Q'' = G_1 C_1 T_1(x, t) \Delta t, - Q'' = \\ = G_1 C_1 T_1(x + \Delta x, t) \Delta t, - K_T [T_1(X, t) - T_2(X, t)] \Pi \Delta X \Delta t. \end{aligned} \quad (19)$$

Разделив это уравнение на  $\Delta t$  и перейдя к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$ , получим:

$$\frac{\partial}{\partial t} [\Delta X S_1 \rho_1 C_1 T_1(X, t)] = G_1 C_1 T_1(X, t) - G_1 C_1 T_1(X + \Delta X, t) - K_t \Pi [T_1(X, t) - T_2(X, t)] \Delta X \quad (20)$$

Правая часть уравнения представляет алгебраическую сумму тепловых потоков, поступающих в элемент  $\Delta X$  или вышедших из него за время  $\Delta t$ , а левая – скорость изменения теплосодержания первого теплоносителя.

Разделив уравнение (20) на  $\Delta X$  и перейдя к пределу при  $\Delta X \rightarrow 0$ , получим уравнение для профиля температуры первого теплоносителя:

$$\frac{\partial}{\partial t} [S_1 \rho_1 C_1 T_1(X, t)] = - \frac{\partial}{\partial t} [G_1 C_1 T_1(X, t)] - K_t \Pi [T_1(X, t) - T_2(X, t)]. \quad (21)$$

На практике, наиболее часто встречается случай теплообмена, при котором ни плотность, ни теплоемкость теплоносителя не зависят от

температуры, то есть постоянны. В таком случае последнее уравнение можно переписать в следующем виде, опуская аргументы функций:

$$S_1 C_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = -G_1 C_1 \frac{\partial T_1}{\partial X} - K_t \Pi (T_1 - T_2). \quad (22)$$

Разделив это уравнение на  $S_1 C_1 \rho_1$  и обозначив через  $W_1 = \frac{G_1}{\rho_1 S_1}$  среднюю скорость жидкости, получим:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = -W_1 \frac{\partial T_1}{\partial X} - \frac{K_t \Pi}{S_1 C_1 \rho_1} (T_1 - T_2). \quad (23)$$

Аналогично, получим уравнение и для второго теплоносителя:

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = -W_2 \frac{\partial T_2}{\partial X} + \frac{K_t \Pi}{S_2 C_2 \rho_2} (T_1 - T_2). \quad (24)$$

Обозначив через  $R_i = \frac{K_t \Pi}{S_i C_i \rho_i}$ , где  $i = 1, 2$ ; получим модель проточного теплообменника в следующем виде:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = -W_1 \frac{\partial T_1}{\partial X} - R_1 (T_1 - T_2), \quad (25)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = -W_2 \frac{\partial T_2}{\partial X} + R_2 (T_1 - T_2) \quad (26)$$

### 3. Контур регулирования уровня в кубе колонны

Система автоматического регулирования поддержания заданного уровня кубового остатка в сепараторе выполнена на основе ПИД регулятора и включает в себя датчик уровня ПЛК (LC1) и управляемый клапан LV1. В соответствии с заданным уровнем SP система автоматического регулирования обеспечивает требуемую стабилизацию уровня кубового остатка в сепараторе CUBE. Для задания уровня используется процент наполнения. Насос включен постоянно. Клапан на его выкиде дросселирует выходной поток за счет процента открытия. Схема представлена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Функциональная схема поддержания уровня в кубе колонны

4. Контур регулирования температуры на выходе воздушного холодильника.

Для процесса конденсации паров бензина при выходе из верха колонны необходимо провести их охлаждение, для этого используется воздушный холодильник. Для обеспечения заданной температуры на выходе из него применяется регулятор ТС2, который сравнивает значение температуры на выходе с заданным и формирует управляющий сигнал.

5. Контур регулирования давления верха колоны

Для обеспечения заданного давления верха колонны используется регулятор РС30, задающий степень открытия клапана PV30. Схема представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Функциональная схема поддержания давления верха колонны

6. Контур регулирования уровня легкого остатка

Для поддержания заданного уровня легкого остатка в сепараторе применяется регулятор LC2, задающий степень открытия выходного клапана LV2.

### 3.1.3 Технологические параметры контуров

На рисунке 13 представлена схема контуров, а также технологических параметров по каждому контуру. Для удобства дальнейшего анализа пронумеруем каждый технологический параметр.

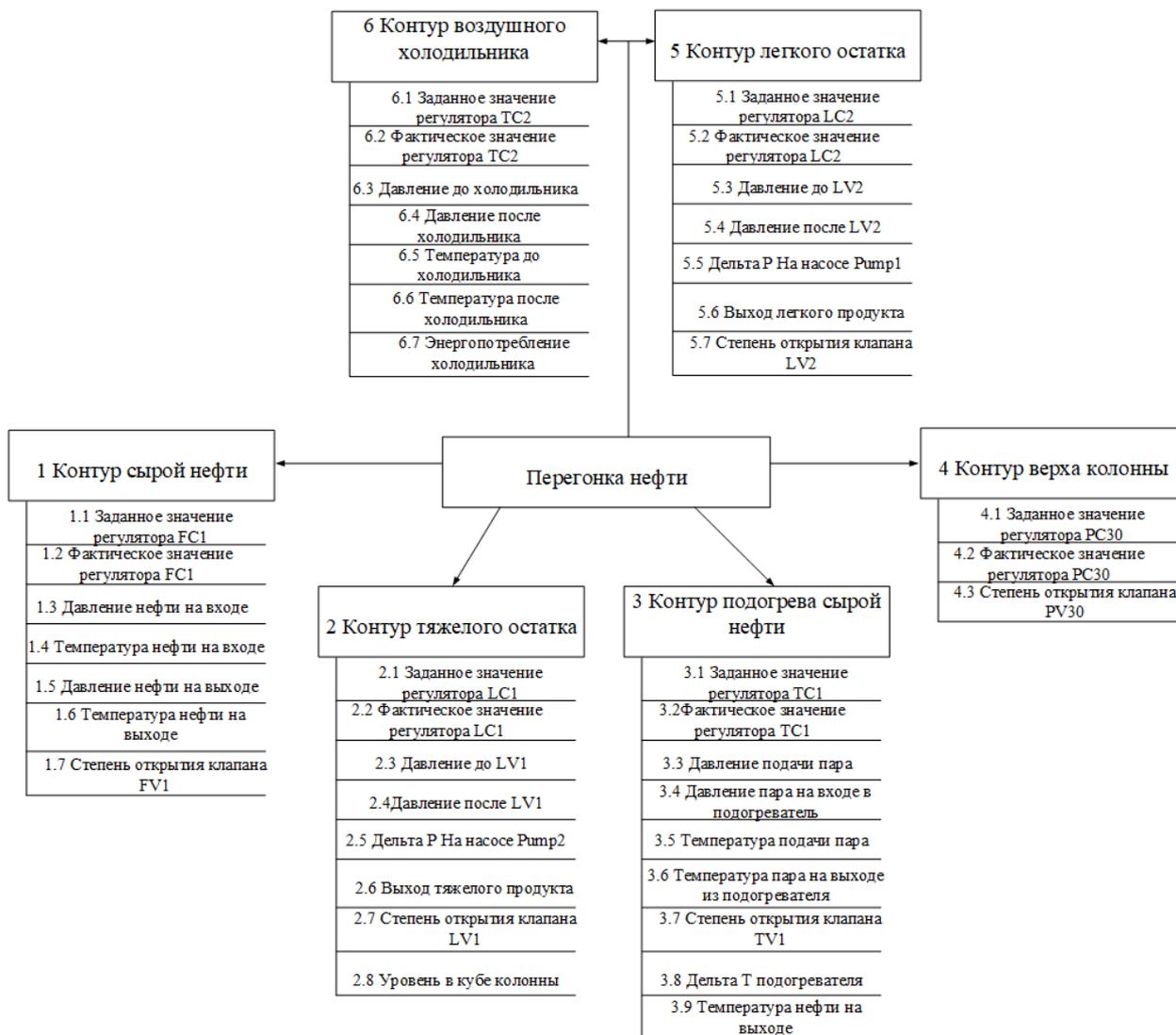


Рисунок 13 – Технологические параметры контуров

Далее в таблице 1 сведены значения технологических параметров процесса перегонки нефти. В третьей строке таблицы представлены исходные значения. В опыте 1.1 предположим, что регулятор FC1 не поддерживает заданный расход сырой нефти, вследствие этого уменьшается расход легкого и тяжелого остатков. Затем в опыте 1.2 мы уменьшим заданное значение регулятора LC2 и тем самым обеспечим увеличение выхода лёгкого остатка, таким же образом с целью увеличения выхода тяжелого остатка уменьшим

значение на регуляторе LC2. Таким образом даже при отклонении значений на регуляторе нам удалось добиться увеличения выхода продуктов.

Таблица 1 – Значения технологических параметров

Контур 1	Контур 2	Контур 3	Контур 4	Контур 5	Контур 6	Расход ЛО	Расход ТО
Исходные значения							
1.1-380000 кг/ч	2.1-35%	3.1-255°C	4.1-341,3кПа	5.1-45%	6.1-50°C	66485,5 кг/ч	312211,2 кг/ч
1.2-380000 кг/ч	2.2-35%	3.2-255°C	4.2-341,3кПа	5.2-45%	6.2-50°C		
1.3-681,3кПа	2.3-1874кПа	3.3-2101кПа	4.3-8,39%	5.3-892,5кПа	6.3-341,3кПа		
1.4- 25°C	2.4-101,3кПа	3.4-1004кПа		5.4-101,3кПа	6.4-319,2кПа		
1.5-486,6кПа	2.5-1506кПа	3.5-360°C		5.5-532,2кПа	6.5-160°C		
1.6-25,11°C	2.6-	3.6-350,5°C		5.6-	6.6-50°C		
1.7-34,42%	2.7-20,63%	3.7-74,77%		5.7-35,58%	6.7-		
	2.8-35%	3.8-229°C					
		3.9-255°C					
Опыт 1.1 параметр 1.2 уменьшить на 10% (342000 кг/ч)							
1.1-380000кг/ч	2.1-35%	3.1-255°C	4.1-341,3кПа	5.1-45%	6.1-50°C	<b>59980 кг/ч</b>	<b>280964,1 кг/ч</b>
<b>1.2-342000 кг/ч</b>	2.2-35%	3.2-255°C	4.2-341,3кПа	<b>5.2-44,93%</b>	6.2-50°C		
1.3-681,3кПа	<b>2.3-1894кПа</b>	3.3-2101кПа	<b>4.3-7,46%</b>	<b>5.3-921,5кПа</b>	6.3-341,3кПа		
1.4- 25°C	<b>2.4-101,3кПа</b>	3.4-1004кПа		<b>5.4-101,3кПа</b>	6.4-322,8кПа		
1.5-486,6кПа	<b>2.5-1527кПа</b>	3.5-360°C		5.5-532,2кПа	6.5-160°C		
1.6-25,11°C	2.6-	3.6-350,5°C		5.6-	6.6-50°C		
<b>1.7-30,94%</b>	<b>2.7-18,47%</b>	<b>3.7-66,6%</b>		<b>5.7-31,65%</b>	6.7-		
	2.8-35%	3.8-229°C					
		3.9-255°C					
Опыт 1.2 параметр 5.2 уменьшить на 12% (40%)							
1.1-380000кг/ч	2.1-35%	3.1-255°C	4.1-341,3кПа	5.1-45%	6.1-50°C	<b>62155 кг/ч</b>	<b>280962,1 кг/ч</b>
<b>1.2-342000 кг/ч</b>	2.2-35%	3.2-255°C	4.2-341,3кПа	<b>5.2-40%</b>	6.2-50°C		
1.3-681,3кПа	<b>2.3-1894кПа</b>	3.3-2101кПа	<b>4.3-7,46%</b>	<b>5.3-921,5кПа</b>	6.3-341,3кПа		
1.4- 25°C	<b>2.4-101,3кПа</b>	3.4-1004кПа		<b>5.4-101,3кПа</b>	6.4-322,8кПа		
1.5-486,6кПа	<b>2.5-1527кПа</b>	3.5-360°C		5.5-532,2кПа	6.5-160°C		
1.6-25,11°C	2.6-	3.6-350,5°C		5.6-	6.6-50°C		
<b>1.7-30,94%</b>	<b>2.7-18,47%</b>	<b>3.7-66,6%</b>		<b>5.7-31,50%</b>	6.7-		
	2.8-35%	3.8-229°C					
		3.9-255°C					
Опыт 1.3 параметр 2. уменьшить на 15% (30%)							
1.1-380000кг/ч	2.1-35%	3.1-255°C	4.1-341,3кПа	5.1-45%	6.1-50°C	<b>62155 кг/ч</b>	<b>300984,4 кг/ч</b>
<b>1.2-342000 кг/ч</b>	2.2-30%	3.2-255°C	4.2-341,3кПа	<b>5.2-40%</b>	6.2-50°C		
1.3-681,3кПа	<b>2.3-1894кПа</b>	3.3-2101кПа	<b>4.3-7,46%</b>	<b>5.3-921,5кПа</b>	6.3-341,3кПа		
1.4- 25°C	<b>2.4-101,3кПа</b>	3.4-1004кПа		<b>5.4-101,3кПа</b>	6.4-322,8кПа		
1.5-486,6кПа	<b>2.5-1527кПа</b>	3.5-360°C		5.5-532,2кПа	6.5-160°C		
1.6-25,11°C	2.6-	3.6-350,5°C		5.6-	6.6-50°C		
<b>1.7-30,94%</b>	<b>2.7-18,47%</b>	<b>3.7-66,6%</b>		<b>5.7-31,50%</b>	6.7-		
	2.8-35%	3.8-229°C					
		3.9-255°C					

Также стоит отметить, что согласно технологическому процессу сырая нефть поступает в систему при температуре 40°C, далее ее необходимо

подогреть до температуры 250°C, однако, если температура на регуляторе уменьшится до 220°C (розовая линия), это повлияет на выход легкого и тяжелого остатков, а также на регулятор уровня в кубе колонны (зеленая линия) и на регулятор давления верха колонны (фиолетовая линия). Стоит отметить, что значения в регуляторах восстанавливаются к заданным, а выход остатков изменяется (белая и желтая линии), что в свою очередь несет экономические потери. В связи с влиянием контуров друг на друга при изменении значения в одном регуляторе необходимо корректировать значения в другом, как, например, в регуляторе уровня в кубе колонны, о чем было написано выше.

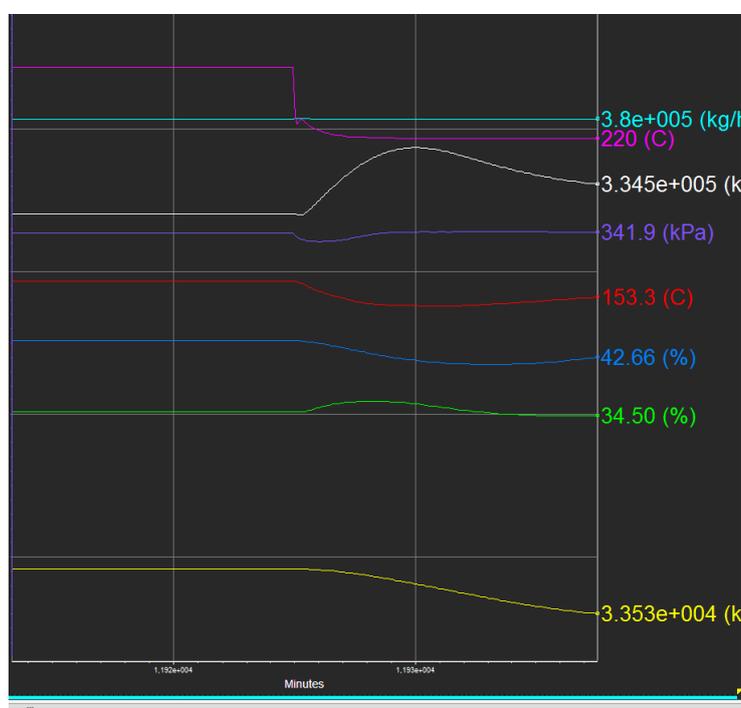


Рисунок 14 – Влияние контуров

### 3.1.4 Коэффициент полезного действия теплообменника

Коэффициент полезного действия (КПД) теплообменника является тепловым показателем его совершенства. Запишем формулу:

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (27)$$

где  $Q_1$  – максимально возможное количество теплоты, которое может, быть передано от горячего теплоносителя холодному в данных условиях, кДж;

$Q_2$  – количество теплоты, переданное от горячего теплоносителя к холодному, или теплота, затраченная на технологический процесс, кДж [10].

Максимально возможное количество теплоты, или располагаемая теплота, зависит от начальных температур теплоносителей и может быть выражена как произведение меньшего водяного эквивалента ( $W_{min}$ ) на полную разность начальных температур теплоносителей:

$$W_{min} = G \cdot c, \quad (28)$$

таким образом:

$$Q_1 = W_{min} \cdot \Delta t_{max}, \quad (29)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя кг/с;

$c$  – теплоемкость теплоносителя, кДж/кг.

Приняв постоянными теплоемкости теплоносителей в рассматриваемом интервале температур, можно записать КПД теплообменника как:

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{W_{min} \cdot \Delta t_1}{W_{min} \cdot \Delta t_{max}} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_{max}}, \quad (30)$$

где  $\Delta t_{max}$  – разность начальных температур теплоносителей;

$\Delta t_1$  – изменение температуры теплоносителя с меньшим водяным эквивалентом [11].

В связи с тем, что в анализируемой системе расход пара значительно больше, чем нефти КПД нагревателя будет следующий:

$$\eta = \frac{t_{нефть}^{в\text{ыход}} - t_{нефть}^{в\text{ход}}}{t_{пар}^{в\text{ход}} - t_{нефть}^{в\text{ход}}}. \quad (31)$$

### 3.1.5 Расчет кавитации клапана

Одной из серьезных проблем, возникающих при применении запорной и регулирующей арматуры, является возникновение кавитации. Особенно сильно этот эффект проявляется при использовании регуляторов, понижающих давление «после себя» — редуционных клапанов.

Кавитация – процесс образования и последующего схлопывания пузырьков вакуума в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, что в свою очередь приводит к преждевременному износу элементов регулирующей арматуры [12].

Для проверки возможности появления кавитации при больших перепадах давления на клапане применяется следующая формула:

$$\Delta p \leq 0,6 \cdot p_1, \quad (32)$$

где  $p_1$  – давление на входе клапана, кПа;  
 $\Delta p$  – перепад давления на клапане, кПа.

## **3.2 Реализация программы**

### **3.2.1 Экспорт данных из UniSim**

Для обработки данных технологического процесса перегонки нефти в первую очередь необходимо выгрузить значения параметров из модели, разработанной в UniSim. С этой целью воспользуемся расширением «UniSim ExcelInterface Tool».

«UniSim Excel Interface Tool» — это инструмент на основе Excel, который работает с UniSim Design. Данное расширение имеет два режима работы:

- лист Excel с выгрузкой параметров;
- ряд пользовательских интерфейсов, которые можно использовать для настройки ссылок автоматизации между UniSim Design и Excel.

На рисунке 15 представлены параметры для выгрузки из UniSim.

Individual Strip Chart Data Selection

Strip Chart Name

Object	Variable	Active
TIRCA128A1	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
LC1	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
LC2	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
FC1	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
PC30	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
Heavy_Product	Mass Flow	<input checked="" type="checkbox"/>
Light_Product	Mass Flow	<input checked="" type="checkbox"/>
TC1	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_IN	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_IN	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
FV1	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_in_Heater	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_in_Heater	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_in	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_in	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_out	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_out	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
TV1	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
to 6 tray	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
HEATER	Shell Side Delta T	<input checked="" type="checkbox"/>
Light_Product	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
I21	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
LV2	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
Pump1	Delta P	<input checked="" type="checkbox"/>
Pump2	Delta P	<input checked="" type="checkbox"/>
LV1	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
101	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Heavy_Product	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Cube	Liquid Volume Percent	<input checked="" type="checkbox"/>
PV30	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
TC2	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
vap_K1_AirCo	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnd_AirCoole	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
vap_K1_AirCo	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnd_AirCoole	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Q-100	Power	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 15 – Технологические параметры

Далее с помощью приведенного выше расширения необходимо сохранить значения технологических параметров в формате .csv. В программе, написанной на языке программирования С# предусмотрен выбор файла (рисунок 16).

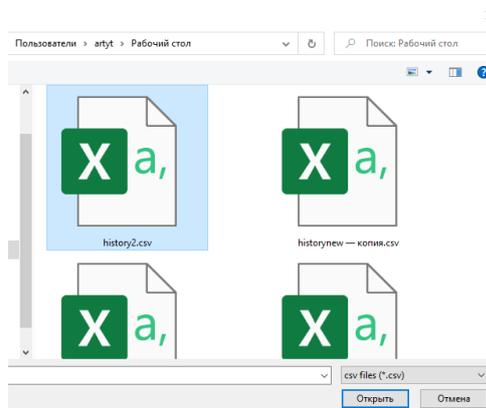


Рисунок 16 – Выбор файла

При выборе файла формируется экземпляр класса, содержащий в себе параметры технологического процесса, значения которых выводятся на экран с помощью компонента DataGridView. Листинг кода для импорта данных из UniSim представлен ниже.

```
pathCsvFile = openFileDialog1.FileName;

        using (StreamReader streamReader = new
StreamReader(pathCsvFile))
        {
            using (CsvReader csvReader = new CsvReader(streamReader,
System.Globalization.CultureInfo.CurrentCulture))
            {
                csvReader.Configuration.HasHeaderRecord = false;
                // указываем используемый разделитель
                csvReader.Configuration.Delimiter = ";";
                // получаем строки
                IEnumerable dataPV = csvReader.GetRecords<DataPV>();

                dPV = dataPV.Cast<DataPV>().ToList();
                dataGridView1.DataSource = dPV;
            }
        }
```

### 3.2.2 Вывод статистических данных по контурам

При загрузке данных предлагается выбрать временной промежуток выгрузки данных для анализа, далее автоматически производится расчет среднего, максимального и минимального значений для каждого параметра в каждом контуре, а также выводятся на экран заданные значения по параметрам. Заданное значение может быть изменено с помощью интерфейса. На рисунке 17 представлен интерфейс программы.

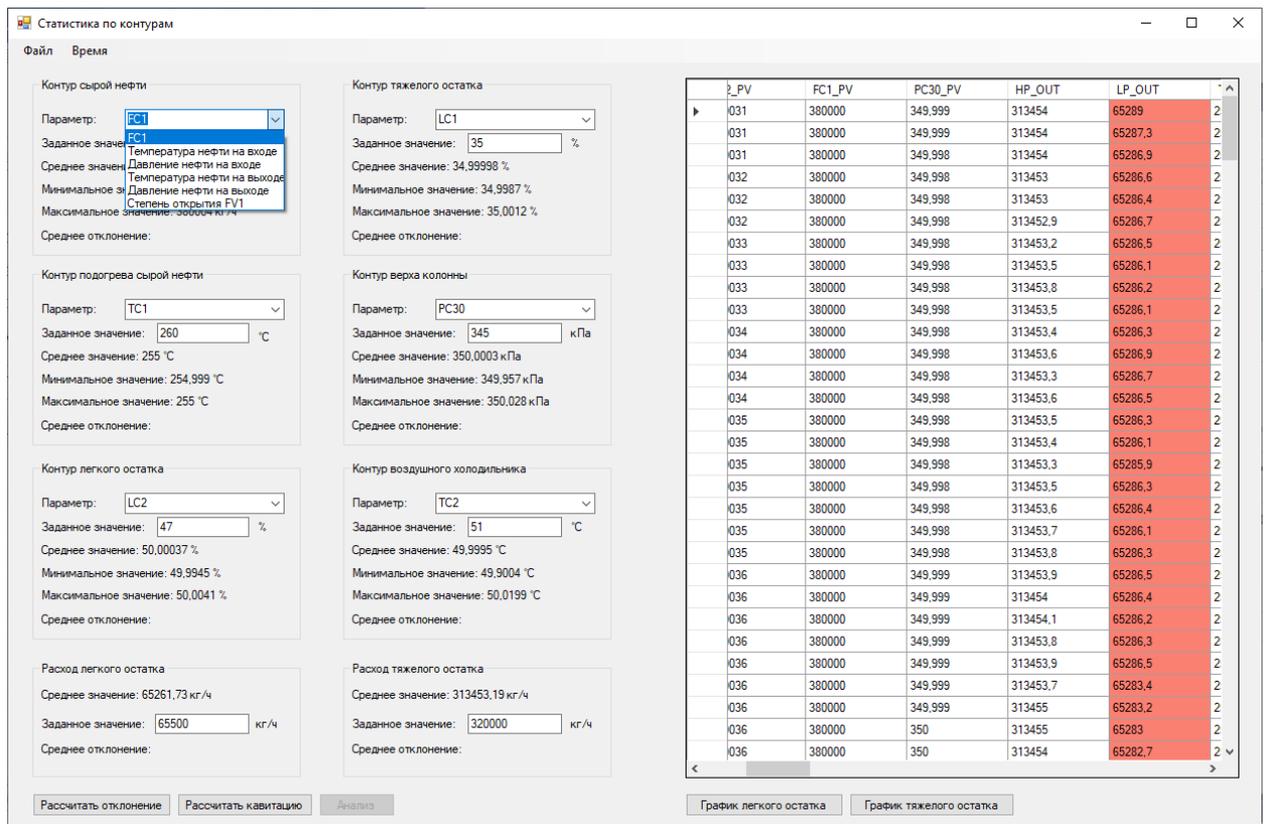


Рисунок 17 – Интерфейс программы

Далее при нажатии кнопки «Рассчитать отклонение» производится расчет средней процентной разницы между фактическим значением по каждому параметру и заданным значением. Если хотя бы у одного параметра в контуре среднее отклонение от заданного значения превышает 5% появляется соответствующее обозначение, а отклонение загорается красным. Интерфейс представлен на рисунке 18. Листинг кода для расчета отклонения представлен ниже.

Файл    Время

<p>Контур сырой нефти</p> <p>Параметр: FC1</p> <p>Заданное значение: 390000 кг/ч</p> <p>Среднее значение: 380000 кг/ч</p> <p>Минимальное значение: 379998 кг/ч</p> <p>Максимальное значение: 380004 кг/ч</p> <p>Среднее отклонение: 2,56%</p>	<p>Контур тяжелого остатка</p> <p>Параметр: LC1</p> <p>Заданное значение: 35 %</p> <p>Среднее значение: 34,99998 %</p> <p>Минимальное значение: 34,9987 %</p> <p>Максимальное значение: 35,0012 %</p> <p>Среднее отклонение: 0%</p>
<p>Контур подогрева сырой нефти</p> <p>Параметр: TC1</p> <p>Заданное значение: 260 °C</p> <p>Среднее значение: 255 °C</p> <p>Минимальное значение: 254,999 °C</p> <p>Максимальное значение: 255 °C</p> <p>Среднее отклонение: 1,92%</p>	<p>Контур верха колонны</p> <p>Параметр: PC30</p> <p>Заданное значение: 345 кПа</p> <p>Среднее значение: 350,0003 кПа</p> <p>Минимальное значение: 349,957 кПа</p> <p>Максимальное значение: 350,028 кПа</p> <p>Среднее отклонение: -1,45%</p>
<p>Контур легкого остатка</p> <p>Параметр: LC2</p> <p>Заданное значение: 47 %</p> <p>Среднее значение: 50,00037 %</p> <p>Минимальное значение: 49,9945 %</p> <p>Максимальное значение: 50,0041 %</p> <p>Среднее отклонение: -6,38%</p>	<p>Контур воздушного холодильника</p> <p>Параметр: TC2</p> <p>Заданное значение: 51 °C</p> <p>Среднее значение: 49,9995 °C</p> <p>Минимальное значение: 49,9004 °C</p> <p>Максимальное значение: 50,0199 °C</p> <p>Среднее отклонение: 1,96%</p>
<p>Расход легкого остатка</p> <p>Среднее значение: 65261,73 кг/ч</p> <p>Заданное значение: 62000 кг/ч</p> <p>Среднее отклонение: -5,26%</p>	<p>Расход тяжелого остатка</p> <p>Среднее значение: 313453,19 кг/ч</p> <p>Заданное значение: 320000 кг/ч</p> <p>Среднее отклонение: 2,05%</p>

Рисунок 18 – Расчет отклонений

```

if (pc30_pv_dev > 5 | pc30_pv_dev < -5) { pc30_pv_error = true; }
else { pc30_pv_error = false; }

if (pv30_po_dev > 5 | pv30_po_dev < -5) { pv30_po_error = true; }
else { pv30_po_error = false; }

switch (comboBox5.SelectedIndex)
{
    case 0:
        labelDev5.Text = Math.Round(pc30_pv_dev, 2).ToString() + "%";
        if (pc30_pv_error == true) { labelDev5.ForeColor = Color.Red; }
        else { labelDev5.ForeColor = Color.Black; }
        break;
    case 1:
        labelDev5.Text = Math.Round(pv30_po_dev, 2).ToString() + "%";
        if (pv30_po_error == true) { labelDev5.ForeColor = Color.Red; }
        else { labelDev5.ForeColor = Color.Black; }
        break;
    default:
        labelDev5.Text = Math.Round(pc30_pv_dev, 2).ToString() + "%";
        if (pc30_pv_error == true) { labelDev5.ForeColor = Color.Red; }
        else { labelDev5.ForeColor = Color.Black; }
        break;
}

if ((pc30_pv_dev > 5 | pc30_pv_dev < -5) |
    (pv30_po_dev > 5 | pv30_po_dev < -5))
{
    errorCountour5 = true;
    pictureBoxError5.Visible = true;
}

```

Далее после расчета отклонений параметров необходимо нажать кнопку «Анализ», при нажатии которой появляется отдельное окно, в котором перечислены параметры, влияющие на отклонения выхода тяжелого и легкого продуктов, а также предложены пути решения. В случае отклонения параметров в контуре подогрева сырой нефти также выводится КПД нагревателя. Интерфейс представлен на рисунке 19.

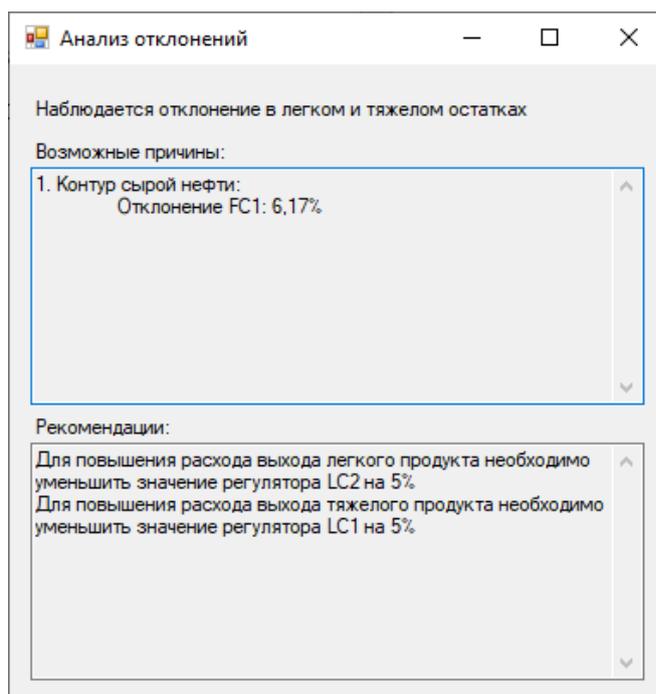


Рисунок 19 – Анализ отклонений

Помимо этого, в таблице технологических параметров присутствует цветовая индикация выхода тяжело и легкого продуктов за заданный интервал (рисунок 20).

	PV	HP_OUT	LP_OUT	TC1_PV	OIL_IN_TE
97		313437	65273.8	255	25
96		313437	65273.6	255	25
96		313437	65273.3	255	25
95		313437	65273.1	255	25
95		313438	65272.8	255	25
95		313438	65272.5	255	25
94		313439	65272.2	255	25
94		313439	65271.9	255	25
93		313440	65271.6	255	25
93		313441	65271.3	255	25
93		313442	65271	255	25
92		313443	65270.7	255	25
92		313444	65270.4	255	25
92		313445	65270	255	25
92		313447	65269.7	255	25
91		313448	65269.4	255	25
91		313449	65269	255	25
91		313451	65268.7	255	25
91		313452	65268.3	255	25
92		313454	65267.9	255	25
92		313456	65267.5	255	25
92		313457	65267.2	255	25
93		313459	65266.8	255	25
93		313460	65266.4	255	25
94		313462	65266	255	25
94		313463	65265.6	255	25
95		313464	65265.2	255	25

Рисунок 20 – Цветовая маркировка параметров

Также программа подразумевает расчет возможного возникновения кавитации в клапанах (рисунок 21).

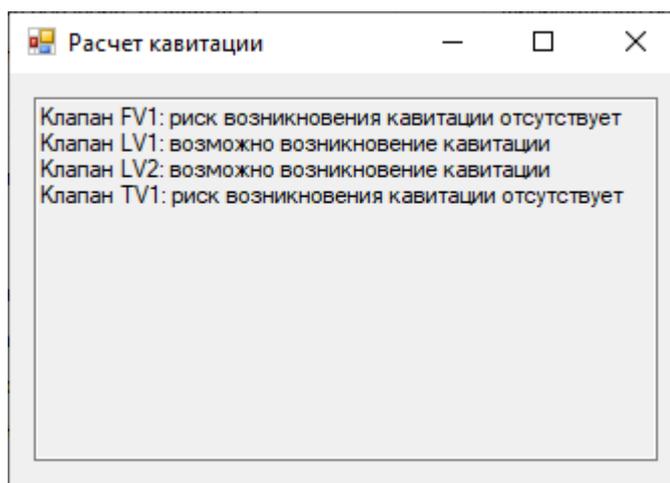


Рисунок 21 – Расчет кавитации

### 3.2.3 Статистические показатели пригодности процесса

Гистограмма – позволяет оценить состояние качества. Гистограмма представляет собой столбчатый график, построенный по полученным за определенный период (час, неделю, месяц) данным, которые разбиваются на несколько интервалов. Число данных, попавших в каждый из интервалов (частота), выражается высотой столбика.

Для построения гистограммы первоначально необходимо определить размах варьирования как разность:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (33)$$

где  $x_{\max}$  – максимальное значение;

$x_{\min}$  – минимальное значение.

Размах варьирования делится на некоторое число равных интервалов. Число интервалов  $K$  обычно рекомендуется брать в пределах от 8 до 20. Для его определения используется формула:

$$K = 5 \lg n, \quad (34)$$

где  $n$  – объем выборки.

Таким образом ширина интервала:

$$h = \frac{R}{K}. \quad (35)$$

Границы интервала вычисляются путем последовательного прибавления ширины интервала к нижней границе вариационного ряда по формуле:

$$x_{\min} + jh, \quad (36)$$

где  $j$  – номер интервала.

На рисунке 22 представлена гистограмма для выхода легкого остатка, также в таблице сведены статистические показатели пригодности процесса.

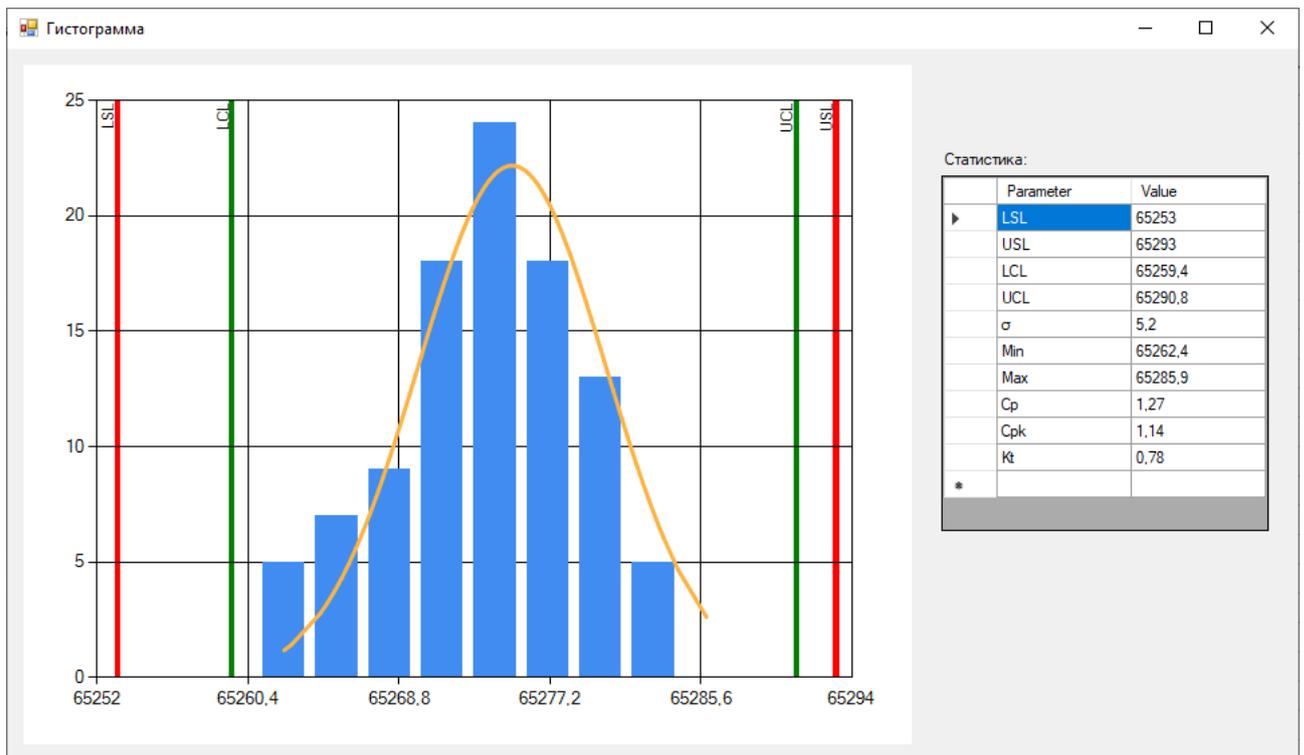


Рисунок 22 – Гистограмма для выхода легкого остатка.

Далее приведен листинг кода для построения гистограммы.

```

public void hist(List<float> param)
{
    int l = 8;
    min = param.Min();
    max = param.Max();
    float r = max - min;
    delta = r / l;
    int[] masY = new int[l];
    double[] masX = new double[l];

    for (int i = 0; i < param.Count; i++)
    {
        for (int j = 0; j < l; j++)
        {
            if (param[i] >= min + j * delta && param[i] < min + (j + 1) *
delta) masY[j]++;
        }
        total = masY.Sum();
    }

    for (int i = 0; i < l; i++)
    {
        masX[i] = min + i * delta;
    }

    chart1.Series["Series1"].Points.DataBindXY(masX, masY);
}

```

Приведем пояснения для статистических показателей, используемых для оценки процесса.

LCL и UCL представляют собой размах процесса и рассчитываются как  $\pm 3\sigma$  границы по обе стороны от среднего значения.

LSL и USL являются нижними и верхними границами допуска, которые задаются техническими условиями процесса.

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение, рассчитываемое по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (37)$$

где  $\bar{x}$  – среднее значение.

Коэффициент точности технологического процесса  $K_T$  равен:

$$K_T = \frac{6\sigma}{T}, \quad (38)$$

где  $T$  – диапазон допустимых значений.

По полученному значению  $K_T$  определяется управляемость технологического процесса:

если  $K_T \leq 0,75$ , то технологический процесс протекает нормально;

если  $0,75 < K_T \leq 0,98$ , то требуется наладка оборудования;

если  $K_T > 0,98$ , то технологический процесс вышел из-под контроля.

В практике управления качеством вместо показателя  $K_T$  используется также показатель  $C_p$  – индекс воспроизводимости процесса:

$$C_p = \frac{1}{K_T}, \quad (39)$$

Общепринятые оценки процесса по индексу  $C_p$ :

$C_p < 1$  – «неудовлетворительно»;

$1 \leq C_p < 1,33$  – «удовлетворительно»;

$C_p \geq 1,33$  – «хорошо».

Помимо этого, рассчитывается откорректированный индекс  $C_{pk}$ :

$$C_{pk} = C_p - \frac{|\bar{x} - \frac{USL+LSL}{2}|}{3\sigma}. \quad (40)$$

### 3.2.4 Контрольные карты Шухарта

С целью проведения статистического контроля, а также регулирования технологического процесса могут быть применены контрольные карты Шухарта. Данная карта содержит значения некоторой статистической характеристики (точки), которые рассчитаны на основе данных из выборки и наносятся в порядке их получения, помимо этого, на карту наносятся верхняя и нижняя контрольные границы UCL и LCL, средняя линия CL, а также при их наличии верхняя и нижняя границы технических допусков  $T_v$  и  $T_n$  [13].

Приведем краткую историческую справку: в 1924 г. доктором Уолтером Шухартом были введены контрольные карты, представляющие собой графический инструмент обработки статистических принципов с целью управления технологическим процессом. Стоит отметить, что по теории контрольных карт выделяется две разновидности вариабельности либо изменчивости.

К первому виду изменчивости можно отнести вариабельность, вызванную «случайными причинами» (естественными, общими, неконтролируемыми, внутренними). Данная изменчивость может быть обусловлена различными причинами, которые присутствуют постоянно и их выявление невозможно либо затруднительно. Влияние каждой из этих причин на общую изменчивость невелико, и ни одна из них не преобладает над другими. Помимо этого, совокупность влияния всех причин формирует внутреннюю изменчивость процесса. Для того, чтобы исключить или уменьшить влияние случайных причин на технологический процесс, вероятнее всего потребуется фундаментальное изменение процесса в целом.

Ко второму виду вариабельности относятся реальные изменения в технологическом процессе. Такие изменения могут быть определены и устранены, поскольку являются следствием причин, не присущих процессу. Данные причины называются «особыми» (систематическими, неестественными, специальными), к ним могут относиться низкая квалификация персонала,

поломка инструментов либо оборудования, неправильная работа КИПиА, а также изменения условий производства [13].

Существуют критерии выявления особых причин:

- Критерий 1: Одна точка расположена выше верхней зоны А или ниже нижней зоны А (рисунок 23).

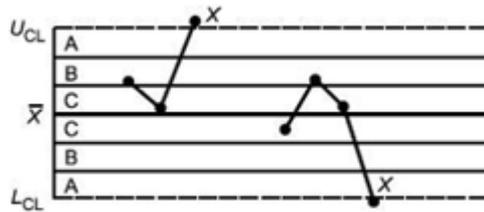


Рисунок 23 – Критерий 1

- Критерий 2: Девять точек расположены в зоне С и/или зоне В по одну сторону от центральной линии (рисунок 24).

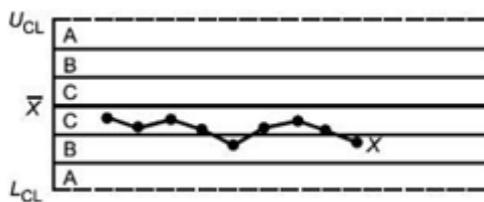


Рисунок 24 – Критерий 2

- Критерий 3: Шесть последовательных точек образуют возрастающий или убывающий участок ломаной линии (рисунок 25).

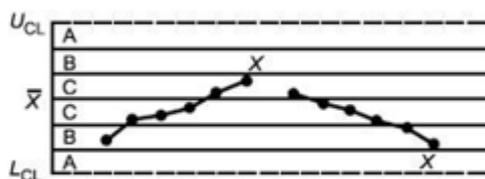


Рисунок 25 – Критерий 3

- Критерий 4: В последовательности из четырнадцати точек возрастание линии чередуется с убыванием (рисунок 26).

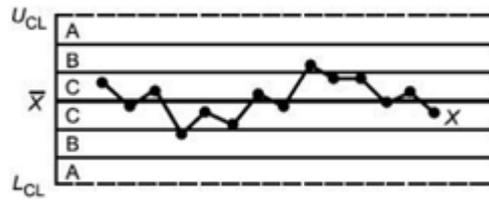


Рисунок 26 – Критерий 4

- Критерий 5: Две из трех точек расположены в зоне А или выходят за нее с одной стороны от центральной линии (рисунок 27).

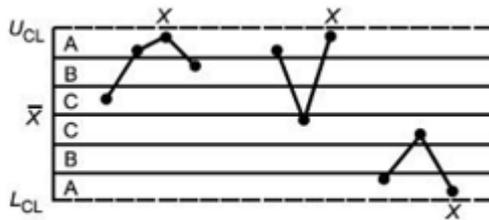


Рисунок 27 – Критерий 5

- Критерий 6: Четыре из пяти последовательных точек расположены в зонах В или А по одну сторону от центральной линии (рисунок 28).

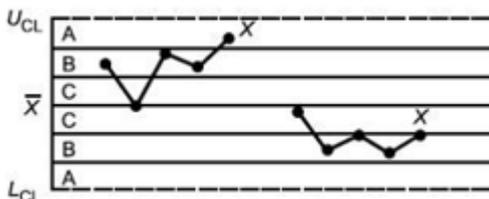


Рисунок 28 – Критерий 6

- Критерий 7: Пятнадцать последовательных точек расположены в зоне С выше или ниже центральной линии (рисунок 29).

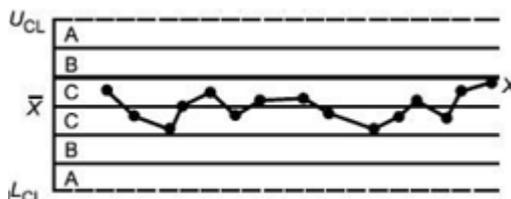


Рисунок 29 – Критерий 7

- Критерий 8: Восемь последовательных точек расположены по обе стороны от центральной линии, но не одна из них не попадает в зону С (рисунок 30).

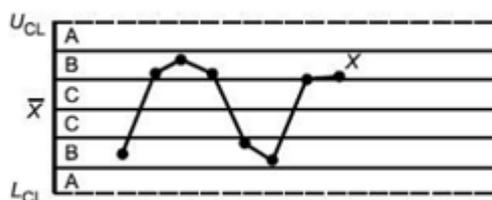


Рисунок 30 – Критерий 8

Программа подразумевает возможность построения карт индивидуальных значений-скользящего размаха.

При использовании карт индивидуальных значений контрольные границы рассчитывают на основе меры вариации, полученной по скользящим размахам обычно двух наблюдений. Скользящий размах – это абсолютное значение разности измерений в последовательных парах, т.е. разность первого и второго измерений, затем второго и третьего и т.д. На основе скользящих размахов вычисляют средний скользящий размах  $\bar{R}$ , который используют для построения контрольных карт. Также по всем данным вычисляют общее среднее  $\bar{X}$ . Контрольные границы для X-карты рассчитываются следующим образом:  $\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$ . Контрольные границы для карты скользящего размаха R рассчитываются следующим образом:  $D_3 \bar{R}$ ,  $D_4 \bar{R}$ . Стоит также заметить, что из таблицы 2 ГОСТ Р 50779.42-99 выясним, что  $E_2 = 3/d_2$ ,  $d_2 = 1,128$ ,  $D_3 = 0$ ,  $D_4 = 3,267$  для объёма выборки равного 2. На рисунках 31, 32 представлены X- и R-карты для тяжелого и лёгкого остатков.

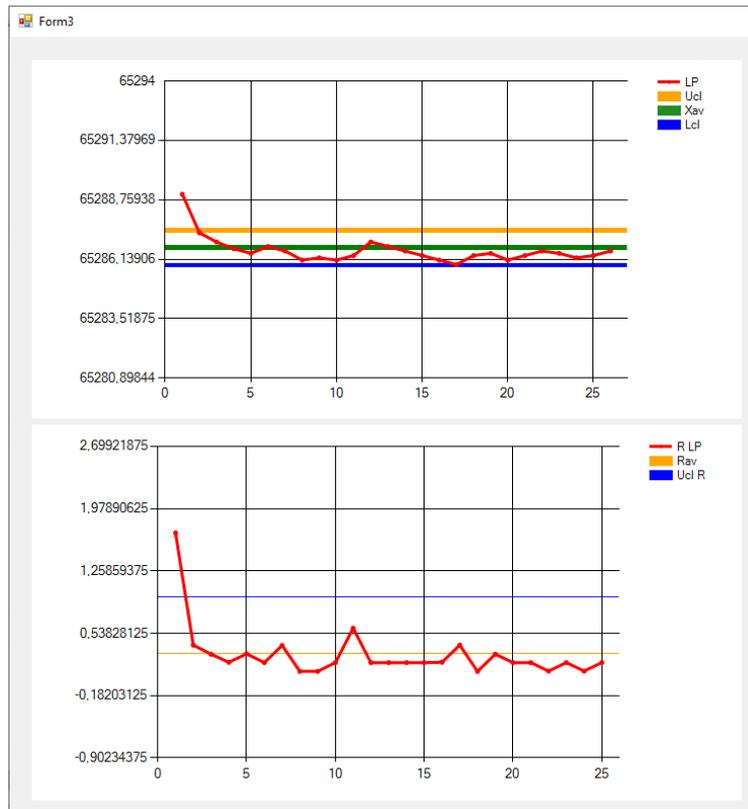


Рисунок 31 – X- и R-карта для лёгкого остатка

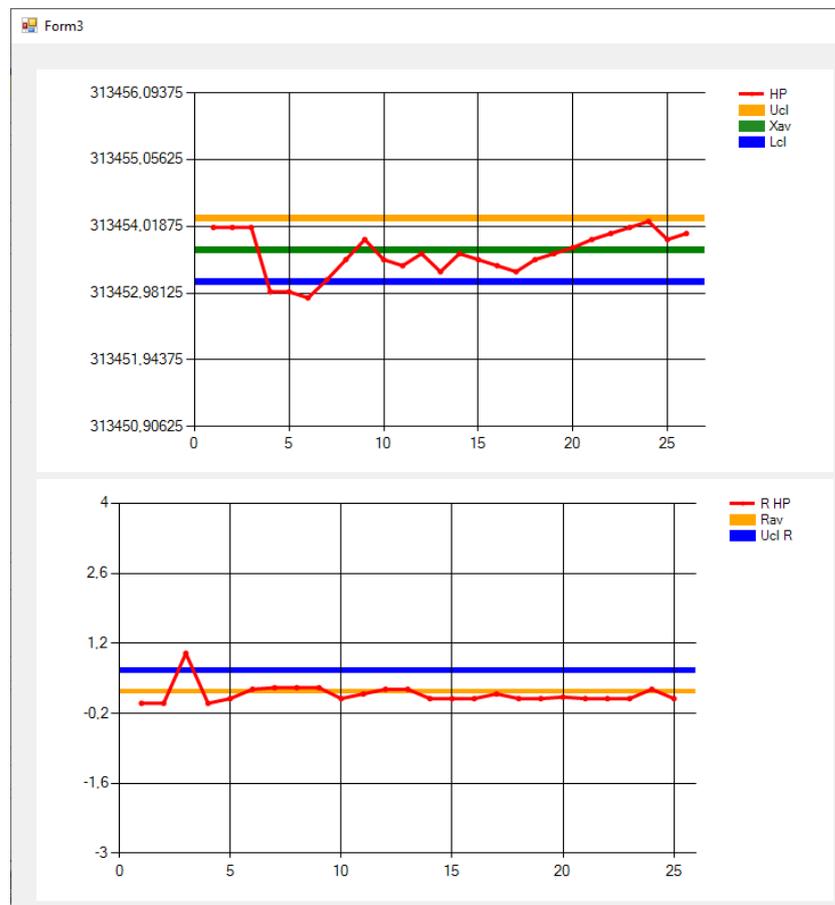


Рисунок 32 – X- и R-карта для тяжелого остатка

### 3.2.5 Анализ контрольных карт

Разработанная программа подразумевает автоматический анализ критериев для выявления особых причин изменчивости технологического процесса. На рисунке 33 представлена контрольная карта с перечислением критериев выявления особых причин, по которым можно судить о разлаженности технологического процесса. Также далее приведен пример листинга кода для определения первого и второго критериев выявления.

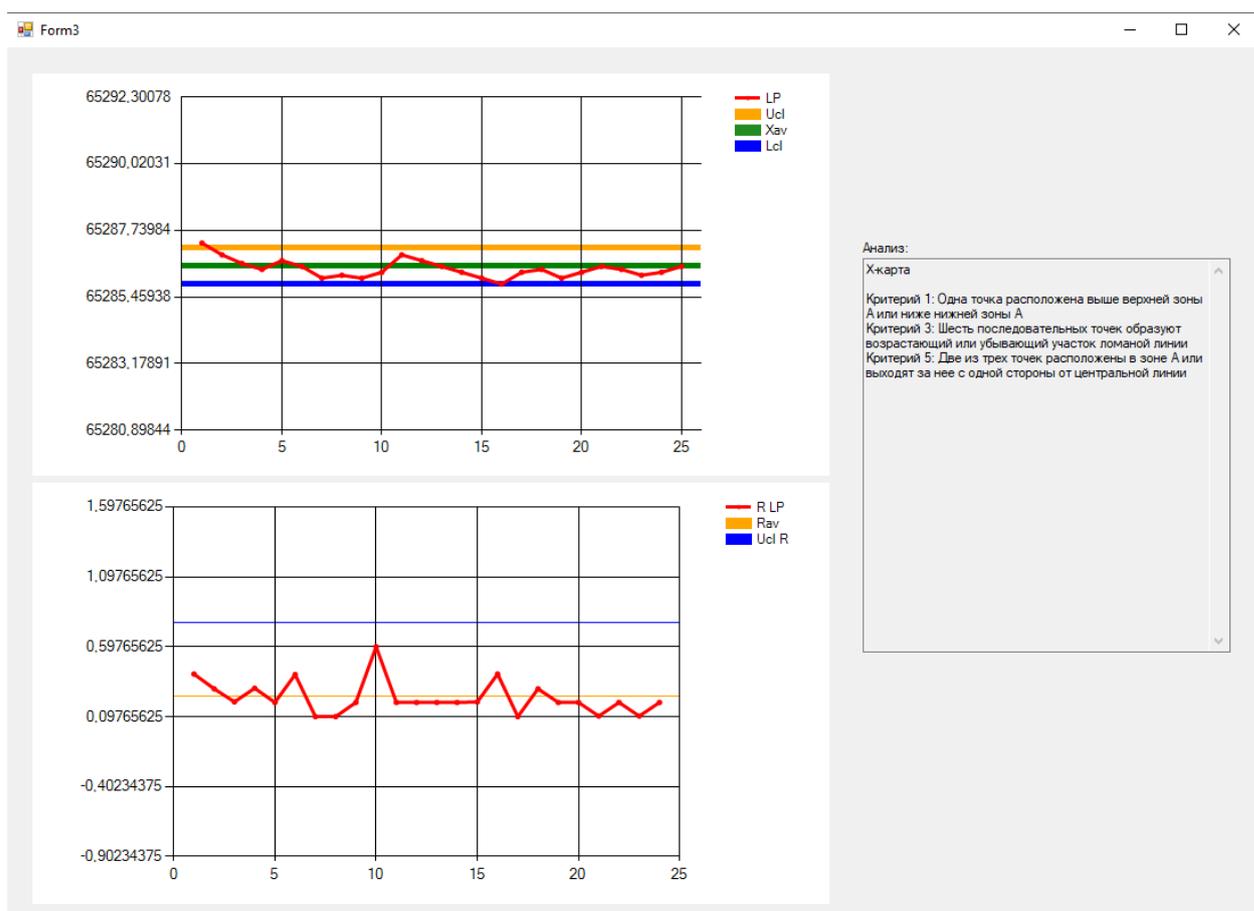


Рисунок 33 – Контрольная карта с критериями

```

public void CheckCrit(double Ucl, double Lcl, float av, List<float> data)
{
    //Критерий 1
    int crit1 = 0;

    foreach (float f in data)
    {
        if (f > Ucl | f < Lcl)
        {
            crit1++;
        }
    }

    if (crit1 == 1)
    {
        textBoxAnalyze.Text += "X-карта" + Environment.NewLine +
Environment.NewLine + "Критерий 1: Одна точка расположена выше верхней зоны А или ниже
нижней зоны А";
    }

    if (crit1 > 1)
    {
        textBoxAnalyze.Text += "X-карта" + Environment.NewLine +
Environment.NewLine + "Критерий 1: Точки расположены выше верхней зоны А или ниже
нижней зоны А";
    }

    //Критерий 2

    double d = (Ucl - av) / 3;

    int crit2_1 = 0;
    int crit2_2 = 0;

    foreach (float f in data)
    {
        if (f <= Ucl - d | f <= Ucl - 2*d & f > av)
        {
            crit2_1++;
        }

        if (f >= Lcl + d | f >= Lcl + 2 * d & f < av)
        {
            crit2_2++;
        }
    }

    if (crit2_1 == 9 | crit2_2 == 9)
    {
        textBoxAnalyze.Text += Environment.NewLine + "Критерий 2: Девять
точек расположены в зоне С и/или зоне В по одну сторону от центральной линии";
    }
}

```

### 3.3 Выводы по разделу

В рамках раздела «разработка системы мониторинга контуров управления перегонкой сырой нефти» на языке С# была реализована программа,

позволяющая обрабатывать и анализировать технологические параметры процесса. Данная программа на основе проведенного анализа влияния контуров на технологический процесс предоставляет пользователю возможность выявить отклонения выхода продукта и возможные причины его возникновения.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время такое понятие как коммерческая ценность разработки является одним из важнейших факторов, определяющим насколько перспективно и ценно будет научное исследование на первых этапах жизненного цикла. Именно коммерческая ценность выступает необходимым условием при поиске финансирования для проведения различных испытаний и внедрения разработки в производство.

Главной целью создания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы

### **4.1 Организация и планирование работ**

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Для реализации проекта необходимы два исполнителя – научный руководитель (НР), инженер (И) – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР); Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

<b>Этапы работы</b>	<b>Исполнители</b>	<b>Загрузка исполнителей</b>
Выбор темы ВКР	НР, И	НР – 100% И – 30%
Составление и утверждение технического задания	НР, И	НР – 100% И – 20%
Подбор и изучение материалов по теме	НР, И	НР – 20% И – 100%

Окончание таблицы 2 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

<b>Этапы работы</b>	<b>Исполнители</b>	<b>Загрузка исполнителей</b>
Календарное планирование работ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Описание технологического процесса	И	И – 100%
Анализ методов мониторинга контуров управления	И	И – 100%
Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	И	И – 100%
Анализ влияния контуров управления на технологический процесс	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка структурной схемы контуров	И	И – 100%
Создание математической модели в среде Simulink MatLab	И	И – 100%
Оценка эффективности контуров управления на основе показателей KPI	И	И – 100%
Разработка алгоритмов повышения эффективности контуров управления	НР, И	НР – 40% И – 100%
Написание раздела «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	И	И – 100%
Написание раздела «социальной ответственности»	И	И – 100%
Проверка работы с руководителем	НР, И	НР – 100% И – 10%
Составление пояснительной записки	НР, И	НР – 30% И – 100%
Подготовка презентации проекта	И	И – 100%

#### 4.1.1 Продолжительность этапов работ

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

$$t_{ож} = \frac{3*t_{\min i} + 2*t_{\max i}}{5}, \quad (41)$$

где  $t_{\min}$  – минимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел/дн.,

$t_{\max}$  – максимальная трудоемкость  $i$ -ой работы, чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (42)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.,

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, примем данный коэффициент  $K_{ВН} = 1$ ,

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ (примем  $K_{Д} = 1,1$ ).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (43)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях,

$T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (44)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни,

$T_{ВД}$  – выходные дни,

$T_{ПД}$  – праздничные дни.

Рассчитаем коэффициент календарности для пятидневной рабочей недели:

$$T_k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,47. \quad (45)$$

В таблице 3 приведены продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. Стоит отметить, что величины трудоемкости этапов по исполнителям  $T_{\text{кд}}$  позволяют построить линейный график осуществления проекта, представленный на рисунке 34.

Таблица 3 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Выбор темы ВКР	НР, И	2	4	2,8	3,1	0,9	4,5	1,4
Составление и утверждение технического задания	НР, И	3	5	3,8	4,2	0,8	6,1	1,2
Подбор и изучение материалов по теме	НР, И	6	8	6,8	1,5	7,5	2,2	11,0
Календарное планирование работ	НР, И	2	3	2,4	2,6	0,3	3,9	0,4
Описание технологического процесса	И	6	8	6,8	0,0	7,5	0,0	11,0
Анализ методов мониторинга контуров управления	И	5	7	5,8	0,0	6,4	0,0	9,4
Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	И	5	6	5,4	0,0	5,9	0,0	8,7

Продолжение таблицы 3 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Анализ влияния контуров управления на технологический процесс	НР, И	6	8	6,8	2,2	7,5	3,3	11,0
Разработка структурной схемы контуров	И	6	8	6,8	0,0	7,5	0,0	11,0
Создание математической модели в среде Simulink MatLab	И	8	9	8,4	0,0	9,2	0,0	13,6
Оценка эффективности контуров управления на основе показателей КРІ	И	4	5	4,4	0,0	4,8	0,0	7,1
Разработка алгоритмов повышения эффективности контуров управления	НР, И	10	12	10,8	4,8	11,9	7,0	17,5

Окончание таблицы 3 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	И	3	5	3,8	0,0	4,2	0,0	6,1
Написание раздела «Социальной ответственности»	И	2	3	2,4	0,0	2,6	0,0	3,9
Проверка работы с руководителем	НР, И	2	3	2,4	2,6	0,3	3,9	0,4
Составление пояснительной записки	НР, И	5	7	5,8	1,9	6,4	2,8	9,4
Подготовка презентации дипломного проекта	И	2	4	2,8	0,0	3,1	0,0	4,5
<b>Итого</b>				<b>88,2</b>	<b>22,9</b>	<b>86,8</b>	<b>33,7</b>	<b>127,5</b>

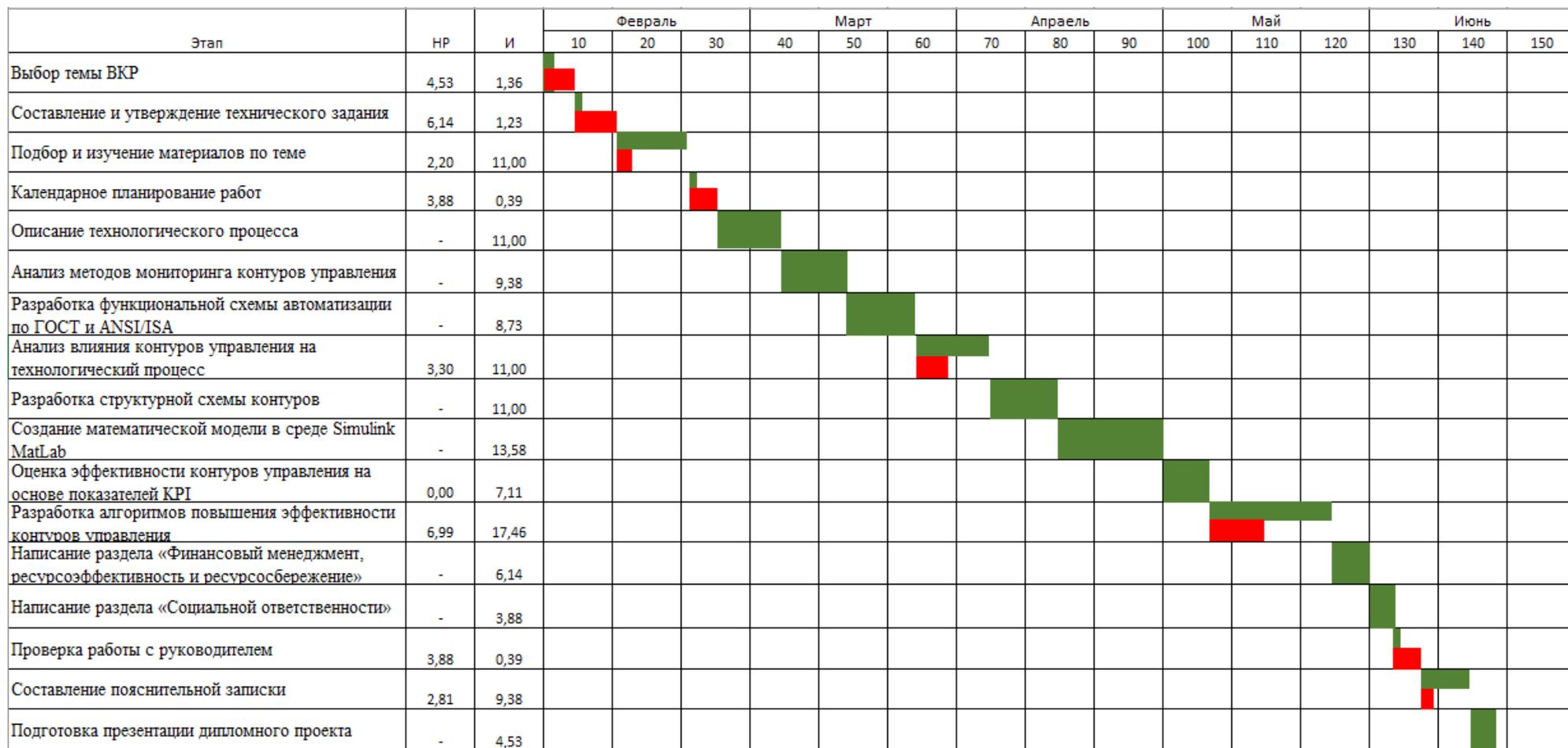


Рисунок 34 – Линейный график осуществления проекта

## 4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные) расходы.

### 4.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы. Примем их как 10% от отпускной цены закупаемых материалов. Затраты на материалы сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Лицензионное ПО MatLaB	5600	1 экз.	5600
Лицензионное ПО Microsoft Office 2019	3200	1 экз.	3200

#### Окончание таблицы 4 – Расчет затрат на материалы

Лицензионное ПО UniSim Design Suite	7000	1 экз.	7000
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	1800	1 шт.	1800
<b>Итого</b>			<b>17850</b>

Расходы на материалы с учетом ТЗР будут равны:  $C_{\text{мат}} = 17850 * 1,1 = 19635$  руб.

#### 4.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{\text{дн-т}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/20,6, \quad (46)$$

учитывающей, что в году 248 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 20,6 рабочих дня (при пятидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 3. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,113$ ;  $K_{\text{р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,113 * 1,3 = 1,6$ . Данные значения взяты для пятидневной рабочей недели.

Таблица 5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/п., руб.
НР	33 664	1634	23	1,6	60 131,2
И	13 500	655	87	1,6	91 176
<b>Итого</b>					<b>151 307,2</b>

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту, т.е.  $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3$ .  
Итак, в нашем случае  $C_{\text{соц.}} = 151\,307,2 * 0,3 = 45\,392,16$  руб.

#### 4.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (47)$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт,

$Ц_{\text{э}}$  – тариф на 1 кВт·час,  $t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{\text{э}} = 6,59$  руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ( $T_{\text{рд}}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (48)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{рД}$ , примем данный коэффициент равным 0,7.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{ОБ} = P_{ном.} * K_C, \quad (49)$$

где  $P_{ном.}$  – номинальная мощность оборудования, кВт,

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{ОБ}$ , час	Потребляемая мощность $P_{ОБ}$ , кВт	Затраты $\Delta_{ОБ}$ , руб.
Персональный компьютер	696*0,7	0,3	963,2
Струйный принтер	2	0,1	1,3
<b>Итого</b>			<b>964,5</b>

#### 4.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{АМ} = \frac{N_A * C_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}, \quad (50)$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования,

$C_{ОБ}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР,

$F_d$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из фактического режима его использования в текущем календарном году,

$t_{pf}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта,

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Для определения  $N_A$  следует обратиться к фрагменту из постановления правительства РФ «О классификации основных средств, включенных в амортизационные группы». Оно позволяет получить рамочные значения сроков амортизации (полезного использования) оборудования (СА). Для ПК это  $2 \div 3$  года. Необходимо задать конкретное значение СА из указанного интервала, примем это значение 2 года. Далее определяется  $N_A$  как величина обратная СА, в данном случае это 0,5. Аналогичное значение будет для принтера.

Рассчитаем  $C_{AM}$  для ПК. Стоимость ПК 60000 руб., время использования 696 часа,  $N_A = 0,5$ ,  $F_d = 248 * 8 = 1984$  часов (для пятидневной рабочей недели):

$$C_{AM} = \frac{0,5 * 60000 * 696 * 1}{1984} = 10\,524 \text{ руб.} \quad (51)$$

Рассчитаем  $C_{AM}$  для принтера. Стоимость принтера 7000 руб., время использования 2 часа,  $N_A = 0,5$ ,  $F_d = 300$  часов:

$$C_{AM} = \frac{0,5 * 7000 * 2 * 1}{300} = 23 \text{ руб.} \quad (52)$$

Итого начислено амортизации 10 547 руб.

#### **4.2.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов**

К данному пункту можно отнести плату за услуги интернет-связи за 5 месяцев (февраль-июнь) при ежемесячной плате 380 рублей. Таким образом,  $C_{np} = 380 * 5 = 1900$  руб.

#### 4.2.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 = (19\,635 + 151\,307,2 + 45\,392,16 + 964,5 + 10\,547 + 1900) \cdot 0,1 = 22\,974,6 \text{ руб.} \quad (53)$$

#### 4.2.8 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 7– Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	19 635
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	151 307,2
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	45 392,16
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	964,5
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	10 547
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	1900
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	22974,6
<b>Итого</b>		<b>252 720,5</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 252\,720,5$  руб.

#### **4.2.9 Расчет прибыли**

В связи с тем, что мы не располагаем данными для определения точной величины прибыли примем данное значение как 15% от полной себестоимости проекта. Таким образом, прибыль составляет 37 908,1 руб.

#### **4.2.10 Расчет НДС**

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это:

$$C_{\text{НДС}} = (252\,720,5 + 37\,908,1) * 0,2 = 58125,72 \text{ руб.} \quad (54)$$

#### **4.2.11 Цена разработки НИР**

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 252\,720,5 + 37\,908,1 + 58125,72 = 348\,754,32 \text{ руб.} \quad (55)$$

### **4.3 Оценка экономической эффективности проекта**

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. С точки зрения автоматизированного контроля контуров регулирования нефтеперерабатывающего производства является поддержание оптимальной производительности установки, а также производительности контуров управления, которые должны быть настроены на максимальную производительность. Данный эффект может быть достигнут только путем мониторинга производительности контура и принятия надлежащих корректирующих действий при обнаружении низкой производительности.

Основные задачи, которые способен решить автоматизированный контроль контуров регулирования нефтеперерабатывающего производства:

- улучшение качества ведения технологического процесса и его безопасности;
- увеличение скорости действий работников благодаря повышению уровня достоверности и информативности данных;

- повышение технико-экономических показателей работы (повышение качества и снижение потерь, снижение эксплуатационных затрат, снижение трудоемкости по управлению и контролю технологического процесса).

Таким образом, разработанный проект имеет возможность повысить экономические показатели работы предприятия, а именно: выход полезного продукта и сократить время простоя оборудования, однако в рамках данной работы не представляется возможным рассчитать прибыль проекта и, следовательно период окупаемости, так как данная разработка не была применена на действующем предприятии. Стоит отметить, что при внедрении системы мониторинга эффективности контуров управления ожидается увеличение производительности оборудования на 5-10%, так как при малейшем отклонении значений регулятора от заданных данное изменение будет корректироваться, тем самым сократятся потери полезного продукта.

## **5. Социальная ответственность**

В разделе социальная ответственность рассматриваются вопросы обнаружения и анализа вредных и опасных факторов труда на рабочем месте инженера, минимизация негативных последствий проектируемой деятельности в соответствии с требованиями санитарных норм и правил, техники безопасности и пожарной безопасности.

Целью магистерской диссертации является разработка и исследование автоматизированной системы мониторинга ключевых показателей эффективности контуров автоматического регулирования нефтехимического производства.

В первую очередь стоит отметить основные задачи, которые способен решить автоматизированный контроль контуров регулирования нефтеперерабатывающего производства:

- улучшение качества ведения ТП и его безопасности;
- увеличение скорости действий работников благодаря повышению уровня достоверности и информативности данных;
- повышение технико-экономических показателей работы (повышение качества и снижение потерь, снижение эксплуатационных затрат, снижение трудоемкости по управлению и контролю ТП).

Объектом исследования является модель технологического процесса переработки сырой нефти разработанная в Honeywell UniSim design suite. Результатом работы является система мониторинга эффективности контуров управления, разработанная на языке программирования C#.

### **5.1 Аннотация**

Написание выпускной квалификационной работы проходило в рамках преддипломной практики в компании ООО «СИБУР ИТ», Центр информационных технологий «Восток» – Управление по внедрению информационно-производственных систем, на рабочем месте специалиста по

внедрению MES систем. На рисунке 35 представлен план кабинета, в котором осуществлялась трудовая деятельность.

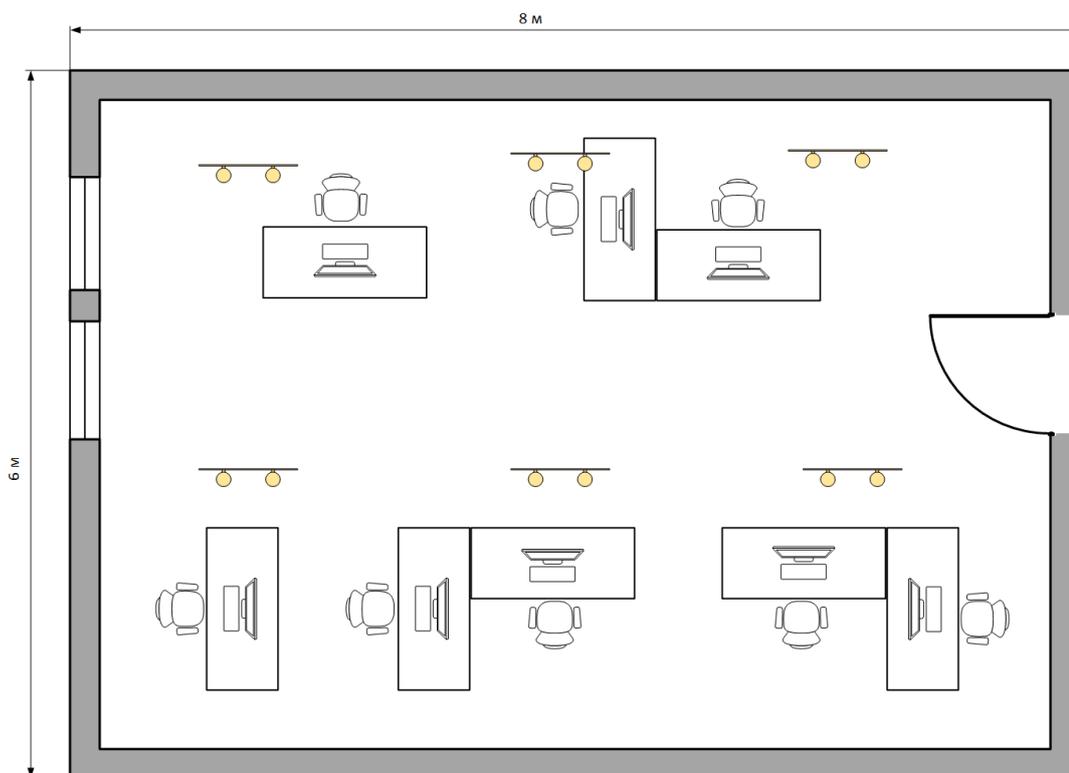


Рисунок 35 – План кабинета

В рамках выполнения ВКР было сделано следующее:

- подбор и изучение материалов по теме;
- описание технологического процесса;
- анализ методов мониторинга контуров управления;
- анализ влияния контуров управления на технологический процесс;
- оценка эффективности контуров управления на основе показателей КРІ;
- разработка интерфейса вывода технологических параметров;
- разработка системы мониторинга контуров управления на языке программирования С#;
- построение контрольных карт Шухарта с автоматическим анализом данных.

Далее в подразделе 5.4.6 приведен расчет освещенности рабочего места в кабинете 309, корпуса 1139, где проходило написание ВКР.

## **5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор предприятия, а также главный инженер. Функции государственного надзора и контроля в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляются специально уполномоченными на то государственными органами и инспекциями согласно федеральным законам. Трудовой кодекс РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 определяют основные нормы безопасности трудовой деятельности и к рабочему месту сотрудника соответственно.

Работа с компьютером характеризуется умственным напряжением и высокой напряженностью зрительной работы, поэтому большое значение имеет расположение элементов рабочего места для поддержания оптимальной рабочей позы человека. Рабочее помещение, в котором присутствуют персональные компьютеры, должно удовлетворять эргономическим требованиям:

1. Помещение должно иметь естественное и искусственное освещение.
2. Рабочие места по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева.
3. Площадь на одно рабочее место пользователя персонального компьютера на базе электроннолучевой трубки должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>,

на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м<sup>2</sup>.

4. При размещении рабочих мест с компьютерами расстояние между рабочими столами с мониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

5. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

6. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм.

7. В помещениях с компьютерами ежедневно должна проводиться влажная уборка.

### **5.3 Производственная безопасность**

В соответствии с ГОСТ 12.0.002-80 вредным производственным фактором является производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях может привести к заболеванию, снижению работоспособности и (или) отрицательному влиянию на здоровье потомства, а опасным производственным фактором – фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья, или смерти.

Наиболее существенными вредными факторами являются: отклонение показателей микроклимата рабочей зоны, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенный уровень шума, электромагнитные излучения, ионизирующее излучение. Также стоит учесть и опасные факторы, к данным факторам в первую очередь относятся: поражение электрическим током, а также опасные факторы, связанные с пожаром, например: огонь, дым, повышенная температура окружающей среды.

Возможные опасные и вредные факторы сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений
Повышенный уровень шума	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
Электромагнитные излучения	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
Ионизирующее излучение	+	+	ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения, термины и определения
Поражение электрическим током	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
Опасные факторы, связанные с пожаром	+	+	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

## 5.4 Анализ опасных и вредных факторов

### 5.4.1 Микроклимат производственных помещений

Комфортность труда и высокая производительность работающего зависит от микроклимата в помещении. Микроклимат определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата, согласно СанПиН 2.2.4.548–96, обеспечивающие комфортную работу трудящегося, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, поддерживают высокий уровень работоспособности [14].

В таблице 9 приведены рекомендуемые параметры микроклимата.

Таблица 9 – Рекомендуемые параметры микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22-24)	(21-25)	(60-40)	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(23-25)	(22-26)	(60-40)	0,1

Выполняемые работы относятся к категории Ia (работы с интенсивностью энергозатрат до 139 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением). Следовательно, в рабочем помещении должна поддерживаться температура 22 - 24°С в холодное время года, 23 - 25°С в теплый период года.

Таким образом, для обеспечения заданного интервала температур необходимо обеспечить помещение системой кондиционирования, либо в летний период регулярно проветривать помещение, а в зимний использовать обогреватели.

#### 5.4.2 Повышенный уровень шума

Важной характеристикой рабочего помещения является уровень шума. Шумом называют любой нежелательный звук или совокупность таких звуков. Длительное воздействие шума может отрицательно сказаться на здоровье работника, а в некоторых крайних случаях даже привести к глухоте [15].

Для описываемого помещения основными источниками шума можно считать:

- шум систем охлаждения ПК;
- уличный шум;
- бытовые шумы.

Для выполняемых работ (легкая физическая нагрузка, напряженный труд 1 степени) уровень звука не должен превышать 60дБА. Для уменьшения шумов, генерируемых персональными компьютерами, рекомендуется проводить их

регулярную диагностику, выполнять чистку и устранение неисправностей. Для устранения бытовых шумов может быть применена звукоизоляция.

### **5.4.3 Электромагнитные излучения**

Источником электромагнитных излучений являются любые электроприборы, к которым относится и ЭВМ. Длительное воздействие электромагнитного поля на организм человека может вызвать нарушение функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем, что выражается в повышенной утомляемости, снижении качества выполнения рабочих операций, сильных болях в области сердца, изменении кровяного давления и пульса.

Оценка опасности воздействия электромагнитного поля на человека производится по величине электромагнитной энергии, поглощаемой телом человека, с учетом электрической и магнитной напряженностей поля. Практически при обслуживании даже мощных, электроустановок высокого напряжения магнитная напряженность значительно меньше опасной (в 8 раз), поэтому оценку потенциальной опасности воздействия электромагнитного поля достаточно производить по величине электрической напряженности поля. В соответствии с ГОСТ 12.1.002—84, ССБТ «Электромагнитные поля токов промышленной частоты. Общие требования безопасности», нормы допустимых уровней напряженности электромагнитных полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Присутствие персонала на рабочем месте в течение 8 ч допускается при напряженности, не превышающей 5 кВ/м. Основными видами средств коллективной защиты от воздействия электромагнитного поля токов промышленной частоты являются стационарные или переносные заземленные экранирующие устройства. Так как электромагнитное излучение в месте работы не превышает 5 кВ/м, применение экранирующих устройств не требуется [16].

#### 5.4.4 Ионизирующее излучение

Основным источником ионизирующего излучения является дисплей компьютера (ЭВМ).

Ионизирующее излучение может вызывать торможение функций кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма к инфекционным заболеваниям [17].

Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. Конструкция ПЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса не более 1 мкЗв/час (100 мкР/час).

Для защиты от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

- для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранении здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;
- дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до сотрудника было не менее 60-70 см;
- должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами.

Для мониторов рекомендуется следующее дооснащение:

- защитный фильтр для экрана, ослабляющий переменное электрическое и электростатическое поля;
- для одиночных ЭВМ или их однорядном расположении – специальное защитное покрытие на переднюю панель и боковые стенки;
- при многорядном расположении ЭВМ, если соседние рабочие места располагаются близко друг к другу (на расстоянии 1,2...2,5 м) – защитное покрытие задней и боковых стенок, монтирование специальных экранирующих

панелей с задней и боковых сторон монитора, установка перегородок между различными пользователями.

#### **5.4.5 Освещённость рабочей зоны**

Производственное освещение — неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека.

При правильно организованном освещении рабочего места сохраняется зрение человека и нормальное состояние его нервной системы, а также обеспечивается безопасность в процессе производства.

Производительность труда и качество выпускаемой продукции находятся в прямой зависимости от освещения.

Рабочая зона освещается таким образом, чтобы можно было отчетливо видеть процесс работы, не напрягая при этом зрения. Осветительные приборы и рабочее место располагаются таким образом, чтобы отсутствовало прямое попадание лучей источника света в глаза [18].

Уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. Наименьший размер объекта различения составляет 0.5 – 1 мм. В помещении присутствует естественное освещение. По нормам освещенности и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам средней точности для любого типа помещений. Нормирование освещённости для работы за ПК приведено в таблице 10.

Таблица 10 – Нормирование освещенности для работы с ПК

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение		Естественное освещение	
			Освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Коэффициент пульсации освещенности КП, %, не более	КЕО, %, при	
					верхнем или комбинированном	боковом
Средней точности	От 0,5 до 0,1	Не менее 70	200	5	4	1,5
		Менее 70	150	10	4	1,5

#### 5.4.6 Расчет освещенности рабочего места

Далее необходимо произвести расчет освещенности рабочего места, а именно 309 кабинета, корпуса 1139 компании ООО «СИБУР». Данный расчет сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников и их типа. Искусственное освещение выполняется посредством электрических источников света: ламп накаливания и люминесцентных ламп. Люминесцентные лампы имеют ряд преимуществ: по спектральному составу света они близки естественному свету; обладают высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); имеют более длительный срок службы.

Расчет освещения производится для кабинета площадью 48м<sup>2</sup>, ширина которого – 6м, а длина – 8 м, схема кабинета представлена на рисунке 35. Определение количества светильников осуществляется методом светового потока. Для этого определим световой поток  $F$ , падающий на поверхность:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n}, \quad (56)$$

где  $F$  – рассчитываемый световой поток, Лм,

$E$  – нормированная минимальная освещенность, Лк. Работа программиста относится к разряду точных работ ( $E=300\text{Лк}$ ),

$S$  – площадь освещаемого помещения ( $S= 48\text{м}^2$ ),

$Z$  – отношение средней освещенности к минимальной ( $Z= 1,1$  согласно СНиП 23-05-95),

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации (согласно [19] значения коэффициента запаса  $K$  равно 1,5),

$n$  – коэффициент использования (определяется по таблице коэффициентов использования различных светильников).

Для расчета коэффициента использования необходимо вычислить индекс помещения по формуле:

$$I = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (57)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $S = 48 \text{ м}^2$ ,

$h$  – расчетная высота подвеса,  $h= 3,2 \text{ м}$ ,

$A$  – ширина помещения,  $A= 6 \text{ м}$ ,

$B$  – длина помещения,  $B= 8 \text{ м}$ .

По имеющимся данным рассчитаем индекс помещения:

$$I = \frac{48}{3,2 \cdot (6 + 8)} = 1,07. \quad (58)$$

Согласно таблице 2.2 значений коэффициента использования светового потока светильников [4], значение коэффициента использования  $n= 0,48$ .

Из полученных данных находим значение светового потока  $F$ :

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 48 \cdot 1,1}{0,48} = 49500\text{Лм}. \quad (59)$$

Для освещения выберем люминесцентные лампы типа ЛБ40-1, световой поток которых  $F = 4320$  Лк. Рассчитаем необходимое количество ламп по формуле:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}, \quad (60)$$

Где  $N$  – определяемое число ламп,

$F$  – световой поток,  $F = 49500$  Лм,

$F_{\text{л}}$  – световой поток лампы,  $F_{\text{л}} = 4320$  Лм.

$$N = \frac{49500}{4320} = 12 \text{ шт.} \quad (61)$$

Таким образом кабинет должен быть оснащён 12 люминесцентными лампами. В кабинете 309, корпуса 1139 компании ООО «СИБУР» имеется 6 светильников, укомплектованных двумя лампами каждый, что соответствует расчётам, приведенным выше.

#### 5.4.7 Электробезопасность

ПЭВМ и периферийные устройства являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. При работе с компьютером возможен удар током при соприкосновении с токоведущими частями оборудования.

Рабочие места с ПЭВМ должны быть оборудованы защитным занулением. Подача электрического тока в помещение должна осуществляться от отдельного независимого источника питания. Необходима изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль. Должны быть предусмотрены защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировка [20].

Электрические изделия по способу защиты человека от поражения электрическим током подразделяются на пять классов: 0, 01, 1, 2, 3.

ЭВМ можно отнести к классу 01, то есть, к изделиям, имеющим рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для

присоединения к источнику питания. При начале работы с ЭВМ необходимо проверить герметичность корпуса, не открыты ли токоведущие части.

Помещение, в котором расположено рабочее место, относится к категории помещений без повышенной опасности, и соответствует установленным условиям:

- напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха 50%;
- средняя температура около 24°C;
- наличие непроводящего полового покрытия.

#### **5.4.8 Пожарная безопасность**

Помещения, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д в соответствии НПБ от 18.06.2003 г. №105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [21].

Здание, где расположено рабочее место, относится к категории «Д» по степени пожарной опасности, так как в нем отсутствует обработка пожароопасных веществ, отсутствуют источники открытого огня. А стены здания и перекрытия выполнены из трудно сгораемых и несгораемых материалов (кирпич, железобетон, и др.).

При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической сети может произойти возгорание, которое грозит уничтожением ПЭВМ, документов и другого имеющегося оборудования. Система вентиляции может стать источником распространения возгорания.

В качестве возможных причин пожара можно указать следующие:

- короткие замыкания;
- перегрузка сетей, которая ведет за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции.

Необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

Организационные мероприятия предусматривают:

- противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- обеспечение свободного подхода к оборудованию;
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

Технические мероприятия:

- установка датчиков пожарной сигнализации, реагирующих на появление дыма;
- наличие системы оповещения персонала в случае аварийных ситуаций;
- соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения;
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

## **5.5 Экологическая безопасность**

### **5.5.1 Анализ воздействия на окружающую среду**

Анализ воздействия на окружающую среду необходим для оценки возможности проведения разработки. В данной разработке могут быть выделены следующие потенциальные угрозы для окружающей среды:

- загрязнение атмосферы;
- загрязнение гидросферы;
- загрязнение почв.

При выполнении данной разработки необходимо контролировать утилизацию отходов, к которым относятся печатные бумажные материалы,

расходные части печатающих устройств, вышедшие из строя комплектующие ПК и периферийные устройства (в том числе их комплектующие).

Для защиты окружающей среды от перечисленных выше факторов необходимо соблюдать правила утилизации твердых отходов и комплектующих ПЭВМ:

- сдавать бумажные отходы в специальные организации для дальнейшей их переработки;
- обращаться в специальные организации для утилизации вышедших из строя комплектующих и расходных материалов.

## **5.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.6.1 Перечень возможных чрезвычайных ситуаций на объекте**

Основной чрезвычайной ситуацией, возможной при выполнении работы можно считать пожар.

Основными причинами возникновения пожара считаются:

- использование неисправных электроприборов;
- перегрузка сети;
- курение не в специальных местах;
- оставление электрических приборов без присмотра на долгое время.

Пожар может нанести не только вред здоровью, но и материальный ущерб. Применимо к выполняемой работе в случае пожара могут быть уничтожены бумажные документы и\или электронные носители информации. Для защиты информации рекомендуется использовать облачные хранилища данных для данных и документов. Для исходных кодов программ рекомендуется использовать системы контроля версий.

При обнаружении пожара необходимо:

1. Сообщить в пожарную охрану по телефону 01 или 112 (с мобильного телефона).
2. Оповестить лиц, находящихся в здании, о пожаре.
3. Предпринять действия, способные прекратить пожар.

4. При опасности поражения электрическим током отключить электроэнергию.

5. Эвакуироваться.

Ликвидация последствий пожара в помещении любого назначения требует больших усилий. Проведение подобных работ требует определенной последовательности от специалистов компании, для того чтобы работы осуществлялись по намеченному графику. В первую очередь необходимо очистить помещение от мусора, который скопился после пожара. После этого можно приступать непосредственно к устранению следов пожара и удалению слоя копоти с поверхностей.

Для того чтобы ликвидация последствий пожара в помещении осуществлялась эффективнее и быстрее, специалисты компаний используют различное оборудование, такое как пеногенераторы и специальные мойки под давлением.

### **5.7 Выводы по разделу**

В рамках раздела «социальная ответственность» были выявлены и проанализированы наиболее вероятные вредные и опасные производственные факторы, а также предложены мероприятия по снижению уровней их воздействия на работника. Была приведена аннотация с описанием рабочего места и перечнем выполненных работ. Произведен расчет освещенности рабочего места. Помимо этого, в подразделе «экологическая безопасность» рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Также рассмотрены наиболее возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте и алгоритм действий при их возникновении.

## Заключение

В ходе выполнения ВКР были проанализированы методы мониторинга производительности контуров управления, был рассмотрен основной функционал программных продуктов, изучены недостатки и преимущества программного обеспечения для оценки производительности контуров. Также были проведены анализ влияния контуров управления на технологический процесс, оценка эффективности контуров управления.

Помимо этого, был разработан интерфейс вывода технологических параметров, система мониторинга эффективности контуров на языке программирования C#, а также методика построения и автоматический анализ контрольных карт Шухарта.

Разработанная система мониторинга имеет возможность расширения и модернизации, в соответствии с растущими требованиями и технологическими возможностями.

## Список используемой литературы

1. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Клюев А. А.; под ред. А.С. Клюева. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
2. Комиссарчик В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие. Тверь 2001. – 247 с.
3. Попович Н. Г., Ковальчук А.В., Красовский Е.П., Автоматизация производственных процессов и установок. – К.: Вицашк. Головное изд-во, 1986. – 311с.
4. Tuning Guidelines for Utility Fossil Plant Process Control. Volume 2, The Technician's Guide to Tuning.EPRI , Palo Alto, CA: 1994. TR-102052.
5. N.F. Thornhill, M.A.A.S Choudhury, and S.L. Shah, The impact of compression on data-driven process analyses, Journal of Process Control, 14, 389–398, 2004
6. N.F. Thornhill, B. Huang, H. Zhang, Detection of multiple oscillations in control loops, Journal of Process Control 13, 91–100, 2003
7. L.D. Desborough, and T.J. Harris, Performance assessment measures for univariate feedback control, Canadian Journal of Chemical Engineering, 70, 1186-1197, 1992
8. Powermag. [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://www.powermag.com/monitoring-control-loop-performance/> (дата обращения: 2.04.2018).
9. Громаков Е. И., Лиепиныш А.В. Проектирование автоматизированных систем управления нефтегазовыми производствами: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2016, – 371с.

10. Виноградов С.Н., Таранцев К.В. Выбор и расчет теплообменников // учебное пособие, Пенза 2001. – 100 с.
11. Cadis. [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: [https://www.cad-is.ru/blog\\_post/floefd-gidrodinamika-kpd-teploobmennika](https://www.cad-is.ru/blog_post/floefd-gidrodinamika-kpd-teploobmennika) (дата обращения: 25.04.2018).
12. АДЛ (Разработка, производство и поставки оборудования для инженерных систем) [Электронный ресурс] – Режим доступа – URL: <https://adl.ru/about/publications/truboprovodnaya-armatura/pravila-podbora-reguliruyushchikh-klapanov> (дата обращения: 28.04.2018).
13. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта
14. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
15. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
16. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
17. ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения, термины и определения
18. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
19. Сапронов, Ю.Г. Аттестация рабочих мест по условиям освещённости: лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности. – Шахты: ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2010. – 64 с.
20. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
21. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

## Приложение А

(справочное)

Раздел на ИЯ

### Automated control of petrochemical production control loops

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Яненц Артур Александрович		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Горбатова Татьяна Николаевна			

## **Monitoring Control Loop Performance**

Control loop performance-monitoring software can help to improve loop performance by automatically collecting data, assessing several aspects of loop performance, and providing the results in reports and user interfaces.

Several control loop performance-monitoring (CLPM) software products have become commercially available over the past decade. These products automatically monitor the performance of control loops. They potentially identify several aspects of poor control and can generate a prioritized list of problem loops with diagnoses of the individual problems so that these can be corrected [1].

Control loop monitoring solutions are available from distributed control system (DCS) vendors and third-party software companies, including ABB, AspenTech, Capstone Technology, Control Arts, ControlSoft, Control Station, Emerson, ExperTune, Honeywell/Matrikon, PAS, and RoviSys. The products vary in the range of analyses they perform, presentation of results, reporting features, and data collection methods, but they all aim to identify and report on poorly performing control loops.

Although there are differences in the features and presentation methods from one CLPM product to another, most provide the following core functions:

- Automatically collect process data for analysis.
- Assess the dynamic performance of control loops.
- Diagnose loop performance problems.
- Represent loop performance with a set of metrics.
- Aggregate loop performance metrics into high-level key performance indicators (KPIs).
- Present loop performance in user interfaces and/or reports.

The first requirement for monitoring the performance of control loops is access to uncompressed process data sampled sufficiently fast to capture the loop dynamics (Figure 36). A good way of collecting process data for loop monitoring is through object linking and embedding for process control (OPC) with real-time data access (DA) because it is supported by all modern control systems, and it gives the loop-monitoring software the most control over sampling rate and data resolution. Careful

consideration should be given to the rate at which loop performance assessment software acquires data from the data server to avoid overloading it [2].

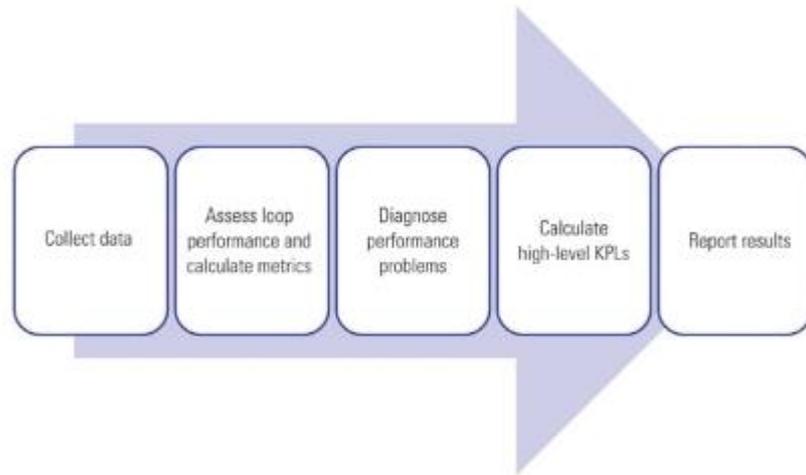


Figure 36 – Monitoring Control Loop Performance

Because CLPM software will likely have multiple users, a client-server architecture is essential. The server is responsible for collecting data, running the analyses, historicizing the results, sending out scheduled reports, and delivering performance results on request from client applications. The client applications can be used by engineers, technicians, and managers distributed throughout the enterprise. Some plants require web browser access for viewing plant data and reports to minimize the need for software installations and upgrades on client machines.

### **Analyzing Loop Performance**

Loop performance should be assessed from various perspectives. For example, a control loop has to run in automatic control mode, be stable and responsive, and reduce process variability [2]. Each aspect of loop performance can be expressed as a metric. The metrics can be compared to thresholds for proper loop performance. If one or more metric exceeds its threshold, the loop can be flagged as having poor performance and the offending metric(s) can indicate the reason. Maintenance or engineering staff can then attend to the problem. Some loop performance metrics are based on simple statistical calculations; others require complex algorithms based on time-series and frequency-domain analysis.

The following metrics are essential for assessing the performance of the control loop, but CLPM packages provide many more:

- Percentage of time the controller is not in its correct mode (or in manual)
- Controller responsiveness to setpoint changes and disturbances
- Tendency of loop to oscillate
- Percentage of time the controller output is at its limits
- Standard deviation in error
- Measurement noise
- Maximum deviation from setpoint

Diagnosis of control problems is an important feature but has the potential for confusion. If a control loop has an issue for which the severity is at the threshold of detection, the software can report this problem intermittently as operating conditions change from one assessment period to the next. If a loop has more than one issue like this, its performance history can sometimes indicate a problem, or sometimes not. This can be confusing to a user who is looking for a single, unambiguous path to resolving the problem. [3]

It is often difficult to find the root cause of process oscillations on highly interactive processes.

There is a two-phased approach to resolving this problem. First, all the loops affected by the oscillation must be identified, and then the foremost leading loop must be identified. Some CLPM software packages have multivariant interaction analysis that can potentially help to identify all the loops affected by a common oscillation and pinpoint the cause.

For long-term monitoring of control loop performance, it is useful to have aggregated loop performance metrics such as the number of loops in manual or the average performance index of all control loops. KPIs can be used for this. For control performance, KPIs can be a unit- or plant-level aggregation of the performance of individual control loops.

### **Benefits of Loop Performance Assessment Software**

Although it might be difficult to establish a dollar value for the return on investment, many benefits are associated with the information, analysis, and diagnoses provided by control loop performance-monitoring software.

For example, when experienced employees retire, they are replaced by younger ones who have less experience. CLPM software can be useful for less-experienced process control engineers and technicians by helping them differentiate between good and poor loop performance and helping them diagnose the causes of poor loop performance.

There are several additional ways in which loop performance assessment software can improve work processes, raise efficiency, and save time. These are described in more detail below [4].

- **Assessing Loop Performance Automatically.** A typical coal-fired power plant has several hundred control loops. CLPM software assesses the performance of hundreds or thousands of control loops without the need for human intervention. The software can identify poorly performing control loops so that these can be attended to.

- **Prioritizing Bad Actors.** If the important control loops perform poorly, those of minor importance aren't efficient too. In this case the important loops are the first to get involved into work. When CLPM software considers both the performance and the importance of control loops, it can provide a prioritized list of poorly performing loops.

- **Diagnosing Control Problems.** CLPM software not only indicates which loops have poor performance, but it also attempts to give a diagnosis of why the performance is poor.

- **Providing Guidance on Problem Resolution.** CLPM software can provide steps for validating the diagnosis and resolving the problem. This is vital information for the non-expert. [4]

### **Technological process description**

The flow diagram of the oil distillation process is shown in Figure 37.

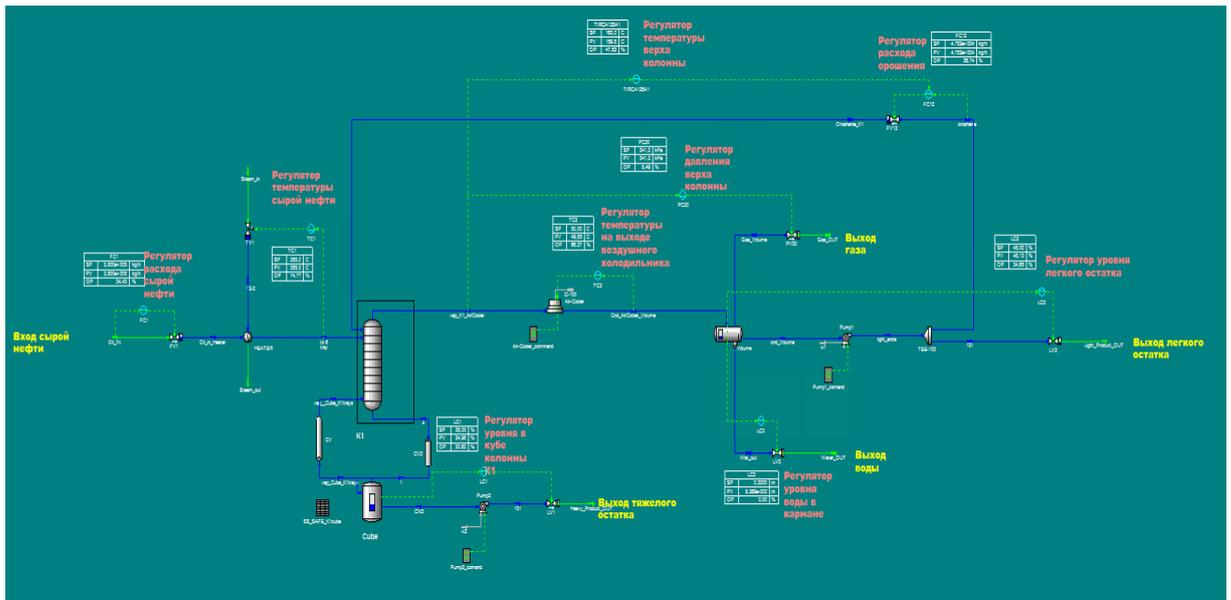


Figure 37 – Process diagram

Crude oil enters the system through the valve FV1, the flow rate is set using the FC1 regulator and, depending on its value, the degree of opening FV1 can be set. Next the oil enters the heater with a water vapor, which acts as an intermediate coolant. Required temperature of the crude oil can be set using controller TC1 and, depending on this value, the valve TV1 either opens or closes. Through the valve TV1 steam enters the heater and transfers its heat to the oil, after this the exhaust steam is removed from the system.

Then heated oil enters the column, where saturated water vapor, which transfers its heat to the liquid of a heavy residue, is supplied to the intertube space of the bottom of the column. The liquid begins to boil. As a result, a vapor-liquid mixture, which leaves the column, rises through the pipes, and enters the residual oil separator. Liquid and vapor phases are separated under the separator working disk: the liquid flows to the bottom of the separator and is sucked out of the pump as an oil residue, and after that the steam is returned to the column. The level of oil residue is adjusted using LC1.

At the same time, oil vapor rises to the top of the column, separated by metal disks with holes, which are covered by caps. The mixture of oil vapor is then cooled and condensed on the appropriate disks. Irrigation is performed at the top of the column, using part of the low-boiling fraction as an irrigator. Gasoline vapors are

discharged from the column to the air cooler, where the temperature is set using TC2. When cooled, gasoline vapors condense, turn into liquid gasoline, which then enters the separator, where the liquid and gas are getting separated. After that one part of the light residue goes to the storage, and other is supplied for irrigation.

## **Control loops**

### **1. Crude oil flow control loop**

It is necessary that the flow rate of crude oil does not exceed or fall below a predetermined value. For this, algorithms for automatically maintaining the flow of oil are used. PID control algorithm, which provides good control quality, a sufficiently short time to enter the mode and low sensitivity to external influences, had been chosen as the control algorithm.

The main elements of this loop are PLC with PID-controller, control object and regulator. The control object is the pipeline section after the valve. The regulator is a valve controlled by an electric actuator, which consists of a frequency converter, an induction motor and a gearbox.

The required flow rate is set on the operator panel. The value from the pressure sensor is transmitted to the PLC, then these values are compared. Next, an output current signal is generated and supplied to a frequency converter, at the output of which a supply voltage of the valve electric motor is generated. Electrical energy is converted into translational motion of the rod using a valve with electric drive. Thus, the consumption of crude oil becomes equal to the set value.

### **2. Crude oil temperature control loop**

Oil must be heated for the process of separating crude oil into light and heavy fractions. A heater with an intermediate coolant (water vapor) can be used for this purpose. To ensure a given temperature, an automatic control algorithm is used.

If the oil temperature at the outlet of the heater is equal to the set value, then the signal from the PV sensor is equal to the SP signal and the error signal at the regulator input is zero, thus the valve is open by a predetermined value, maintaining the set temperature. If the oil temperature increases or decreases, a difference arises

between the values of  $T_{sp}$  and  $T_{pv}$  and, as a result, the valve opens or closes, thereby supplying more or less amount of water vapor to the heater.

### **3. Column level control loop**

The automatic control system for maintaining a given level of oil residue in the separator is based on the PID controller and includes a PLC level sensor (LC1) and a controlled valve LV1. According to the set SP level, the automatic control system provides the required stabilization of the bottom residue level in the separator.

### **4. Air cooler outlet temperature control loop**

For the condensation process of gasoline vapors at the exit from the top of the column, it is necessary to cool them using an air cooler. The TC2 controller is used to provide the preset temperature at the output of an air cooler. It compares the temperature at the output with the preset one and generates a control signal.

### **5. Column top pressure control loop**

The PC30 regulator, which sets the degree of opening of the PV30 valve is used to provide a given pressure at the top of the column.

### **6. Light residue level control loop**

The LC2 regulator, which sets the degree of opening of the output valve LV2 is used to maintain a given level of light residue in the separator.

### **Export data from UniSim**

To process the data of the oil distillation process, first of all, it is necessary to export the parameters values from the digital twin developed by UniSim. For this purpose, extension "UniSim Excel Interface Tool" is used.

UniSim Excel Interface Tool is an Excel based tool that works with UniSim Design. It has two modes of operation:

- Excel based case study;
- A number of user interfaces that can be used to configure automation links between UniSim Design and Excel.

Figure 38 shows the parameters for unloading from UniSim.

Individual Strip Chart Data Selection

Strip Chart Name

Object	Variable	Active
TIRCA128A1		<input checked="" type="checkbox"/>
LC1		<input checked="" type="checkbox"/>
LC2		<input checked="" type="checkbox"/>
FC1		<input checked="" type="checkbox"/>
PC30		<input checked="" type="checkbox"/>
Heavy_Product	Mass Flow	<input checked="" type="checkbox"/>
Light_Product	Mass Flow	<input checked="" type="checkbox"/>
TC1	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_IN	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_IN	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
FV1	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_in_Heater	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Oil_in_Heater	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_in	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_in	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_out	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Steam_out	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
TV1	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
to 6 tray	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
HEATER	Shell Side Delta T	<input checked="" type="checkbox"/>
Light_Product	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
121	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
LV2	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
Pump1	Delta P	<input checked="" type="checkbox"/>
Pump2	Delta P	<input checked="" type="checkbox"/>
LV1	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
101	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Heavy_Product	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Cube	Liquid Volume Percent	<input checked="" type="checkbox"/>
PV30	Percentage open	<input checked="" type="checkbox"/>
TC2	PV	<input checked="" type="checkbox"/>
vap_K1_AirCo	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnd_AirCoole	Temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
vap_K1_AirCo	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Cnd_AirCoole	Pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
Q-100	Power	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 38 – Technological parameters

Next, it is necessary to save the values of technological parameters in a format. Csv, using the extension above. A program written in the C # programming language provides file selection.

When a file is selected, an instance of the class is generated. It contains parameters of the process, values of which are displayed on the screen using the DataGridView component.

### Output of statistical data of the loops

When importing data, the average, maximum and minimum values for each parameter in each loop are automatically calculated, and the set values for the parameters are displayed. Predetermined values can be changed via the interface. The program interface is shown in the figure 39.

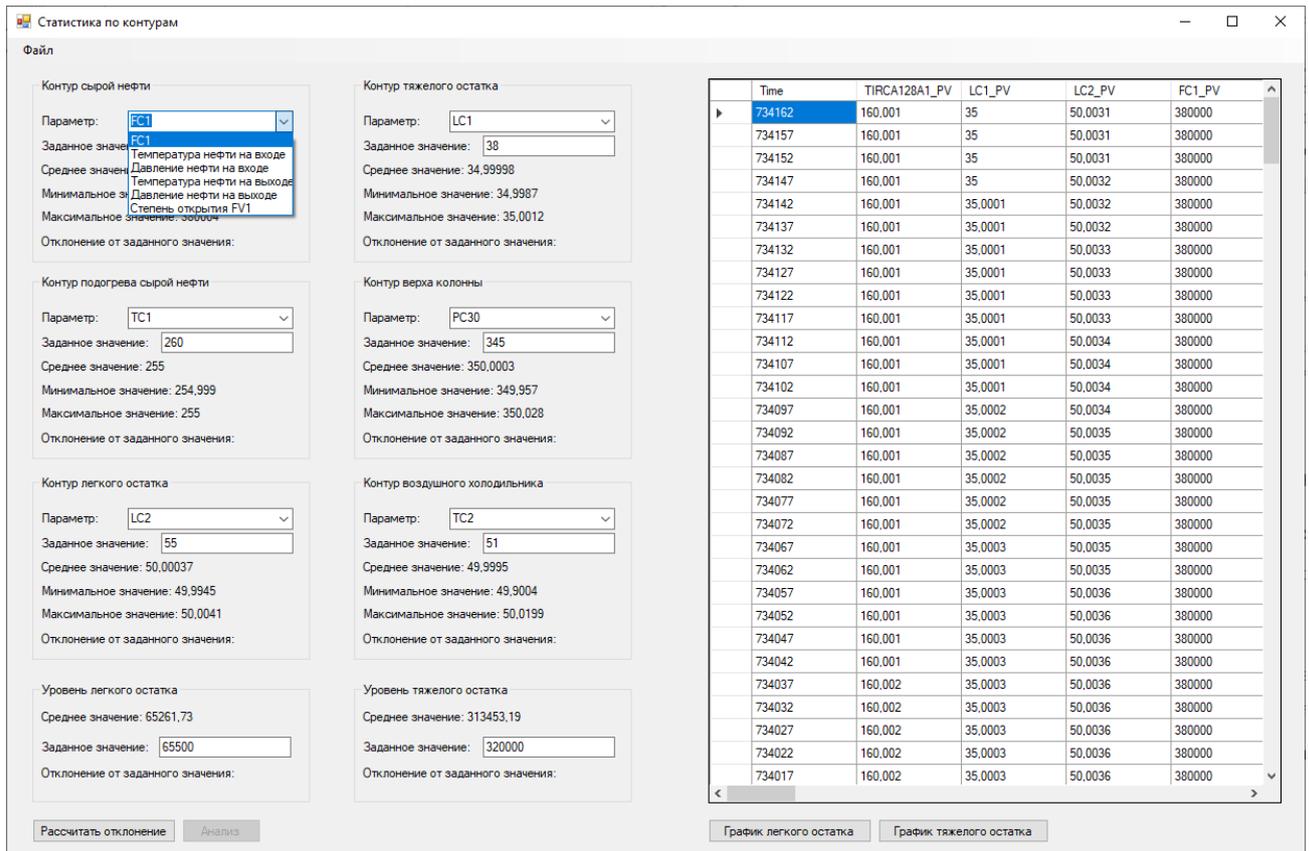


Figure 39 – The program interface

Then, when you click the "Calculate Deviation" button, the percentage difference between the actual average value for each parameter and the set value is calculated. If at least one parameter's deviation from the set value exceeds 5% in the loop, corresponding designation appears, and the deviation lights up in red. The interface is shown in Figure 40.

Файл

<p>Контур сырой нефти</p> <p>Параметр: FC1</p> <p>Заданное значение: 390000</p> <p>Среднее значение: 380000</p> <p>Минимальное значение: 379998</p> <p>Максимальное значение: 380004</p> <p>Отклонение от заданного значения: 2,56%</p>	<p>Контур тяжелого остатка</p> <p>Параметр: LC1</p> <p>Заданное значение: 38</p> <p>Среднее значение: 34,99998</p> <p>Минимальное значение: 34,9987</p> <p>Максимальное значение: 35,0012</p> <p>Отклонение от заданного значения: 7,89%</p>
<p>Контур подогрева сырой нефти</p> <p>Параметр: TC1</p> <p>Заданное значение: 260</p> <p>Среднее значение: 255</p> <p>Минимальное значение: 254,999</p> <p>Максимальное значение: 255</p> <p>Отклонение от заданного значения: 1,92%</p>	<p>Контур верха колонны</p> <p>Параметр: PC30</p> <p>Заданное значение: 345</p> <p>Среднее значение: 350,0003</p> <p>Минимальное значение: 349,957</p> <p>Максимальное значение: 350,028</p> <p>Отклонение от заданного значения: -1,45%</p>
<p>Контур легкого остатка</p> <p>Параметр: LC2</p> <p>Заданное значение: 55</p> <p>Среднее значение: 50,00037</p> <p>Минимальное значение: 49,9945</p> <p>Максимальное значение: 50,0041</p> <p>Отклонение от заданного значения: 9,09%</p>	<p>Контур воздушного холодильника</p> <p>Параметр: TC2</p> <p>Заданное значение: 51</p> <p>Среднее значение: 49,9995</p> <p>Минимальное значение: 49,9004</p> <p>Максимальное значение: 50,0199</p> <p>Отклонение от заданного значения: 1,96%</p>
<p>Уровень легкого остатка</p> <p>Среднее значение: 65261,73</p> <p>Заданное значение: 65500</p> <p>Отклонение от заданного значения: 0,36%</p>	<p>Уровень тяжелого остатка</p> <p>Среднее значение: 313453,19</p> <p>Заданное значение: 320000</p> <p>Отклонение от заданного значения: 2,05%</p>

Рассчитать отклонение    Анализ

Figure 40 – Calculation of deviations

Next, after calculating the deviations of the parameters, you need to click the "Analysis" button. When you click on it, a separate window appears that lists all parameters that affect the output deviations of the heavy and light products, as well as suggested solutions.

Анализ отклонений

Наблюдается отклонение в легком и тяжелом остатках

Возможные причины:

- Контур сырой нефти:  
Отклонение FC1: 6,17%

Рекомендации:

Для повышения расхода выхода легкого продукта необходимо уменьшить значение регулятора LC2 на 5%

Для повышения расхода выхода тяжелого продукта необходимо уменьшить значение регулятора LC1 на 5%

Figure 41 – Analysis of deviations

## **Shewhart control charts**

Control charts are used for statistical control and process control. The values of some statistical characteristics (points) calculated according to the data of the samples in the order of their acquisition. The upper and lower control boundaries  $K_v$  (or UCL) and  $K_n$  (or LCL), the upper and lower boundaries of the technical tolerances  $T_v$  and  $T_n$  (when stock) as well as the midline (CL) are applied to the control chart.

A control chart as a graphical tool for applying statistical principles to process control was proposed by Dr. Walter Shewhart in 1924. Control Chart Theory identifies two types of variability. The first type is variability caused by "random causes" (they are also called general, natural, internal, uncontrolled). This variability is due to a set of diverse causes that are present constantly and not easy or even impossible to identify. Each of these causes forms a very small fraction of the total variability, and none of them prevails over the others. The impact of all these causes together is measurable, and it is assumed that it forms the inherent variability of the process. Eliminating or reducing the influence of random causes is likely to require decision-making and the allocation of resources for fundamental changes to the process and system.

The second type of variability is a real change in the process. Such a change may be the result of some reasons not inherent in the process, which can be identified and eliminated, at least theoretically. These potentially identifiable causes are called the "special" (or unnatural, systematic, controlled) causes of variability. These causes may include material heterogeneity, tool breakage, improper operation of production or control equipment, inadequate staff qualifications, violation of procedures, changes in production conditions.

When using individuals control charts, control limits are calculated based on the measure of variation obtained from the moving ranges of usually two observations. The moving range is the absolute value of the measurement difference in successive pairs, i.e. the difference between the first and second measurements, then the second and third, etc. Based on the moving ranges, the average moving range  $\bar{R}$ , which is used to build the control maps, is calculated. Also, the total average  $\bar{\bar{X}}$  is calculated from

all the data. The control limits for the X-card are calculated as follows:  $\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$ . The control limits for the rolling range chart R are calculated as follows:  $D_3 \bar{R}$ ,  $D_4 \bar{R}$ . It is also worth noting that from table 2 of GOST R 50779.42-99 it is known that  $E_2 = 3 / d_2$ ,  $d_2 = 1,128$ ,  $D_3 = 0$ ,  $D_4 = 3,267$  for a sample size of 2. Figures 42, 43 show X- and R-charts for heavy and light residues.



Figure 42 – X- and R-charts for light residue

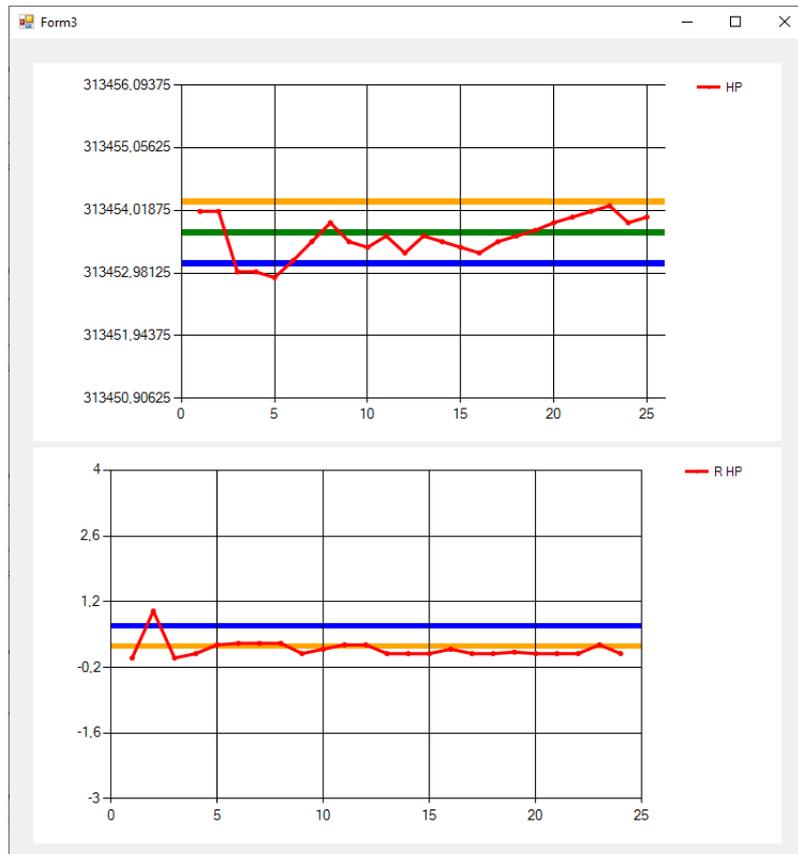


Figure 43 – X- and R-charts for heavy residue