

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка и реализация учебного тренажерного стенда «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти»

УДК 371.693.4:681.515.001.2:665.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Скурихин Владимир Павлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич Антон Иванович	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОАР	Сидорова Анастасия Александровна			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	К.Т.Н., доцент		

Томск 2020 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения.
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу

	коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
Громаков Е.И.  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6Б	Скурихину Владимиру Павловичу

Тема работы:

Разработка и реализация учебного тренажерного стенда «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти».
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.03.2020 №62-55/С
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

**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>Объект исследования – горизонтальный сепаратор подготовки нефти.          Режим работы – циклический.          Вид сырья – нефтяная эмульсия.          Учебный тренажерный стенд «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти» должен обеспечивать визуальный контроль основных параметров технологического процесса и позволять исследовать методы настройки ПИД-регулятора на практике.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>Исследование объекта;          разработка математической модели системы;          разработка визуализации системы;          изучение методов настройки ПИД-регулятора;</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Результаты моделирования в CoDeSys;          Графики переходных процессов в Matlab;          Экранные формы</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Трубченко Татьяна Григорьевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Матвиенко Владимир Владиславович</p>

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

**Задание выдал консультант:**

<p><b>Должность</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Ученая степень, звание</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Сидорова А.А.</p>	<p>К.Т.Н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

<p><b>Группа</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>8Т6Б</p>	<p>Скурихин Владимир Павлович</p>		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Уровень образования - бакалавриат  
 Период выполнения – осенний/весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич А.И.	К.Т.Н.		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Сидорова А.А.			

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	К.Т.Н., доцент		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т6Б	Скурихину Владимиру Павловичу

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

Тема ВКР:

**Разработка и реализация учебного тренажерного стенда «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти».**

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является тренажерный стенд «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти». Объект исследования может быть использован для проведения лабораторных работ по теории автоматического управления.
--	--

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

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и ТК РФ.</p> <p>Критерии и классификация условий труда регулируется Р 2.2.2006-05.</p>
<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>Анализ выявленных опасных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-отклонение параметров микроклимата</li> <li>-недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> <li>- повышенное значение ЭМП</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Минимальное воздействие на гидросферу, атмосферу и литосферу. В процессе утилизации могут возникнуть остаточные отходы.</p>

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	В аудиторном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).
--	---

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т6Б	Скурихин Владимир Павлович		



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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т6Б	Скурихину Владимиру Павловичу

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя - 33664 руб. Оклад консультанта - 12664 руб. Материальные затраты – 59820,2 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 10 %; Районный коэффициент 30 % Норма амортизации 40 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование работ, разработка диаграммы Ганта, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной финансовой, эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,28 Интегральный показатель эффективности – 9,3 Сравнительная эффективность проекта – 1,18

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т6Б	Скурихин Владимир Павлович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 страниц, 41 рисунков, 24 таблиц, 14 источников.

Ключевые слова: matlab, программируемый логический контроллер, codesys, регулятор, сепаратор.

Объектом исследования является: учебный тренажерный стенд «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти».

Цель работы разработать учебный тренажерный стенд «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти», позволяющий исследовать методы настройки ПИД-регулятора на практике.

В процессе исследования был рассмотрен принцип работы горизонтального сепаратора, составлены необходимые дифференциальные уравнения, описывающие процесс, разработаны необходимые функциональные блоки.

В результате исследования был разработан собственный алгоритм реализации учебного тренажерного стенда с использованием виртуального программируемого логического контроллера. В программной среде CoDeSys была разработана мнемосхема, позволяющая наблюдать за изменением уровней жидкостей внутри горизонтального сепаратора и изменять коэффициенты настроек ПИД-регуляторов с помощью специальной панели управления.

Область применения: учебные заведения, малые и средние производственные предприятия, небольшие лаборатории.

Экономическая эффективность: использование виртуального ПЛК, значительно снижает экономические затраты.

## Определения, обозначения, сокращения,

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**пропорциональный интегро-дифференциальный регулятор (ПИД – регулятор):** типовой регулятор, используемый в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала, состоящего из трех слагаемых, первое из которых пропорционально рассогласованию, второе – интеграл рассогласования, третье – производная рассогласования;

**переходная характеристика** - реакция системы на входное ступенчатое воздействие.

**замкнутая система:** система, в которой осуществлено управление с обратной связью;

**инерционное звено:** одно из типовых звеньев теории автоматического управления, передаточная функция которого имеет вид:

$$w(s) = \frac{1}{T \cdot s + 1}.$$

В работе используются следующие обозначения и сокращения:

ПИД – пропорционально – интегрально – дифференциальный;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ППП – пакет прикладных программ;

IDE – интегрированная среда разработки;

МЭК – международная электротехническая комиссия.

## Оглавление

Введение.....	14
1 Выбор средств разработки и обоснование подбора оборудования .....	15
1.1 Стандарт МЭК 61131-3.....	15
1.2 Среда разработки CoDeSys .....	16
1.3 Пакет прикладных программ MATLAB .....	17
1.4 OPC сервер.....	18
1.5 Обоснование подбора оборудования .....	18
2 Разработка модели горизонтального сепаратора.....	20
2.1 Принцип работы трехфазного горизонтального сепаратора.....	20
2.2 ПИД регулятор .....	21
2.3 Используемые блоки.....	22
2.4 Моделирование горизонтального сепаратора в CoDeSys.....	31
3 Использование MATLAB для настройки ПИД-регулятора .....	43
3.1 Функциональная схема связи MATLAB и CodeSys .....	43
3.2 Настройка ПИД-регулятора.....	44
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	47
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	48
4.3 SWOT-анализ.....	49
4.4 Организация и планирование работ.....	50
4.4.1 Структура работ .....	50
4.4.2 Продолжительность работ .....	51
4.5. Смета затрат на проект.....	55
4.5.1 Расчет материальный затрат.....	55
4.5.2 Амортизация компьютерной техники .....	56
4.5.3 Затраты на заработную плату .....	57
4.5.4 Расчет общей себестоимости.....	58
4.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования....	59
Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресусосбережение»: .....	61
5 Социальная ответственность .....	63

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	63
5.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	63
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	64
5.2 Производственная безопасность .....	65
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. ....	65
5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	69
5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. ....	71
5.3 Экологическая безопасность.....	72
5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду. ....	72
5.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду. ....	72
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды. ....	72
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. ....	73
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. ....	73
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. ....	73
Заключение .....	75
Conclusion.....	76
Список использованной литературы.....	77
Приложение А (Обязательное) программа в Matlab .....	79

## **Введение**

Эффективность подготовки будущих специалистов во многом зависит от качества полученного образования, а именно: лекционные занятия, демонстрационные эксперименты, лабораторные практикумы с применением учебно-лабораторного оборудования, мультимедийные средства обучения. Для достижения высокого качества образования невозможно обойтись без использования учебной техники и стендового оборудования. Не последнюю роль в этом процессе играет использование качественного лабораторного оборудования, включая лабораторные стенды. Для предотвращения утечки кадров из страны, для них должны быть созданы условия развития сопоставимые с ведущими странами. Именно поэтому разработка и реализация учебных тренажерных важна как для студентов, так и для Российской Федерации.

Цель работы: разработать учебный тренажерный стенд «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти», позволяющий исследовать методы настройки ПИД-регулятора на практике.

Разрабатываемый стенд представляет собой симуляционную модель горизонтального сепаратора установки комплексной подготовки нефти. Модель реализована в качестве программы под управлением ПЛК. Из-за экономии средств и отсутствия принципиальной важности, ПЛК был заменен на его виртуальную копию.

# **1 Выбор средств разработки и обоснование подбора оборудования**

## **1.1 Стандарт МЭК 61131-3**

Стандарт МЭК 61131-3 был разработан из-за роста числа компаний, стремящихся или выпускающих продукцию мирового класса, для которых возникла необходимость в международном стандарте автоматизации производства. Основной целью создания стандарта являлось увеличение скорости и качества разработки программ для ПЛК.

Системы программирования, основанные на МЭК 61131-3, характеризуются следующими показателями [1]:

1. надежностью создаваемого программного обеспечения.

- возможностью простой модификации программы и наращивания ее функциональности;
- переносимостью проекта с одного ПЛК на другой;
- возможностью повторного использования отработанных фрагментов программы;
- простотой языка и ограничением количества его элементов.

Языки стандарта МЭК 61131-3 появились в результате конкурентной борьбы уже существовавших на тот момент языков. Каждый язык стандарта имеет свое направление и обладает большей простотой использования в своем направлении чем другие:

- ST – язык структурированного текста;
- SFC – язык последовательный функциональных схем;
- FBD – язык функциональных блоковых диаграмм;
- LD – язык релейно-контактных схем;
- IL – язык инструкций.

Вышеперечисленные языки стандарта МЭК 61131-3 в своей основе имеют следующие принципы:

- программа может быть разделена на произвольное количество функциональных элементов;

- функциональные элементы программы могут выполняться в разное время, с разной скоростью и параллельно друг другу;
- языки должны требовать соблюдение заявленных типов данных;
- каждый язык должен обеспечивать возможность совместного использования с другими языками.

Соблюдение стандартов МЭК 61131 выгодно и пользователям, и создателям программируемых контроллеров. Для пользователей это возможность определять характеристики программируемых контроллеров, основанных на общей базе стандартов, используя универсальные термины.

Наличие всего пяти языков в стандарте означает, что для обучения программированию контроллеров может быть использована абсолютно любая программа, соответствующая стандарту.

## **1.2 Среда разработки CoDeSys**

CoDeSys – это интегрированная среда разработки (IDE) приложений для программируемых контроллеров. CoDeSys создан в соответствии со стандартом МЭК 61131-3, поэтому в его состав входят графические и текстовые редакторы для всех пяти языков программирования [2].

Для программирования конкретного контроллера необходимо установить целевой файл, разработанный производителем контроллера. После чего можно соединять программируемое устройство с CoDeSys через шлюз связи, который использует протокол TCP/IP. Соединение с контроллером может проводиться не только в непосредственной близости к контроллеру, но и через интернет или сеть Ethernet.

Для загрузки программы, написанной на языках стандарта МЭК, CoDeSys компилирует ее в машинный код, оптимизированный для заданной аппаратной платформы. После загрузки машинного кода в ПЛК, программист может воспользоваться широким набором функций для отладки приложения. Присутствует возможность наблюдать за состоянием переменных, поддерживается пошаговое исполнение программы, задание точек останова,



осуществить сброс ПЛК, а встроенный эмулятор позволяет проводить отладку программы даже при отсутствии реального контроллера. При изменении программы во время отладки можно перекомпилировать и заново загрузить, только те части программы, что были изменены, данная возможность называется “горячим обновлением” программного кода.

Также, в программе существует система визуализации, которая позволяет создавать интерфейсы для операторского управления и моделирования систем на этапе их разработки.

Несмотря на свою привязанность к стандартам, CoDeSys сохранил гибкость для пользователя, которая проявляется в возможности создавать библиотеки собственные библиотеки, например библиотека работы с SMS-сообщениями или библиотека работы с ЖКИ.

Функционирование среды исполнения CoDeSys не зависит от операционной системы управляющей ПЛК. Наличие собственного ядра реального времени позволяет устанавливать высокоточный контроллерный цикл. Прикладная программа после загрузки ПЛК остается работоспособной вне зависимости от состояния ПК до получения команды остановки.

Взаимодействие ПЛК со SCADA системой осуществляется, используя OPC сервер.

### **1.3 Пакет прикладных программ MATLAB**

Пакет прикладных программ MATLAB предназначен для решения задач технических вычислений [3].

MATLAB — это интерпретируемый язык программирования высокого уровня, который включает матричные структуры данных, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные функции и интерфейсы для программ, написанных на других языках программирования.

MATLAB предоставляет пользователю большое количество функций для анализа данных, покрывающие практически все области математики.

## **1.4 OPC сервер**

OPC (OLE for Process Control) - семейство программных технологий, предоставляющих единый интерфейс для управления объектами автоматизации и технологическими процессами [4].

Стандарт OPC был разработан для снижения затрат на разработку и обслуживание приложений промышленной автоматизации. В начале 1990 года у разработчиков промышленного ПО возникла потребность в универсальном инструменте обмена данными с устройствами разных производителей или по разным протоколам обмена данными.

Суть OPC проста - предоставить разработчикам промышленных программ универсальный фиксированный интерфейс для обмена данными с любыми устройствами. В то же время разработчики устройств предоставляют программу, реализующую этот интерфейс.

OPC имеет широкий спектр применения в АСУ предприятиях, например: при выходе из строя устройства его замена не потребует изменения остальных приложений, связывающихся с OPC сервером.

## **1.5 Обоснование подбора оборудования**

Выбор оборудования был произведен в соответствии с рекомендуемыми требованиями к ППП MATLAB.

Рекомендуемые требования к ППП MATLAB:

- ОЗУ – 8ГБ;
- Процессор – любой процессор intel или AMD x86-64 с четырьмя логическими ядрами;
- Видеокарта – любая видеокарта с аппаратным ускорением, поддерживающая OpenGL 3.3 с 1 ГБ памяти GPU;
- Жесткий диск SSD;
- OS – Windows 10.

Два монитора необходимы для комфортного использования эмуляции ПЛК в CoDeSys и математических расчетов в ППП MATLAB. Подбранное оборудование приведено в разделе 4.5.1.

## 2 Разработка модели горизонтального сепаратора

### 2.1 Принцип работы трехфазного горизонтального сепаратора

Трехфазный горизонтальный сепаратор предназначен для отделения газа и воды от нефти. Газожидкостная смесь вводится в сепаратор через штуцер, оборудованный отбойником для грубого отделения жидкости от газа. Затем, газ, в силу своей легкости, поднимается вверх вместе с каплями жидкости, где, проходя через устройство улавливания капельной жидкости, выводится через штуцер вывода газа. Водонефтяная эмульсия, в свою очередь, проходит устройство гидродинамической коалесценции и равномерно распределяется по сепаратору, где в следствие разности удельного веса разделяется на нефть и воду. Затем, вода, скапливающаяся в нижней части сепаратора, выводится через штуцер вывода воды. Количество сбрасываемой воды определяется с помощью клапана, величина открытия которого зависит от разности показаний уровнемера, предназначенного для контроля уровня жидкостных продуктов разных плотностей, и заявленной уставки. Также в аппарате присутствует переливная перегородка, которая разделяет сепаратор на две части. Во второй части скапливается очищенная нефть, которая поступает туда, когда общий уровень жидкости превышает высоту перегородки. Уровень нефти, скопившейся в камере, определяется с помощью уровнемера и автоматически поддерживается в заданном интервале с помощью регулирующего клапана, установленного после узла учета нефти. Горизонтальный сепаратор изображен на рисунке 1.

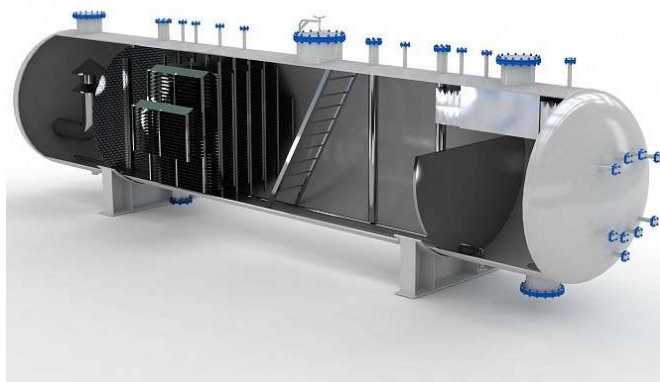


Рисунок 1 – Трехфазный горизонтальный сепаратор

## 2.2 ПИД регулятор

ПИД регулятор — устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в САУ для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. В общем виде уравнение имеет вид:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}, \quad (1)$$

где  $K_p$  — коэффициент пропорциональной составляющей регулятора;  
 $K_i$  — коэффициент интегральной составляющей регулятора;  
 $K_d$  — коэффициент дифференциальной составляющей регулятора;  
 $e(t)$  — ошибка регулирования.

Для ПЛК выходной сигнал ПИД регулятора рассчитывается по следующей формуле [5]:

$$u(t) = \frac{1}{X_p} \left[ E_i + \tau_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{изм}}} + \frac{1}{\tau_{\text{и}}} \cdot \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t_{\text{изм}} \right], \quad (2)$$

где  $X_p$  — полоса пропорциональности;  
 $E_i$  — рассогласование;  
 $\tau_d$  — полоса времени дифференцирования;  
 $\Delta E_i$  — разность между соседними измерениями;  
 $\tau_{\text{и}}$  — постоянная времени интегрирования;  
 $\sum_{i=0}^n E_i$  — накопленная в  $i$ -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма)

Пропорциональная составляющая формирует воздействие пропорциональное возникшей ошибке.

Интегральная составляющая накапливает ошибку регулирования, из-за чего выступает дополнительным источником мощности выходного воздействия, позволяя добиться большей скорости достижения установленного значения.

Дифференциальная составляющая пропорциональна темпу измерений, то есть зависит от скорости изменения параметра.

Эффективная работа ПИД-регулятора зависит от качества подобранных коэффициентов. Ситуация усложняется уникальностью каждого конкретного объекта управления.

Частными случаями реализации ПИД регулятора являются:

- П-регулятор - осуществляет пропорциональное регулирование;
- ПД-регулятор – осуществляет пропорционально-дифференциальное регулирование;
- ПИ-регулятор – осуществляет пропорционально-интегральное регулирование

### 2.3 Используемые блоки

Описание блоков, используемых работе:

#### 1) Блок GT

Возвращает TRUE, если значение первого параметра больше второго.

Функциональный блок GT изображен на рисунке 2.

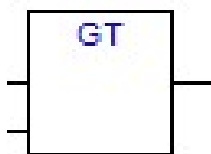


Рисунок 2 – Функциональный блок GT

Пример функционирования блока GT приведен на рисунке 3.

**Пример IL:**

```
LD 20
GT 30
ST Var1 (* Результат ЛОЖЬ *)
```

**Пример ST:**

```
VAR1 := 20 > 30 > 40 > 50 > 60 > 70;
```

**Пример FBD:**

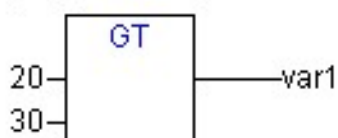


Рисунок 3. Пример функционирования блока GT

## 2) Блок BOOL\_TO

Преобразование типа BOOL в другой тип. Функциональный блок BOOL\_TO изображен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Функциональный блок BOOL\_TO

## 3) Блок MUL

Выполняет перемножение значений переменных. Функциональный блок MUL изображен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Функциональный блок MUL

Пример функционирования блока MUL приведен на рисунке 5.

Пример IL:

```
LD 7  
MUL 2, 4, 7  
ST Var1
```

Пример ST:

```
var1 := 7*2*4*7;
```

Пример FBD:

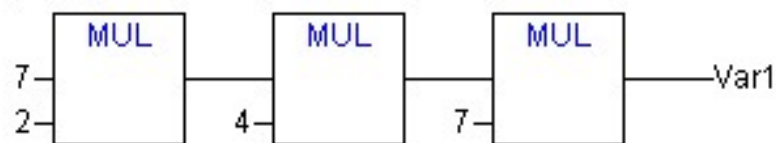


Рисунок 5 - Пример функционирования блока MUL

## 4) Блок ADD

Выполняет сложение значений переменных. Функциональный блок ADD изображен на рисунке 6.

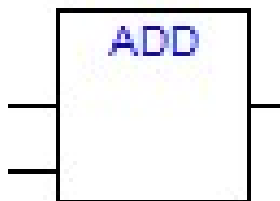


Рисунок 6 – Функциональный блок ADD

Пример функционирования блока ADD приведен на рисунке 7.

Пример IL:

```
LD 7
ADD 2,4,7
ST Var1
```

Пример ST:

```
var1 := 7+2+4+7;
```

Пример FBD:

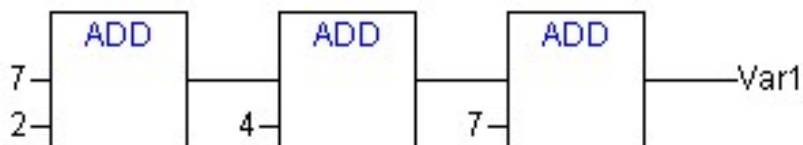


Рисунок 7 - Пример функционирования блока ADD

## 5) Блок INTEGRAL

Функциональный блок выполняет численное интегрирование. Алгоритм вычисления использует классический двухточечный метод трапеций. Функциональный блок INTEGRAL изображен на рисунке 8.

Входные переменные функционального блока представлены в таблице 1

Таблица 1 - Входные переменные функционального блока INTEGRAL

Переменная	Тип данных	Описание
IN	REAL	Аналоговый вход
TM	DWORD	Длительность интегрирования



Продолжение Таблицы 1 - Входные переменные функционального блока INTEGRAL

Переменная	Тип данных	Описание
RESET	BOOL	Запускает интегрирование при установке в TRUE

Выходные переменные функционального блока представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Выходные переменные функционального блока INTEGRAL

Переменная	Тип данных	Описание
OUT	REAL	Текущее значение контролируемой переменной.
OVERFLOW	BOOL	Сигнализирует о переполнении

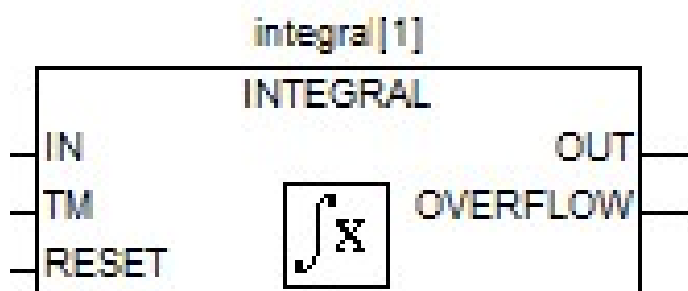


Рисунок 8 - Функциональный блок Integral

Пример функционирования блока Integral приведен на рисунке 9.

*Блок FBD: пример интегрирования линейной функции:*

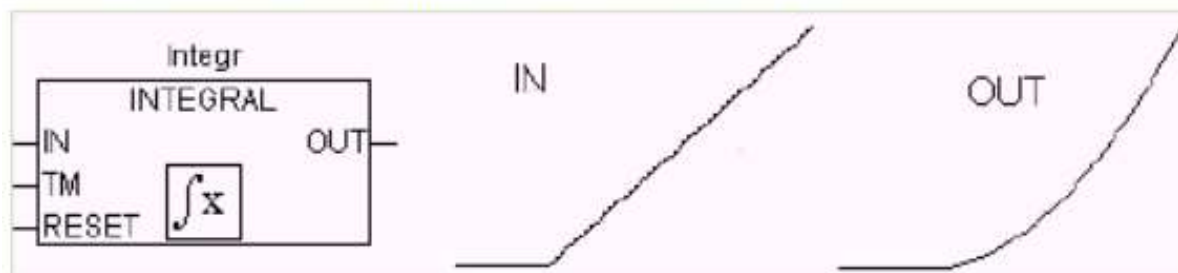


Рисунок 9 - Пример функционирования блока Integral

## 6) Блок DIV

Деление значений переменных. Функциональный блок DIV изображен на рисунке 10.

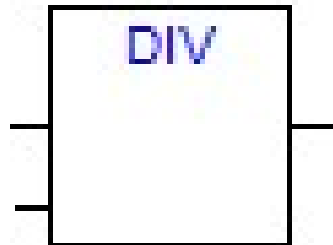


Рисунок 10 – Функциональный блок DIV

Пример функционирования блока DIV приведен на рисунке 11.

Пример IL:

```
LD 8
DIV 2
ST Var1 (* Result is 4 *)
```

Пример ST:

```
var1 := 8/2;
```

Пример FBD:

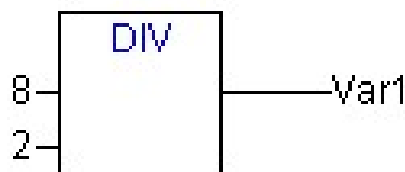


Рисунок 11 – Пример Функционирования блока DIV

## 7) Блок GE

Больше или равно.

Двоичный оператор возвращает TRUE, если значение первого параметра больше или равно второму. Функциональный блок GE изображен на рисунке 12.

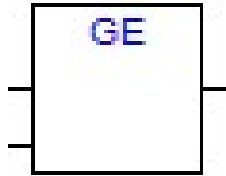


Рисунок 12 – Функциональный блок GE

Пример функционирования блока GE приведен на рисунке 13.

Пример IL:

```
LD 20
GT 30
ST Var1 (* Результат ЛОЖЬ *)
```

Пример ST:

```
VAR1 := 20 > 30 > 40 > 50 > 60 > 70;
```

Пример FBD:

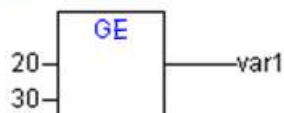


Рисунок 13 - Функционирование блока GE

## 8) Блок PID

Функциональный блок реализует ПИД закон регулирования

Входные переменные функционального блока PID представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Входные переменные функционального блока PID

Переменная	Тип данных	Описание
ACTUAL	REAL	Текущее значение контролируемой переменной.
SET_POINT	REAL	Задание
KP	REAL	Коэффициент передачи.
TN	REAL	Постоянная интегрирования, в секундах (т.е. "0.5" для 500 мс).

Продолжение таблицы 3 - Входные переменные функционального блока PID

Переменная	Тип данных	Описание
TV	REAL	Постоянная дифференцирования, в секундах (т.е. "0.5" для 500 мс).
Y_MANUAL	REAL	Определяет значение выхода Y, если MANUAL = TRUE.
Y_OFFSET	REAL	Стационарное значение Y.
Y_MIN, Y_MAX	REAL	Значение выхода Y ограничено Y_MIN и Y_MAX. При достижении Y границ ограничения, выход LIMITS_ACTIVE,
Y_MAX		(BOOL) принимает значение TRUE. Ограничение работает только при Y_MIN < Y_MAX.
MANUAL	BOOL	Значение TRUE, включает режим ручного регулирования по входу Y_MANUAL.
RESET	BOOL	TRUE сбрасывает регулятор; в это время Y = Y_OFFSET

Выходные переменные функционального блока представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Выходные переменные блока функционального блока PID

Переменная	Тип данных	Описание
Y	REAL	Выход регулятора
LIMITS_ACTIVE	BOOL	TRUE означает что Y ограничивается пределами (Y_MIN, Y_MAX).
OVERFLOW	BOOL	TRUE – признак переполнения.

Функциональный блок PID изображен на рисунке 14.

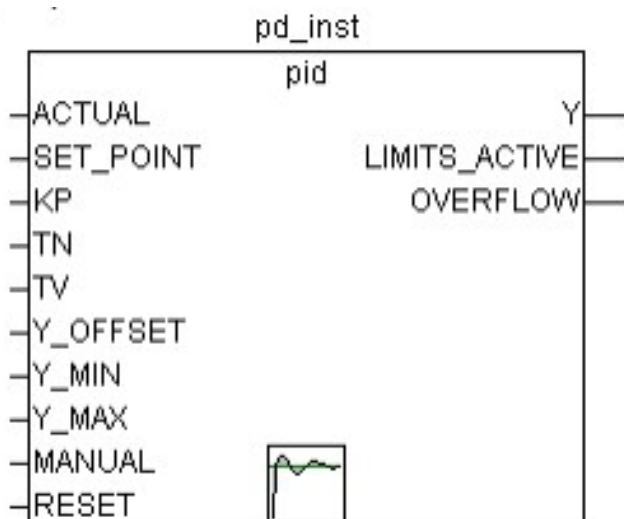


Рисунок 14 - Функциональный блок ПИД-регулятор

### 9) Функциональный блок LIMIT

Предназначен для ограничения входного значения. Функциональный блок LIMIT изображен на рисунке 15.

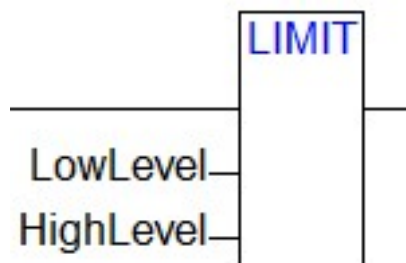


Рисунок 15 -Функциональный блок LIMIT

Пример функционирования блока LIMIT приведен на рисунке 16.

#### Пример IL:

```
LD 90
```

```
LIMIT 30,80
```

```
ST Var1 (* Результат 80 *)
```

#### Пример ST:

```
Var1:=LIMIT(30,90,80); (* Результат 80 *);
```

Рисунок 16 - Пример функционирования блока LIMIT

## 10) Функциональный блок Inner

Для моделирования электропривода был создан инерционный блок Inner, который представляет собой апериодическое звено первого порядка:

$$W_i(s) = \frac{Y}{X} = \frac{1}{1 + Ts} \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение в форме Лапласа:

$$x = y(1 + T \cdot s). \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение в конечных разностях:

$$x(t) = y(t) + T \frac{y(t) - y(t - \Delta t)}{\Delta t}. \quad (5)$$

Выносим  $y(t)$  за скобки и получаем разностное уравнение, по которому работает блок:

$$y(t) = y(t - \Delta t) + \frac{(x(t) - y(t)) \cdot \Delta t}{T}. \quad (6)$$

Листинг кода, по которому работает блок представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Функциональный блок Inner

```
FUNCTION_BLOCK Inert
VAR_INPUT
    x:REAL;
    T:REAL;
    ddt:REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    y:REAL;
END_VAR
VAR
END_VAR
y:=y+(x-y)*ddt/T;
```

Функциональный блок inner изображен на рисунке 17.

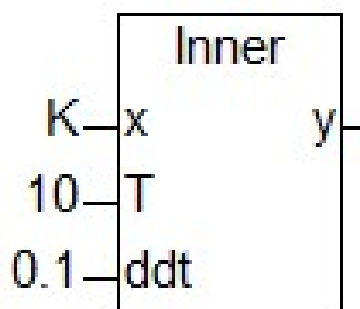


Рисунок 17 - Функциональный блок inert

## 2.4 Моделирование горизонтального сепаратора в CoDeSys

Моделирование физических процессов начинается с построения математической модели. Математическая модель — это приближенное описание процессов, происходящих в реальном мире с помощью математических символов. Ввиду нелинейности реального мира и огромного количества случайных факторов, вмешивающихся в процесс, математическая модель является лишь идеализацией исследуемого процесса. В соответствии с целью работы, разрабатываемая модель должна позволять исследовать методы настройки ПИД-регулятора на практике. Так как, газ, содержащийся в неочищенной нефти, в теории, должен покидать сепаратор через специальные штуцеры вывода газа намного быстрее, чем поступать в него, было принято решение пренебречь его влиянием на систему. Также для удобства все резервуары представляют собой прямоугольные параллелепипеды.

Таким образом, для создания модели горизонтального сепаратора близкого к действительности, необходимо создать три контура регулирования:

- регулирование уровня водонефтяной эмульсии;
- регулирования уровня воды, содержащейся в смеси;
- регулирование уровня нефти в камере сбора нефти.

Объём воды в резервуаре равен:

$$Q = S \cdot h, \quad (7)$$

где  $S$  – площадь резервуара;

$h$  – уровень воды в резервуаре

Тогда изменение объема равно:

$$\frac{dQ}{dt} = S \cdot \frac{dh}{dt}. \quad (8)$$

Тогда приток и расход жидкости рассчитываются по формулам:

$$q^+ = \frac{dQ}{dt}; \quad (9)$$

$$q^- = \frac{dQ}{dt}. \quad (10)$$

Тогда уровень воды можно определить с помощью следующего соотношения:

$$h(t) = \frac{1}{S} \int_0^t (q^+ - q^-) dt. \quad (11)$$

Регулирование уровней жидкостей осуществляется с помощью управления степенью открытия клапанов (от 0 % до 100 %), воздействующих на приток и расход.

Управление регулирующими клапанами осуществляется с помощью электропривода, для которого ПИД-регулятор формирует управляющее воздействие.

В любой реальной системе существует зона нечувствительности. Пусть нижнее значение управляющего воздействия ( $Y\_MIN$ ), генерируемое ПИД-регулятором, равно минус 25, а верхнее ( $Y\_MAX$ ) равно 25. Тогда выходной сигнал ( $Y$ ) будет находится в пределе от минус 25 до 25. Под зоной нечувствительности имеется ввиду область, в пределах которой изменение управляющего воздействия не приводит к изменению управляющего напряжения электропривода. Листинг алгоритма зоны нечувствительности и к изменению управляющего напряжения электропривода приведен в таблицах 6 и 7.



Таблица 6 – Листинг алгоритма зоны нечувствительности для прихода

```
IF Y1>=5 THEN K1:=K1+10;  
END_IF;  
IF Y1<=-5 THEN K1:=K1-10;  
END_IF
```

Таблица 7 – Листинг алгоритма зоны чувствительности для расхода

```
IF Y2>=5 THEN KW1:=KW1-10;  
END_IF;  
IF Y2<=-5 THEN KW1:=KW1+10;  
END_IF
```

#### Алгоритм

Блоки, отвечающие за приток и расход приведены на рисунках 18-21.

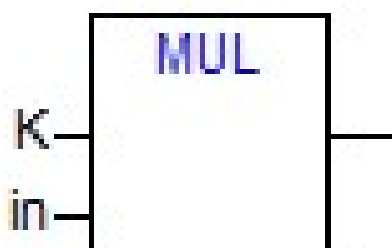


Рисунок 18 – Приток водонефтяной эмульсии

На рисунке 18, K – это степень открытости клапана, in – максимальный приток водонефтяной эмульсии

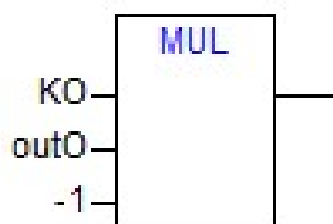


Рисунок 19 – Расход нефти

На рисунке 19,  $KO$  – это степень открытости клапана,  $outO$  – максимальный расход нефти, минус 1 указывает на обратное направление потока жидкости.

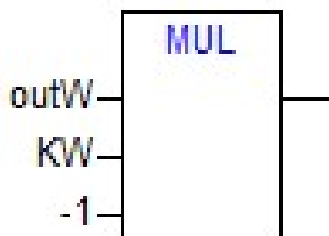


Рисунок 20 – Расход воды

На рисунке 20,  $KW$  – это степень открытости клапана,  $outW$  – максимальный расход нефти, минус 1 указывает на обратное направление потока жидкости.

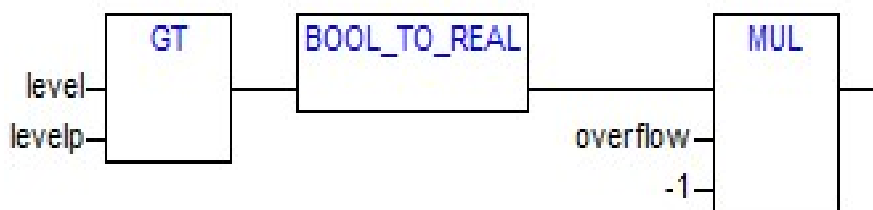


Рисунок 21 – Усредненный объем жидкости, перетываемой через перегородку за секунду

При превышении водонефтяной эмульсией уровня разделительной перегородки нефть начинает переливаться через нее. Для простоты моделирования переливаемый объем нефти, обозначенный  $overflow$ , был усреднен, минус 1 указывает на обратное направление потока жидкости.

Регулирование уровня водонефтяной эмульсии проводится с помощью схемы, приведенной на рисунках 22 и 23.

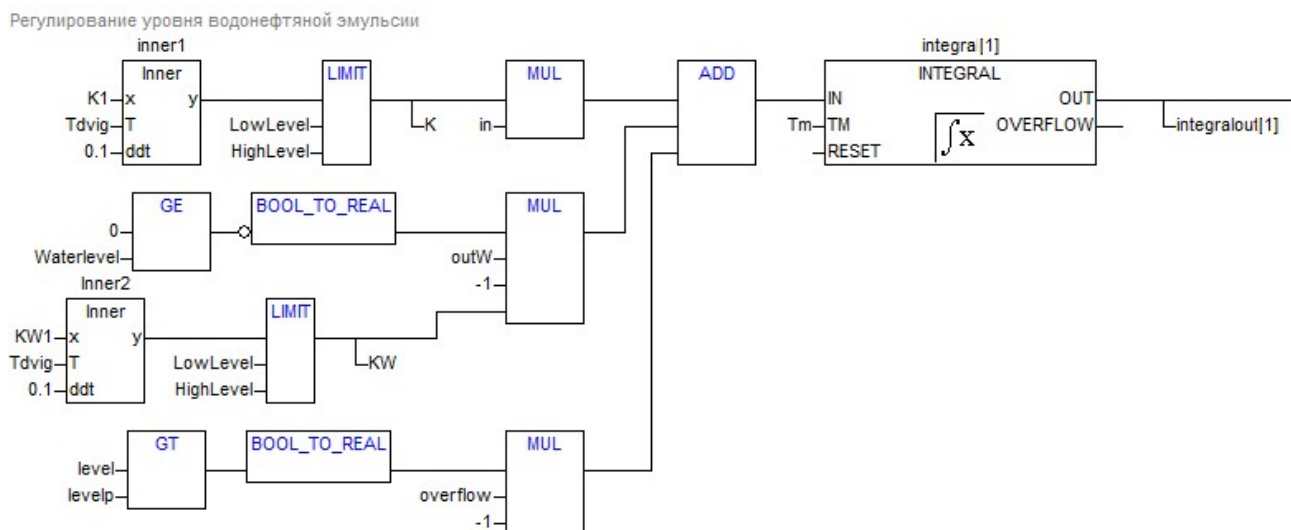


Рисунок 22 - Регулирование уровня водонефтяной эмульсии часть 1

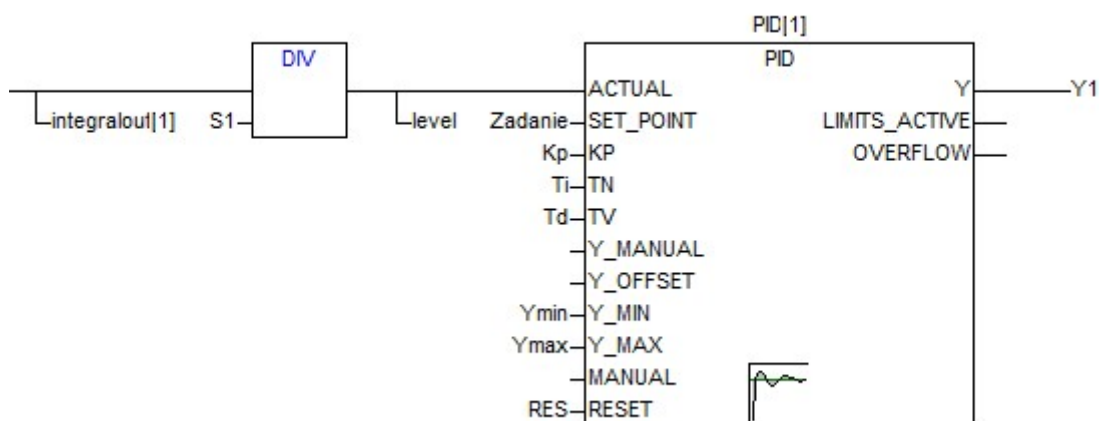


Рисунок 23 - Регулирование уровня водонефтяной эмульсии часть 2

Схема функционирует в соответствии с уравнением 1.1. Приток жидкости определяется притоком водонефтяной эмульсии, суммарный расход определяется расходом воды и расходом нефти, переливаемой через перегородку. Из-за того, что расход воды не может появиться до тех пор, пока в резервуаре не появится жидкость, нефть не будет переливаться через перегородку, пока не достигнет необходимого уровня, в схеме предусмотрено обнуление расходов при несоблюдении данных условий. Полученная сумма поступает в блок интегрирования, где преобразуется в объем жидкости. Затем, объем жидкости делением на площадь резервуара, преобразуется в уровень.

Полученный уровень сравнивается с установкой и на основе получившегося рассогласования ПИД-регулятор формирует управляющее воздействие для электропривода, верхняя и нижняя граница открытия клапана регулируется функциональный блоком LIMIT.

Регулирование уровня водонефтяной эмульсии проводится с помощью схемы, приведенной на рисунках 24 и 25.

Регулирование уровня воды

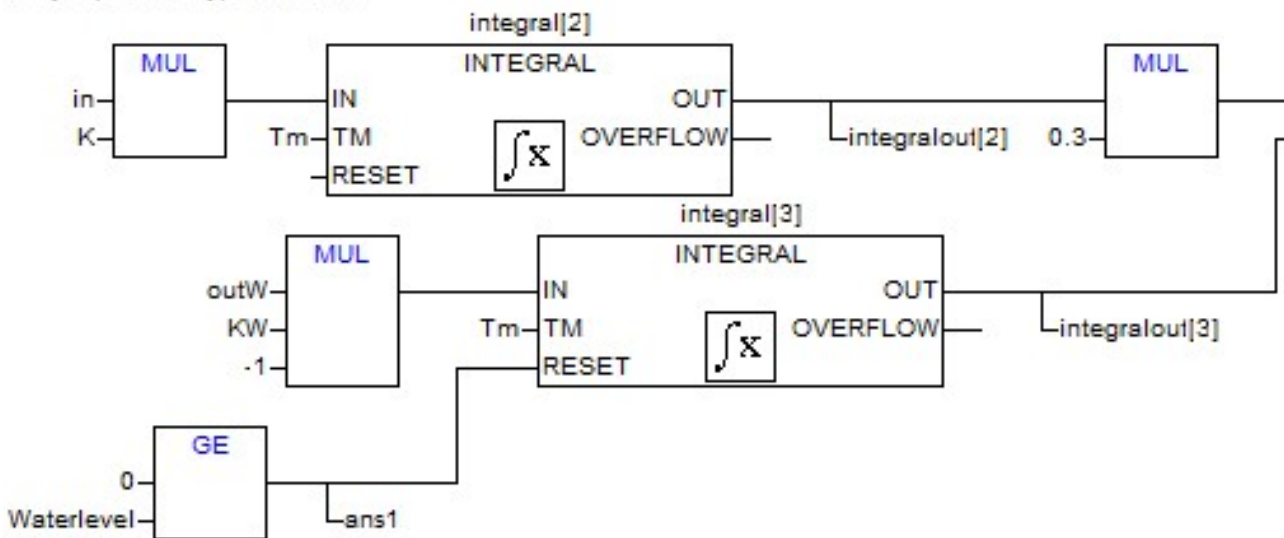


Рисунок 24 - Регулирование уровня воды в резервуаре часть 1

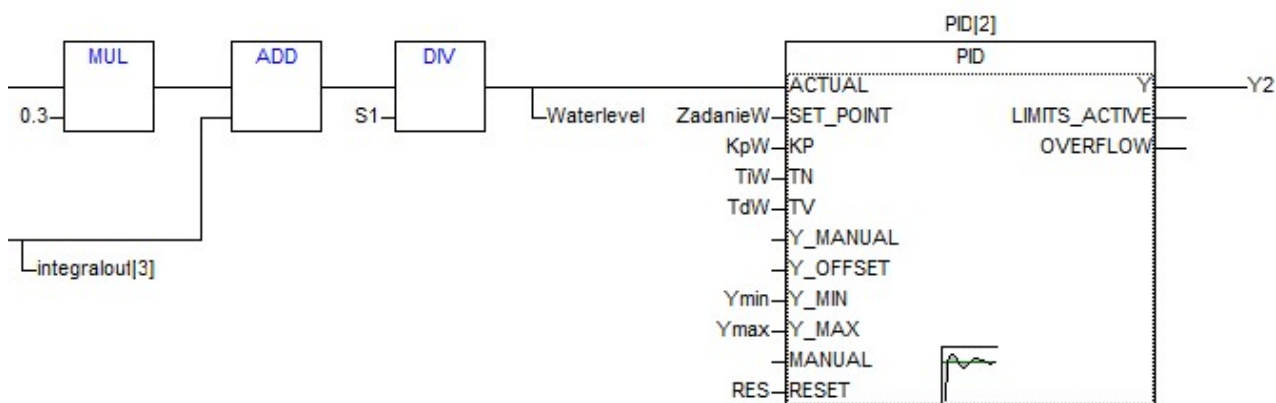


Рисунок 25 - Регулирование уровня воды в резервуаре часть 2

Схема аналогично функционирует в соответствии с уравнением (9). Пусть в водонефтяной эмульсии содержится в среднем тридцать процентов воды. Тогда приток воды определяется тридцатью процентами от притока

водонефтяной эмульсии, расход соответствует расходу воды. Для того, чтобы предотвратить случаи появления расхода воды при отсутствии ее в резервуаре был использован блок, сигнализирующий об отсутствии воды в резервуаре. Рассчитанные объёмы складываются и преобразовываются в уровень. Полученный уровень сравнивается с установкой и на основе получившегося рассогласования ПИД-регулятор формирует управляющее воздействие для электропривода, верхняя и нижняя граница открытия клапана регулируется функциональный блоком LIMIT.

Регулирование уровня нефти проводится с помощью схемы, приведенной на рисунках 26 и 27.

Регулирование уровня нефти в камере сбора нефти

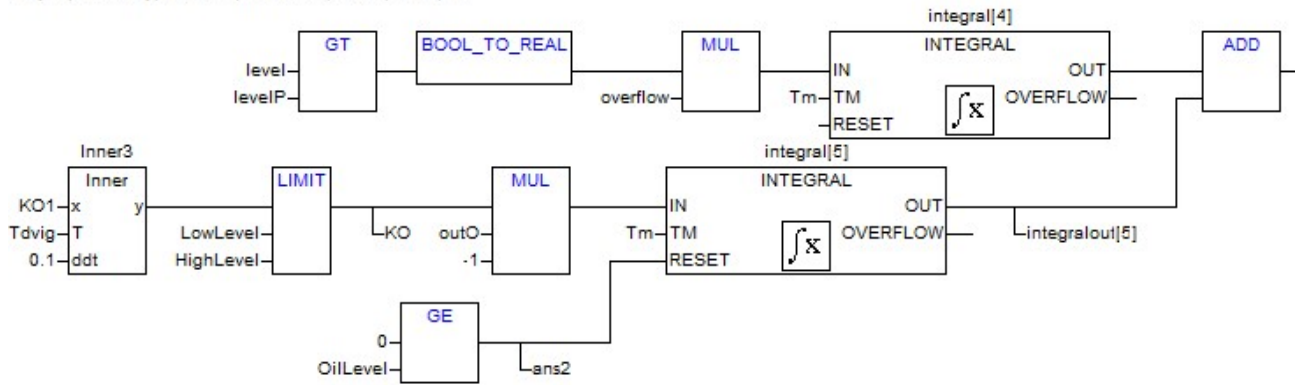


Рисунок 26 - Регулирование уровня нефти в камере сбора нефти часть 1

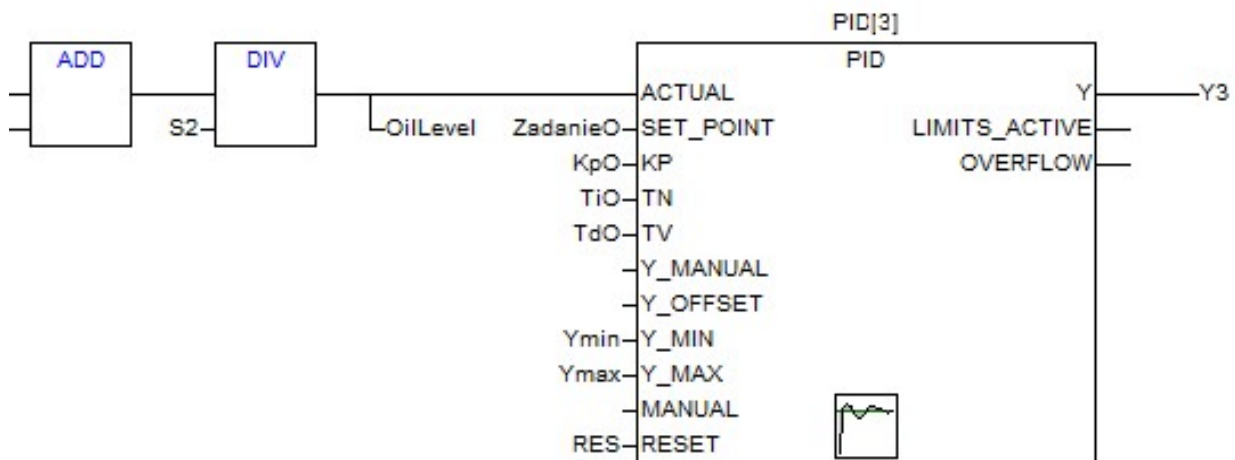


Рисунок 27 - Регулирование уровня нефти в камере сбора нефти часть 2

Схема функционирует в соответствии с уравнением (9). Тогда приток воды определяется притоком перетыкаемой через перегородку нефти, расход соответствует расходу нефти. Для того, чтобы предотвратить случаи появления расхода нефти при отсутствии ее в камере сбора нефти был использован блок, сигнализирующий об отсутствии нефти в камере. Рассчитанные объёмы складываются и преобразовываются в уровень. Полученный уровень сравнивается с установкой и на основе получившегося рассогласования ПИД-регулятор формирует управляющее воздействие для электропривода, верхняя и нижняя граница открытия клапана регулируется функциональный блоком LIMIT.

Нефть и вода, выводимые из сепаратора, накапливаются в специальных резервуарах, уровень в этих резервуарах рассчитывается исходя из расхода жидкостей и площадей резервуаров. Цепи, в которых рассчитывается уровень жидкостей в резервуарах изображены на рисунке 28 и 29.

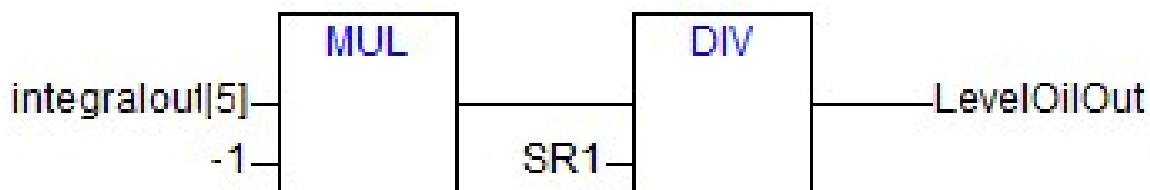


Рисунок 28. Расчет уровня нефти в резервуаре

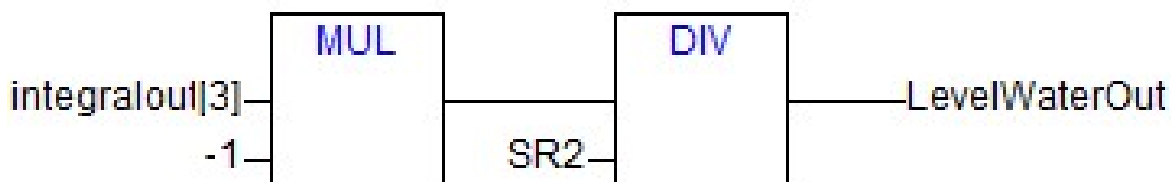


Рисунок 29 – Расчет уровня воды в резервуаре

Для того, чтобы моделируемая система стала больше похожей на реальную необходимо установить частоту опроса и генерации управляющего воздействия близкую к реальной. Воспользовавшись менеджером задач, установим частоту вызова программ равную 0,1 с. Создание циклической задачи изображено на рисунке 30.

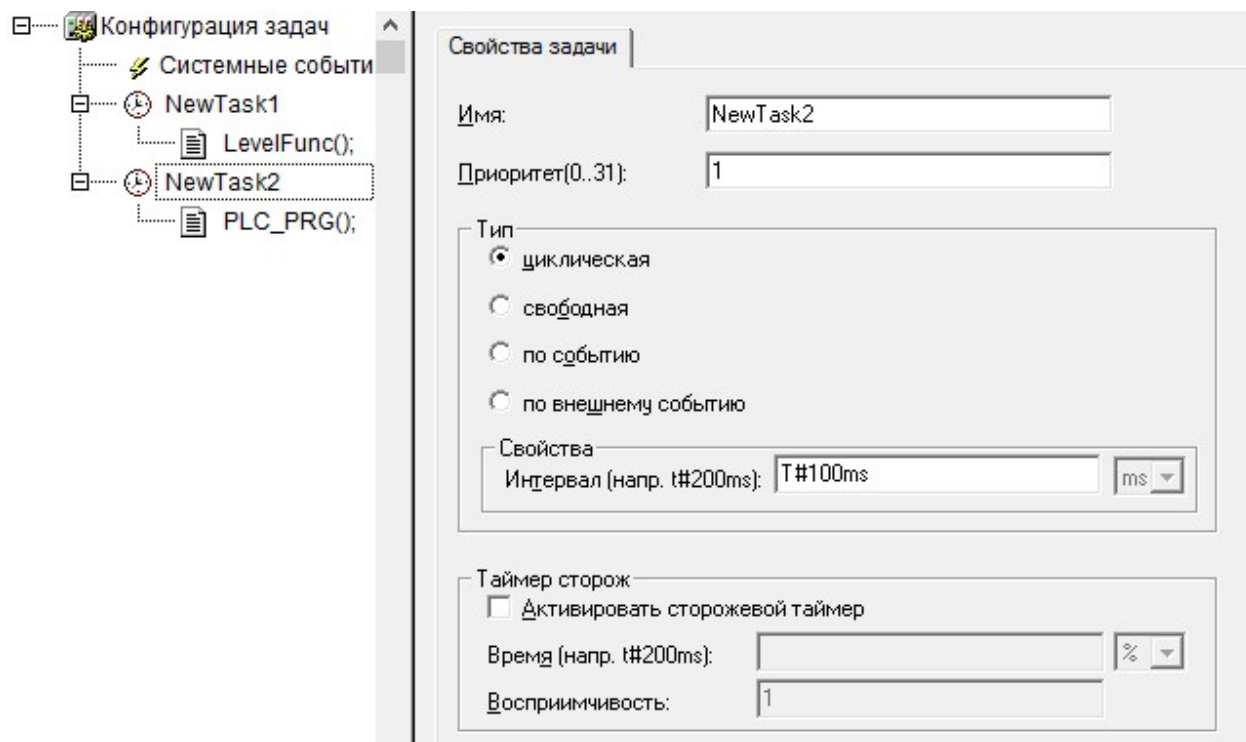


Рисунок 30 - Создание циклической задачи

Выводимая из сепаратора вода и нефть собираются в специальных резервуарах. Разрабатываемый стенд представляет собой визуализацию работы горизонтального сепаратора, через мнемосхему, разработанную в CoDeSys. Работа мнемосхемы представлена на рисунке 31.

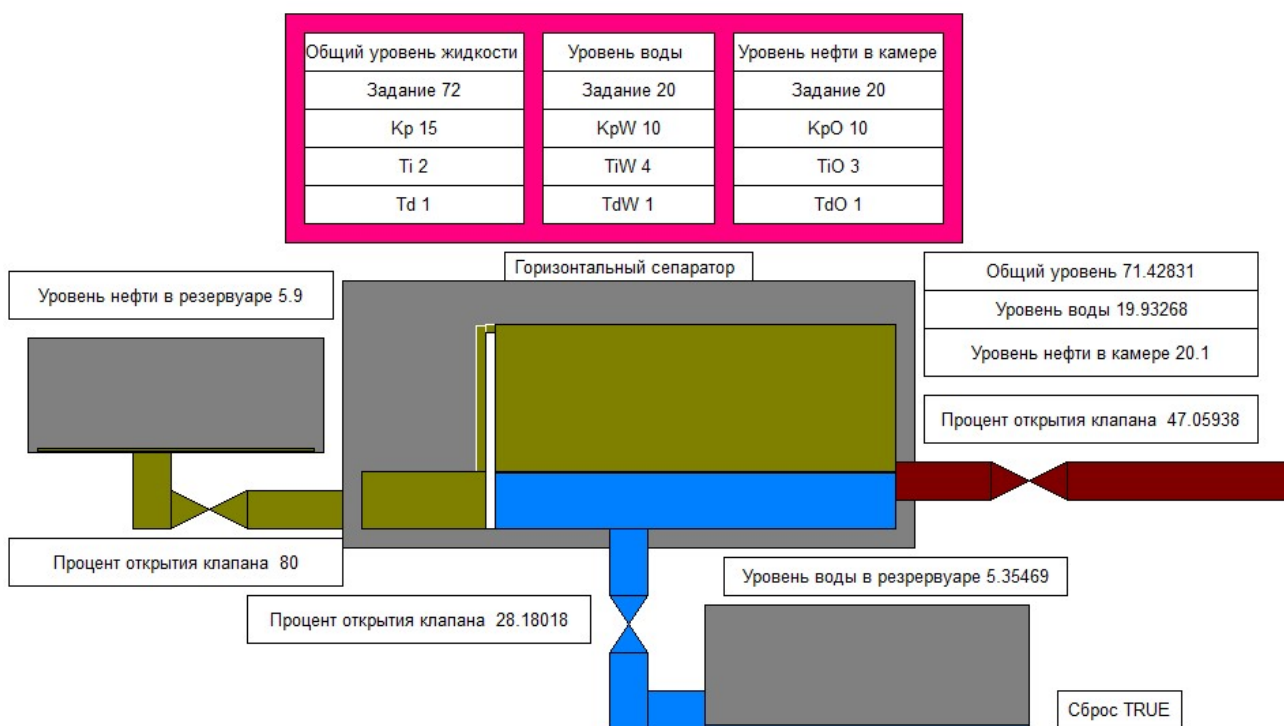


Рисунок 31 – Мнемосхема, визуализирующая работу сепаратора

Мнемосхема, иллюстрирующая работу сепаратора, представленная на рисунке 31 включает в себя: панель настройки коэффициентов ПИД-регуляторов, визуализация увеличения уровня воды, нефти внутри сепаратора и резервуаров. Обозначены клапаны и степени их открытия. Красным цветом обозначается полностью закрытый клапан. Приведены реальные показания уровня жидкостей.

Для настройки каждого из ПИД регуляторов в CoDeSys составлены мнемосхемы, на которых изображены кривые разгона, панели настройки коэффициентов регулятора., кнопки сброса. Мнемосхемы изображены на рисунках 32-34.



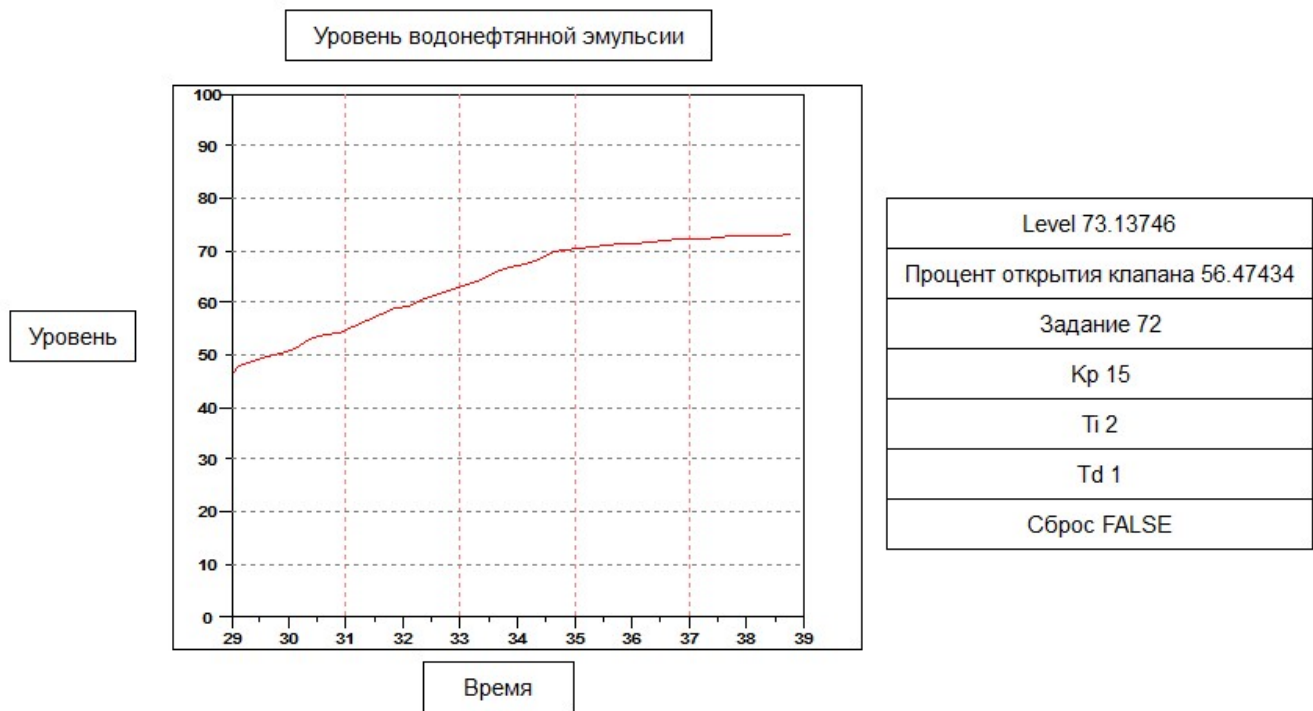


Рисунок 32 – Мнемосхема настройки ПИД регулятора для контроля уровня водонефтяной эмульсии в среде CoDeSys

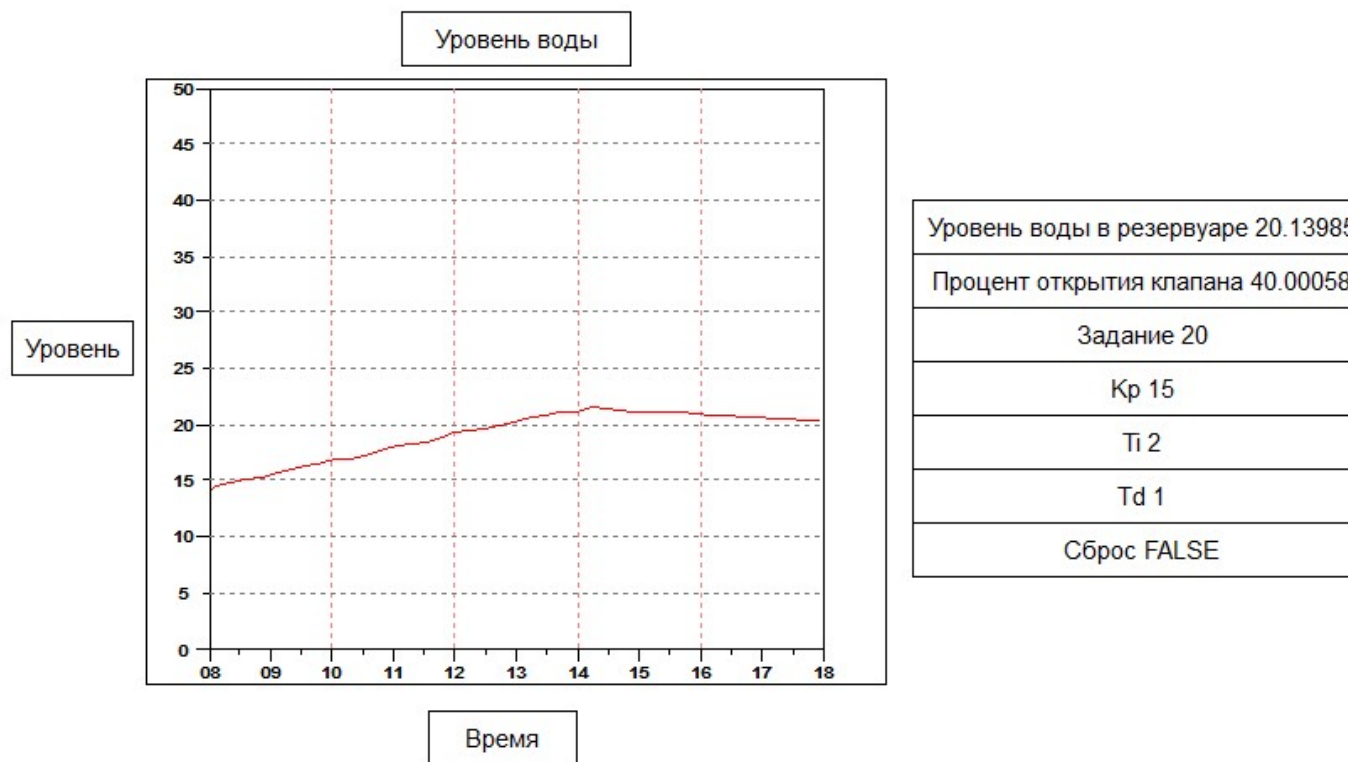


Рисунок 33 – Мнемосхема настройки ПИД-регулятора для контроля уровня воды в сепараторе в среде CoDeSys

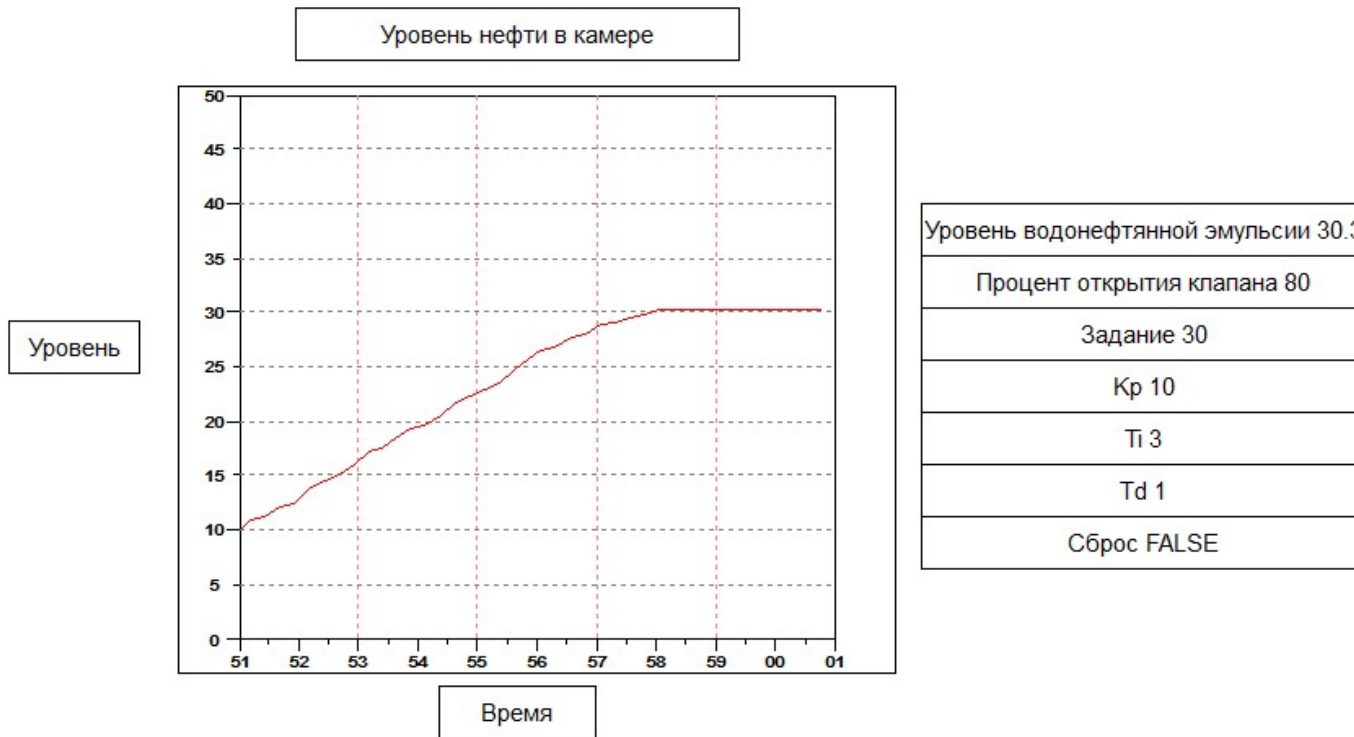


Рисунок 34 – Мнемосхема настройки ПИД-регулятора для контроля уровня нефти в камере сбора нефти в среде CoDeSys

### 3 Использование MATLAB для настройки ПИД-регулятора

#### 3.1 Функциональная схема связи MATLAB и CodeSys

Для получения переходной характеристики наполнения резервуара, была использованная приведенная на рисунке 35 схема.

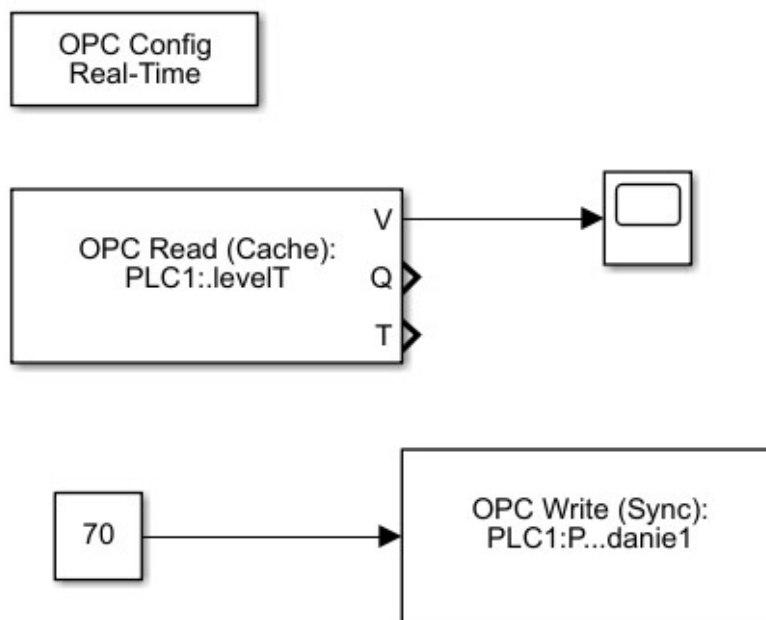


Рисунок 35 - Схема получения переходной характеристики процесса из CoDeSys

На схеме, приведенной на рисунке 35, реализованной в среде программирования MATLAB SIMULINK, имеется блок настройки OPC сервера, блок чтения переменной, блок записи значения в переменную.

Так как, переходная характеристика имеет дискретный характер, а значит представляет собой массив данных, соотнесенных с временем, количество элементов в котором зависит от частоты опроса и времени записи. Приведенный на схеме блок Score, позволяет сохранять этот двумерный массив. А приведенный в приложении А скрипт позволяет рассчитывать перерегулирование системы, время переходного процесса и строить график переходного процесса.

### 3.2 Настройка ПИД-регулятора

Настройка ПИД-регуляторов проведена итерационным методом в соответствии с таблицей 8.

Таблица 8 - Влияние изменения настроечных параметров на переходный процесс

Свойства регулятора	С увеличением настроечных параметров регулятора		
	$K_p$	$T_i$	$T_d$
Быстродействие	Увеличивается	Уменьшается	Увеличивается
Устойчивость	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается
Точность	Увеличивается	Увеличивается	Не влияет

В результате настройки ПИД-регулятора, контролирующего уровень водонефтяной эмульсии получены следующие коэффициенты:

$$K_p = 15;$$

$$T_i = 2;$$

$$T_d = 1.$$

Переходная характеристика для полученных коэффициентов приведена на рисунке 36.

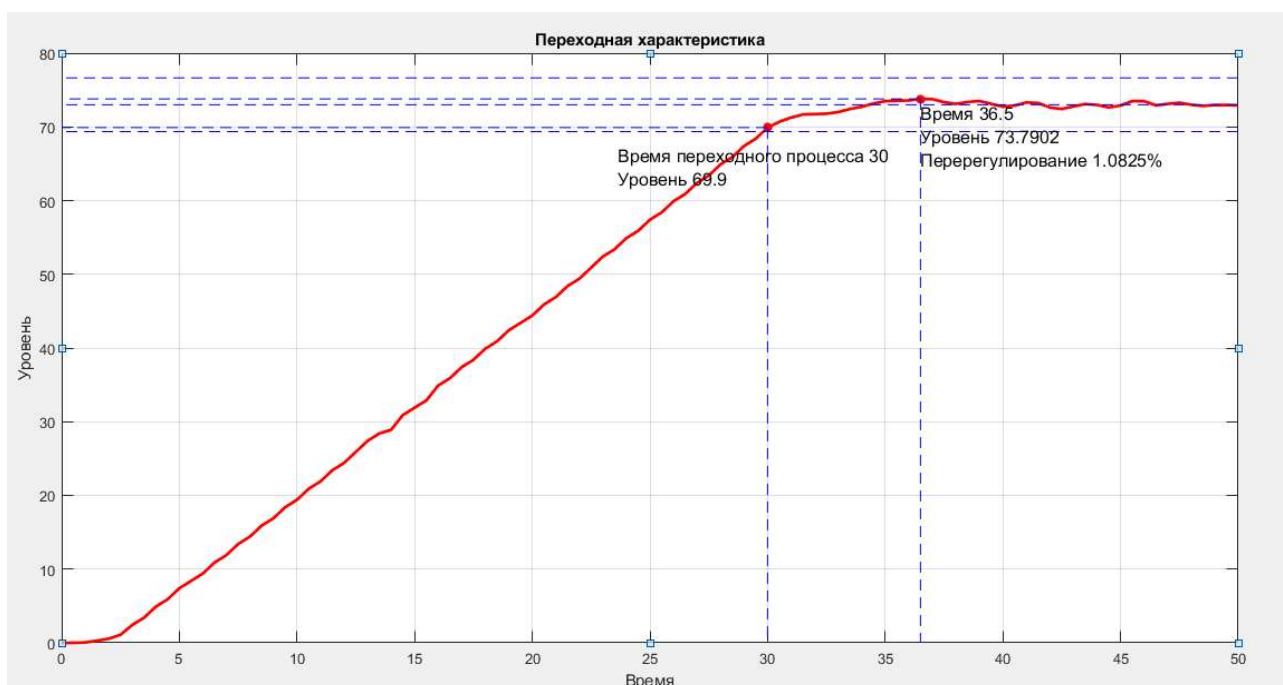


Рисунок 36 - Переходная характеристика контроля уровня водонефтяной эмульсии

Согласно рисунку 36 основные показатели качества равны:

$$\sigma = 1.1 \%;$$

$$t_{уст} = 30 \text{ с.}$$

В результате настройки ПИД-регулятора, контролирующего уровень воды в сепараторе получены следующие коэффициенты:

$$K_p = 7;$$

$$T_i = 4;$$

$$T_d = 1.$$

Переходная характеристика контроля уровня воды в сепараторе приведена на рисунке для полученных коэффициентов приведена на рисунке 37.

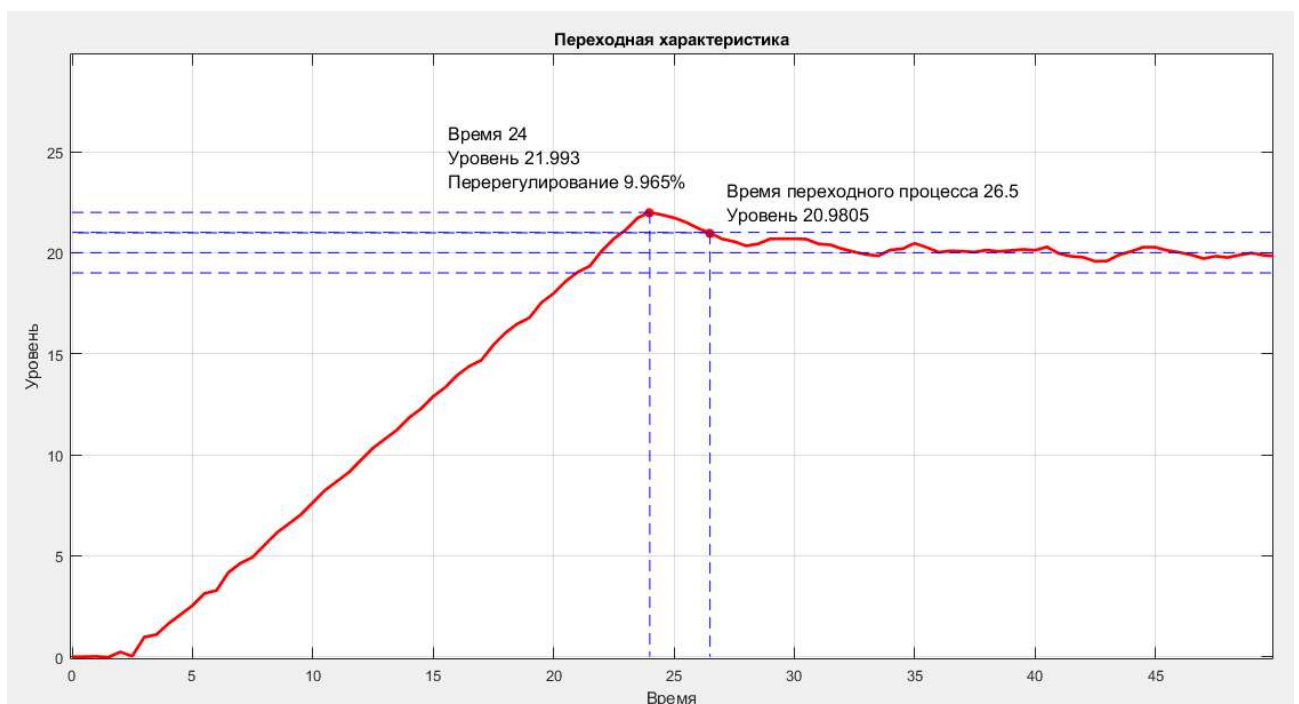


Рисунок 37 - Переходная характеристика контроля уровня воды в сепараторе

Согласно рисунку 37 основные показатели качества равны:

$$\sigma = 9.965 \%;$$

$$t_{уст} = 26.5 \text{ с.}$$

В результате настройки ПИД-регулятора, контролирующего уровень водонефтяной эмульсии получены следующие коэффициенты:

$$K_p = 10;$$

$$T_i = 3;$$

$$T_d = 1.$$

Переходная характеристика контроля уровня нефти в сепараторе приведена на рисунке 38.

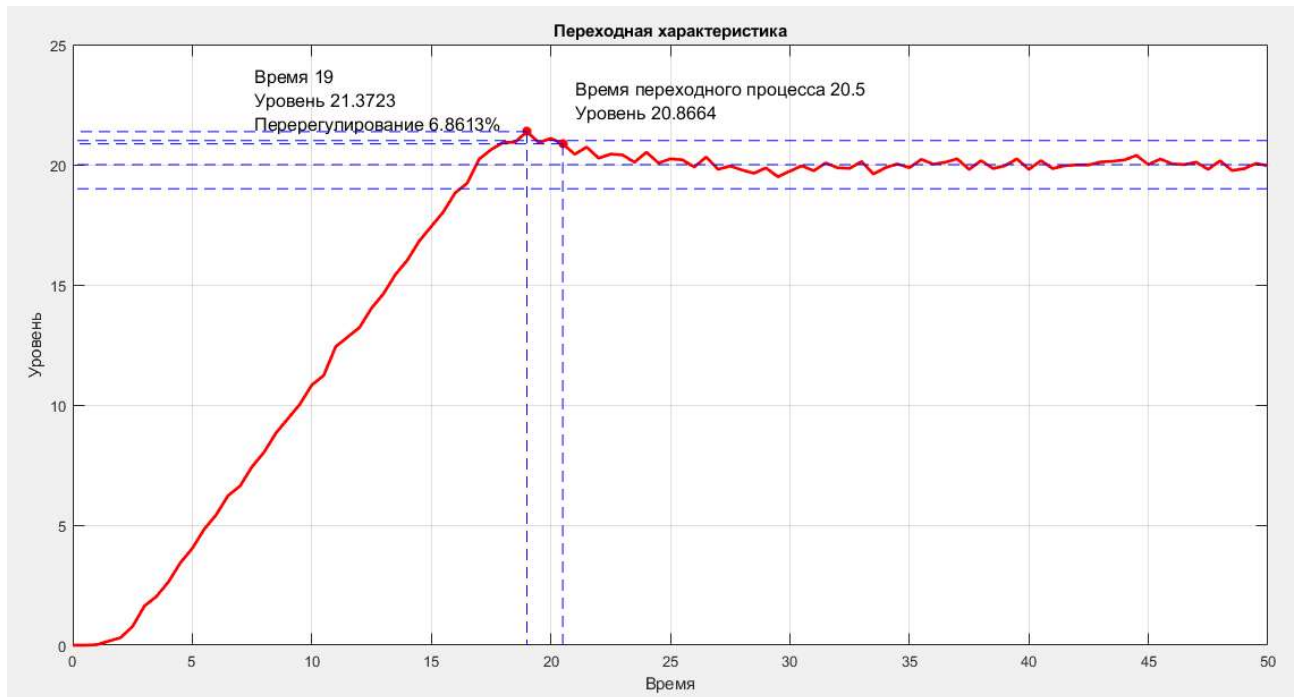


Рисунок 38 - Переходная характеристика контроля уровня нефти в камере

Согласно рисунку 38 основные показатели качества равны:

$$\sigma = 6.86 \%;$$

$$t_{уст} = 20.5 \text{ с.}$$

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Перспективность научного исследования определяется в первую очередь коммерческой ценностью разработки. Высокая коммерческая ценность разработки помогает найти необходимые источники финансирования для проведения исследования. В данном разделе будет представлен: анализ конкурентоспособности, ресурсоэффективности, расчет бюджета проводимой разработки. Оценка перспективности, планирование и формирование бюджета научного исследования позволяют анализировать его экономическую эффективность.

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом разработки является учебный тренажерный стенд «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти». Потенциальными потребителями подобной установки могут выступать образовательные учреждения, промышленные предприятия и лаборатории. Карта сегментирования потенциальных потребителей представлена в таблице 9. Таблица 9 – Карта сегментирования

		Сфера использования		
		Образовательные учреждения	Промышленные предприятия	Лаборатории
Размер организации	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

За счет того, что лабораторный стенд представляет собой симуляционную модель горизонтального сепаратора, предназначенную для исследования методов настройки ПИД-регулятора на практике, стенд больше всего подходит для образовательных учреждений любого размера, а так же малых и средних предприятий, лабораторий, которых устроит представленная точность симуляции.

## 4.2 Анализ конкурентных технических решений

На российском рынке в качестве производителей учебных тренажерных стендов выделяются компании «Учтех-профи», «ГалСен».

Так как разрабатываемый стенд относится к категории автоматизация технологических процессов и производств, в качестве конкурирующих решений были взяты стенды компаний «Учтех-профи», «ГалСен» соответствующей категории.

Сравнительная таблица конкурирующих технических решений приведена в табл. 10.

Таблица 10 – Сравнение конкурирующих технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Удобство в эксплуатации	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
Долговечность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Безопасность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
Качество визуализации	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
Быстродействие	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Цена	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Послепродажное обслуживание	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
Доступность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>4,6</b>	<b>4,2</b>	<b>4,05</b>

По результатам расчетов в таблице 10 можно заключить, что разрабатываемый стенд конкурентоспособен на рынке. Разработка проигрывает аналогичным системам в удобстве эксплуатации, в качестве визуализированного результата, но выигрывает в цене, быстродействии, надежности и безопасности.



### 4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ необходим для изучения сильных и слабых сторон проекта, а также возможностей и угроз. Матрица SWOT-анализа приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны:</b>  С1. Возможность изменять алгоритм программы  С2. Возможность изменять визуализацию программы  С3. Низкая стоимость по сравнению с другими представляемыми решениями  С4. Возможность использовать стенд для других симуляций.  С5. Возможность использования ПО, установленного на ПК</p>	<p><b>Слабые стороны:</b>  Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки  Сл2. Затраты на ПО для моделирования  Сл3. Уязвимость ПК к вирусам и внешнему воздействию</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Рост спроса на учебные тренажеры  В2. Рост цены конкурирующих разработок  В3. Совершенствование стенда.</p>	<p>В1В2С3  Рост прибыли за счет роста продаж  В3С1С2С4  Гибкая настройка под клиента</p>	<p>В1В2Сл1  Из-за отсутствия прототипа могут возникнуть непредвиденные проблемы  В3Сл2  Отсутствие финансирования не дает возможности модернизировать стенд</p>

Продолжение таблицы 11 – Матрица SWOT-анализа

<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Заражение компьютера вирусом                  У2. Отсутствие финансирования                  У3. Поломка ПК</p>	<p>У1С5                  Возможность установки антивирусных программ                  У2С3                  Низкая цена разработки увеличивает шансы получения финансирования</p>	<p>У1У3СЛ3                  Парализует работу стенда</p>
--	---	--

По итогам SWOT-анализа были выявлены слабые стороны и возможные угрозы. Так же была разработана стратегия по противостоянию угрозам и слабым сторонам:

1. Сл1 необходимо создать опытный образец.
2. У2Сл2 необходимо найти источник финансирования.
3. У1У3Сл3 для предотвращения появления вредоносных можно ограничить доступ в интернет и использования различных накопителей информации для всех кроме администратора. Также можно установить антивирусную программу, которую необходимо поддерживать актуальном состоянии.
4. У3 для минимизации проблем, создаваемых поломкой ПК, необходимо иметь резервное хранилище данных, а также резервный ПК для быстрой замены и продолжения функционирования стенда.

#### **4.4 Организация и планирование работ**

##### **4.4.1 Структура работ**

Для выполнения исследований по данной работе создана рабочая группа, состоящая из руководителя, консультанта и студента. Структура работ, содержащая перечень этапов в рамках проведения научного исследования, с учетом распределения занятости каждого из участников представлена в таблице

Таблица 12 - Структура работ

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1. Постановка целей и задач исследования	НР	НР – 100 %
2. Изучение области исследования по тематике ТЗ	И	И – 100 %
3. Разработка календарного плана	И, НР	И – 80 % НР – 20 %
4. Обзор литературы	И	И – 100 %
5. Создание модели в CoDeSys	И	И – 100 %
6. Установка связи с MATLAB	И	И – 100 %
7. Сравнительный анализ методов настройки системы	И, К	И – 80 % К – 20 %
8. Подбор реальных приборов для создания стенда	И, К	И – 80 % К – 20 %
9. Создание 3D модели стенда	И	И – 100 %
11. Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И -100 %
11. Составление презентации	И	И – 100 %
12. Подведение итогов	НР	НР – 100 %

#### 4.4.2 Продолжительность работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Необходимые для расчетов формулы взяты из учебно-методического пособия [7]. Ожидаемая трудоемкость выполнения работ определяется по формуле (12).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (12)$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел. дн;  
 $t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения работы;  
 $t_{max}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения работы.

Усредненная продолжительность выполнения этапа работы в календарных днях рассчитывается по формуле (13).

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot K_{КД}, \quad (13)$$

Где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения работы в календарных днях;  
 $T_{РД}$  - продолжительность выполнения работы;  
 $K_{КД}$  - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{КД} = \frac{T_{КД}}{T_{КД} - T_{ВД} - T_{ПД}}. \quad (14)$$

$T_{КД}$  – количество календарных дней в году (для 2020 г.  $T_{КД} = 366$ );

$T_{ВД}$  – количество выходных дней в году (для 2020 г.  $T_{ВД} = 52$ );

$T_{ПД}$  – количество праздничных дней в году (для 2020 г.  $T_{ПД} = 14$ ).

С учетом подстановок коэффициент календарности для 2020 г. равен:

$$K_{КД} = \frac{366}{366 - 52 - 14} = \frac{366}{300} = 1,22. \quad (15)$$

Следовательно, коэффициент календарности  $K_{КД} = 1,22$

Результаты расчетов трудозатрат на выполнение работ приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Результаты расчетов трудозатрат на выполнение работ

Наименование работы	Исполнители работы	Длительность работ, дн.			Трудоёмкость работ по исполнителям, чел.дн					
		$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{оож}$	$T_{РД}$			$T_{КД}$		
					НР	К	И	НР	К	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Постановка целей и задач исследования	НР	2	4	2,8	2,8	0	0	3,4	0	0
2. Изучение области исследования по тематике ТЗ	И	5	6	5,4	0	5,4	0	0	6,6	0
3. Разработка календарного плана	И, НР	1	2	1,4	0,2	0	1,1	0,3	0	1,4
4. Обзор литературы	И	7	10	8,2	0	0	8,2	0	0	10
5. Создание модели в CoDeSys	И	2	4	2,8	0	0	2,8	0	0	3,4
6. Установка связи с MATLAB	И	1	2	1,4	0	0	1,4	0	0	1,7
7. Сравнительный анализ методов настройки системы	И, К	3	5	3,8	0	0,76	3,0	0	0,9	3,7
8. Подбор реальных приборов для создания стенда	И, К	10	15	12	0	2,4	9,6	0	2,9	11,7
9. Создание 3D модели стенда	И	3	6	4,2	0	0	4,2	0	0	5,1
11. Оформление расчетно-пояснительной записки	И	10	13	11,2	0	0	11,2	0	0	13,6
11. Составление презентации	И	5	7	5,8	0	0	5,8	0	0	7,1
12. Подведение итогов	НР	1	2	1,4	1,4	0	0	1,7	0	0
<b>Итого:</b>				<b>60,4</b>	<b>4,4</b>	<b>8,5</b>	<b>47,3</b>	<b>5,4</b>	<b>10,4</b>	<b>57,7</b>

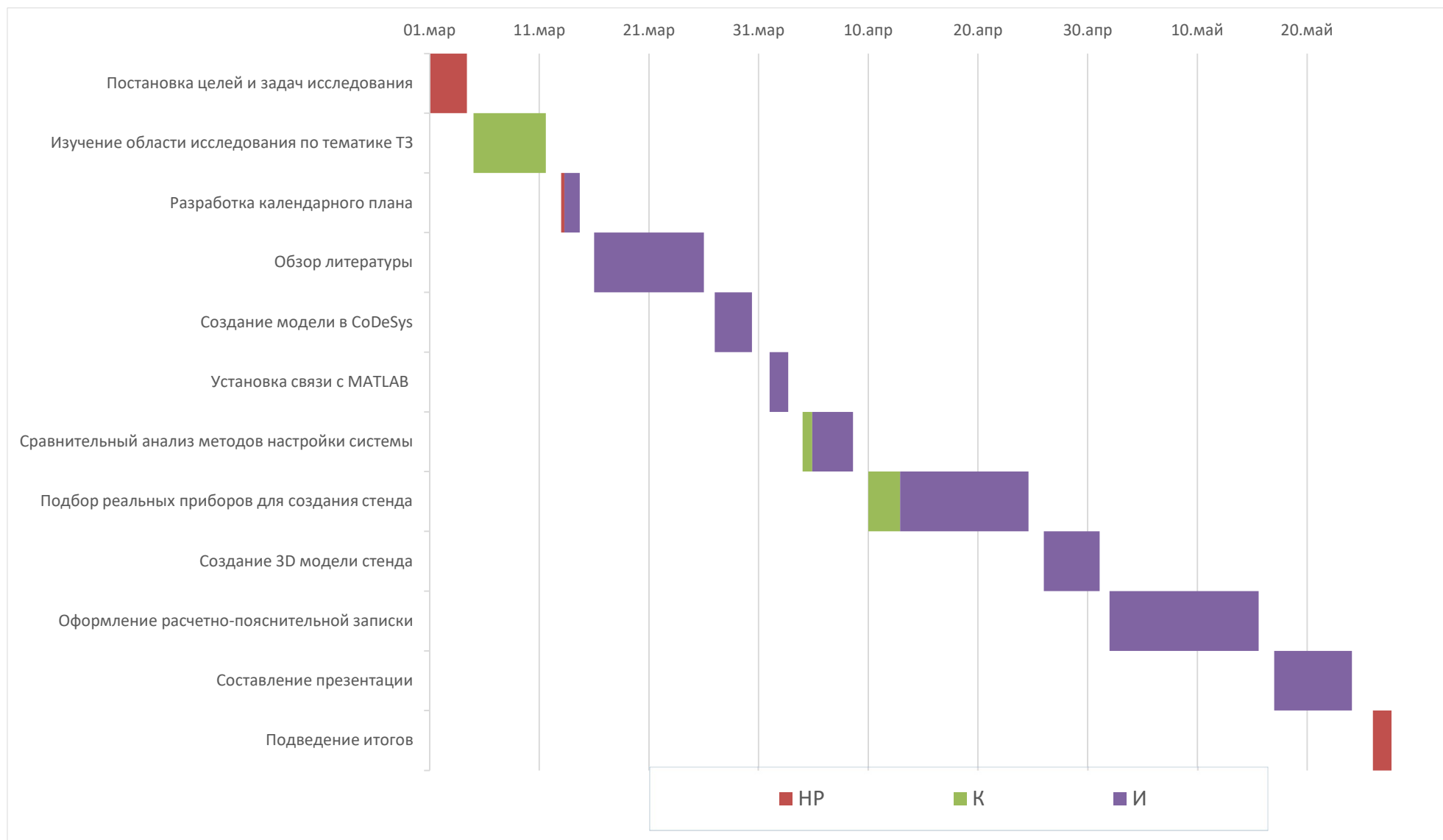


Рисунок 39 - Диаграмма Ганта

Таким образом была составлена оценка необходимого объема работ, по ней составлен план их выполнения с распределением обязанностей между участниками проекта. Участников проекта трое: научный руководитель, консультант, студент (инженер). Научный руководитель должен быть задействован в течении 6 дней, консультант в течении 11 дней, студент (инженер) – 58 дней.

#### 4.5. Смета затрат на проект

Затраты на выполнение проекта ( $K_{пр}$ ) можно рассчитать, сложив все категории расходов:

$$K_{пр} = K_{мат} + K_{ам} + K_{зп} + K_{во}, \quad (16)$$

где  $K_{мат}$  – материальные расходы на выполнение проекта;

$K_{ам}$  – затраты на амортизацию компьютера;

$K_{зп}$  – затраты на выплату заработной платы;

$K_{во}$  – отчисление во внебюджетные фонды;

##### 4.5.1 Расчет материальный затрат

Во время работы задействованы такие программные продукты как: Microsoft Office, MATLAB, CoDeSyS. Microsoft Office предоставлен бесплатно студентам ТПУ, MATLAB использовался по студенческой лицензии, ограниченная версия CoDeSys находится в свободном доступе в сети интернет. Таким образом рассматриваемые в этом подразделе материальные затраты сводятся к покупке канцелярских принадлежностей и затраты на покупку ПК, необходимого для стенда. В таблице 14 приведены материальные затраты на проект.

Таблица 14 - Материальные затраты на проект

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Сумма, руб.
Офисная бумага, упак. 500 листов	310	1	310

Продолжение таблицы 14 - Материальные затраты на проект.

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Сумма, руб.
Тетрадь общая, 48 л.	50	1	50
Гелиевая черная ручка	50	3	150
Картридж для принтера HP 650	1200	1	1200
Материнская плата GIGABYTE H310M S2 2.0	4040	1	4040
Устройство охлаждения(кулер) ZALMAN CNPS80G	580	1	580
Видеокарта GIGABYTE NVidia GeForce 210, GV-N210D3-1GI	3090	1	3090
Модуль памяти AMD Radeon R7 Performance Series R748G2606U2S-UO DDR4 — 8Гб	1522	1	1522
SSD накопитель WD Green WDS480G2G0B 480Гб	4990	1	4990
Корпус mATX LINKWORLD VC- 05M06, черный	1750	1	1750
Блок питания AEROCOOL ECO- 400	1630	1	1630
Монитор SAMSUNG S27F354FHI 27	11490	2	22980
Процессор INTEL Core i5 9400F, OEM	12 190	1	12 190
<b>Итого</b>			<b>54382</b>

Транспортно-заготовительные расходы (ТЗР) обычно составляют от 5 % до 20 % от общей цены материалов, допустим что для данной ситуации ТЗР составляет 10 %, тогда материальные расходы с учетом ТЗР равны:  $K_{\text{мат}} = 54382 \cdot 1,1 = 59820,2$  рублей.

#### 4.5.2 Амортизация компьютерной техники

Написание выпускной квалификационной работы по плану занимает 3 месяцев. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 25000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет [6];

Норма амортизации  $N_A$  рассчитывается как [7]:



$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100 \%, \quad (17)$$

где  $T$  – срок полезного использования, лет.

Если принять срок полезного использования равным 2,5 годам, тогда норма амортизации  $H_A$ :

$$H_A = \frac{1}{2,5} \cdot 100 \% = 40 \%. \quad (18)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{\text{год}} = 25000 \cdot 0,4 = 10000 \text{ руб.} \quad (19)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{\text{мес}} = \frac{10000}{12} = 834 \text{ руб.} \quad (20)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 834 \cdot 3 = 2500 \text{ руб.} \quad (21)$$

#### 4.5.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату рассчитываются как суммарные затраты на заработную плату научного руководителя ( $ЗП_{\text{нр}}$ ), консультанта ( $ЗП_{\text{к}}$ ), и студента (инженера) ( $ЗП_{\text{и}}$ ):

$$K_{\text{зп}} = ЗП_{\text{нр}} + ЗП_{\text{к}} + ЗП_{\text{и}}. \quad (22)$$

Оклад научного руководителя в должности доцента составляет 33664 рублей, оклад консультанта в должности старшего преподавателя 12664 рублей, оклад студента принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации и составляет 12664 рублей. В 2020 году с учётом 48-дневного отпуска 252 рабочих дня. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1603,05 рублей в день, для консультанта и инженера – 603,05 рубля в день.

Зарботная плата включает в себя основную ( $ЗП_{\text{осн}}$ ) и дополнительную ( $ЗП_{\text{доп}}$ ) части. При этом основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{осн}} = ЗП_{\text{дн}} \cdot T_{\text{рд}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_{\text{р}}, \quad (23)$$

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

$T_{РД}$  – трудоёмкость выполнения работы в рабочих днях;

$K_{пр}$  – коэффициент премирования;

$K_{д}$  – коэффициент доплат;

$K_{р}$  – районный коэффициент (для Томска  $K_{р} = 1,3$ ).

В таблице 15 приведены результаты расчета заработной платы.

Таблица 15 – Результаты расчетов заработной платы

Исполнители	$ЗП_{дн}$	$K_{р}$	$K_{д}$	$K_{пр}$	$T_{РД}$	$ЗП_{осн}$ , руб
Научный руководитель	1603,05	1,3	0,2	0,3	5,4	16880,12
Консультант	603,05	1,3	0,2	0,3	10,4	12229,86
Инженер	603,05	1,3	0,2	0,3	57,7	67852,17
<b>Итого (<math>K_{зп}</math>)</b>						<b>96962,15</b>

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{доп} = ЗП_{осн} \cdot 0,12. \quad (24)$$

Отчисления во внебюджетные фонды в соответствии с Налоговым кодексом РФ рассчитываются по формуле:

$$ЗП_{внеб} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,302. \quad (25)$$

Результаты расчетов по формулам (24) и (25) представлены в таблице 16

Таблица 16 – Результаты расчетов по формулам (24) и (25)

Исполнители	$ЗП_{доп}$	$ЗП_{внеб}$
Руководитель	2025,61	5671,719
Консультант	1467,58	4109,232
Инженер	8142,26	22798,33
<b>Итого</b>	<b>11635,45</b>	<b>32579,28</b>

Накладные расходы составляют 10% от величины всех остальных расходов.

#### 4.5.4 Расчет общей себестоимости

Рассчитанные в пунктах 6.5.1-6.5.3 расходы сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Суммарные расходы

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	59820,2	26,72
Затраты на амортизацию	2500	1,12
Основная заработная плата	96962,15	43,32
Дополнительная заработная плата	11635,45	5,20
Страховые взносы	32579,28	14,55
Накладные расходы	20349,71	9,09
<b>Итого</b>	<b>223846,79</b>	<b>100</b>

В ходе подсчёта затрат на разработку проекта выявлено, что основная часть (43,22 %) средств расходуется на выплату заработной платы.

#### **4.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Эффективность разработки сравнивается аналогичными системами:

1. Учебный стенд компании «Учтех-профи» - «Автоматизированная система управления технологического процесса» стоимостью 481 760 рублей.

2. Учебный стенд компании «ГалСен» - «Автоматизация технологических процессов и производств на основе приборов ОВЕН» стоимостью 251 900 рублей.

Эффективность разработки определяется путём расчёта интегрального финансового показателя:

$$I_{\text{фин}}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (26)$$

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

$\Phi_i$  – стоимость  $i$ -ого варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения проекта (зависит от сложности АСУ).

$$I_{\text{фин}} = \frac{223847}{481760} = 0,46; \quad (27)$$

$$I_{\text{фин}}^1 = \frac{481760}{481760} = 1; \quad (28)$$

$$I_{\text{фин}}^2 = \frac{251900}{481760} = 0,52. \quad (29)$$

Сравнительная оценка ресурсоэффективности рассматриваемых аналогов приведена в табл. 18.

Таблица 18 - Сравнительная оценка ресурсоэффективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Удобство в эксплуатации	0,18	3	5	4	0,54	0,9	0,72
Долговечность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Надежность	0,18	5	4	4	0,9	0,72	0,72
Безопасность	0,27	5	4	4	1,35	1,08	1,08
Качество визуализации	0,18	3	5	4	0,54	0,9	0,72
Быстродействие	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>4,28</b>	<b>4,46</b>	<b>4,1</b>

Интегральный показатель эффективности разработки вычисляется на основании рассчитанных выше интегрального финансового показателя (27 – 29) и показателя ресурсоэффективности (табл 18):

$$I^i = \frac{I_p^i}{I_{\text{фин}}^i}. \quad (30)$$

Для разрабатываемой системы:

$$I = \frac{4,28}{0,46} = 9,3. \quad (31)$$

Для рассматриваемых аналогов:

$$I^1 = \frac{4,46}{1} = 4,46; \quad (32)$$

$$I^2 = \frac{4,1}{0,52} = 7,88. \quad (33)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы и рассматриваемых аналогов рассчитывается как:

$$\mathcal{E} = \frac{I}{I^i}. \quad (34)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы с аналогами приведена в табл. 19.

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог №1	Аналог №2
1	Интегральный финансовый показатель $I_{фин}$	0,46	1	0,52
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности $I_p$	4,28	4,46	4,1
3	Интегральный показатель эффективности $I$	9,3	4,46	7,88
4	Сравнительная эффективность $\mathcal{E}$ разработки к аналогам		2,085	1,18

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что разрабатываемый тренажерный стенд хотя и уступает аналогу №1 по ресурсоэффективности, однако превосходит его по интегральному показателю эффективности за счёт меньшей стоимости разработки.

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

В данном разделе оценены экономические аспекты исследуемого подхода к созданию учебного тренажерного стенда:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. К ним относятся учебные учреждения любых размеров, промышленные предприятия малых и средних размеров, а также мелкие лаборатории (см. подраздел 4.1).

2. Проведен анализ конкурентных технических решений. В ходе анализа выявлены два конкурента: компания «Учтех-профи», «ГалСен».

Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкурентам по удобству использования и качеству визуализации, однако обладает большей надежностью, безопасностью, быстродействием и относительно низкой ценой (см подраздел 4.2).

3. В ходе SWOT анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, определены основные угрозы и возможности. Возможные пути снижения влияния выявленных угроз представлены в подразделе 4.3.

4. Подсчитаны затраты на разработку тренажерного стенда. При запланированной продолжительности работы равной 3 месяца основной частью расходов является основная заработная плата исполнителей - 96962,15 (43,32 %). Все затраты перечислены в таблице 17 подраздела 4.5.4.

5. В подразделе 4.6 оценена экономическая эффективность разработки. По рассматриваемым критериям разрабатываемая система на данном этапе уступает аналогу №1 по ресурсоэффективности, из-за меньшего удобства эксплуатации и качества визуализации, однако за счет меньшей стоимости имеет больший интегральный показатель эффективности. Экономия достигается ввиду использования ПЛК в симмуляционном режиме.

В целом, эффективность разрабатываемого учебного стенда, определяется предъявляемыми к стенду критериями. В предложенном подходе главными критериями является цена и выполнение представленных задач. Учебный тренажерный стенд должен позволять исследовать методы настройки ПИД-регулятора на практике.

## **5 Социальная ответственность**

В работе осуществляется разработка и реализация учебного тренажерного стенда «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти». Актуальность работы объясняется постоянной потребностью Российской Федерации в повышении качества образования, которое возможно только при условии непосредственного контакта студентов с объектами, связанными с их будущей профессией, или моделями этих объектов. Разрабатываемый стенд предназначен для практического исследования работы ПИД-регулятора и методов его настройки. Работа производится сидя и сопровождается небольшим физическим напряжением, поэтому ее можно отнести к категории Ia. Рабочее место представляет специальный стол для установки стенда. Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти смоделирован, используя симуляцию ПЛК, результаты моделирования будут выводиться монитор ПК.

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

#### **5.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны)**

##### **правовые нормы трудового законодательства**

Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований по безопасному ведению работ в отдельных сферах деятельности осуществляется уполномоченными федеральными органами исполнительной власти.

Федеральный государственный надзор за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, осуществляется федеральной инспекцией труда в порядке, установленном Правительством Российской Федерации [8].

Органы, регулирующие соблюдение федерального законодательства и нормативных правовых актов: федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), федеральная инспекция труда (Роструд).

Для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в России существует Единая государственная система, положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации [9].

Вредные и (или) опасные факторы производственной среды и трудового процесса, подлежащие исследованию (испытанию) и измерению при проведении специальной оценки условий труда, а также применение этих результатов для улучшения условий труда регулируется федеральным законом «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ [10]. В данной работе федеральный закон затрагивает такие опасные факторы производственной среды температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха и другие. Так при причислении работы в аудитории к вредным условиям труда 2,3 или 4-й степени работникам должен предоставляться дополнительный оплачиваемый отпуск не менее 7 дней (ст. 17 ТК РФ), оплата труда устанавливается в повышенном размере и составляет не менее 4 % от окладов или тарифных ставок работников, работающих в нормальных условиях труда.

### 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Так как работа с лабораторным стендом во многом сводится к работе с ПК, согласно нормам [11] на протяжении всего рабочего дня должны быть регламентированы перерывы. Время перерывов в течении рабочей смены устанавливается в зависимости от длительности рабочей смены, ее вида и категории трудовой деятельности.

Правильное положение оператора за ПК показано на рисунке 40.



Рисунок 40 - Правильная позиция оператора ПК.



Рекомендации по размещению рабочих мест с ПК представлены на рисунке 41.

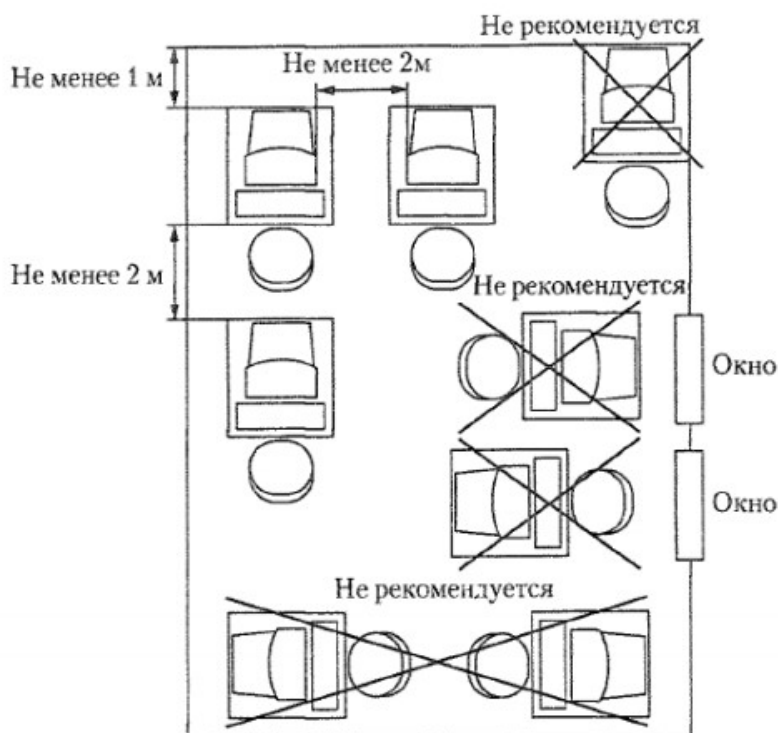


Рисунок 41 - Расположение компьютеров в помещении

Мероприятия по организации помещений рабочих мест заключаются в следующем: площадь на одно рабочее место должна составлять не менее  $6\text{ м}^2$ , а объем не менее  $20\text{ м}^3$ , аудиторное помещение должно быть оборудовано системой отопления, кондиционером и вентиляцией, поверхность пола должна быть ровной, для внутренней отделки интерьера помещений с компьютерами должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка – 0,7-0,8; для стен – 0,5-0,6; для пола – 0,3-0,5 [12].

## 5. 2 Производственная безопасность

**5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.**

### Электрический ток

Исследование и анализ полученных данных проводится за компьютером соответственно существует риск поражения электрическим током. Причиной поражения электричеством могут стать провода с поврежденной изоляцией, розетки без защитных кожухов, перегрузка розетки по мощности.

Виды воздействия электрического тока на человека:

- термическое (ожоги тела, нагрев и повреждение кровеносных сосудов, нервов и мозга, а также других органов и систем);
- механическое воздействие (расслоение, разрыв тканей организма);
- биологическое (раздражение и возбуждение живых тканей организма);
- электролитическое (распад молекул крови).

Электрические изделия по способам защиты человека от поражения током подразделяются на пять классов: 0, 01, 1, 2, 3. ПЭВМ относится к классу 01, это изделия, имеющие рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземления, подсоединенный к источнику питания.

Согласно [13] для предотвращения поражения электрическим необходимо проводить следующие мероприятия:

- применять устройства защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий;
- защищать людей от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством изоляции токоведущих частей электрооборудования;
- использовать защитное отключение при аварийных ситуациях;
- проводить инструктажи по электробезопасности.

Также условием допуска к работе в помещении должно быть присвоение первой группы по электробезопасности. Перед началом работы в помещении необходимо проверять крепление розеток и наличие оголенных токоведущих частей. При обнаружении неисправностей сообщить ответственному за оборудование. Все приборы должны иметь защитное заземление.

### **Электромагнитное излучение**

Электромагнитное излучение (электромагнитные волны) — электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью.

Негативное воздействие электромагнитного излучения проявляется в виде:

- нервных расстройств;
- нарушений сна;
- ухудшение зрительной активности;
- ослаблении иммунной системы;
- расстройства сердечно-сосудистой системы.

Человеческий организм всегда реагирует на электромагнитное поле, но для того, чтобы реакция переросла в заболевание необходимо высокое напряжённость поля и длительное облучение. Потенциальная опасность может грозить лишь людям с повышенной чувствительностью к электромагнитному полю. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах пользователей согласно [11] представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Временные допустимые уровни ЭМП, которые создают ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметра		Верхний допустимый уровень
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для защиты от влияния электромагнитного поля необходимо использовать специальные мониторы с пониженным уровнем излучения (MPR-II, TCO-92, TCO-99) и делать перерывы во время работы за компьютером.

### **Микроклимат рабочего места**

При работе с ПК должны соблюдаться оптимальные параметры микроклимата: температура поверхностей, температура и относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Параметры микроклимата оказывают существенное влияние на здоровье и работоспособность человека. Избыточная относительная влажность способствует приводит к ускорению перегрева организма, недостаточная влажность в свою очередь становится причиной пересыхания и растрескивания кожи и слизистой. Длительное воздействие высокой температуры при повышенной влажности приводит к потере воды и солей организма, нарушению кровообращения и доставки кислорода к мозгу, что ухудшает его продуктивность, а иногда приводит к судорогам и обморокам. Длительное воздействие низкой температуры при повышенной влажности приводит к переохлаждению, по мере падения общей температуры тела некоторые внутренние органы начинают замедлять свою работу, для того чтобы сохранить тепло и защитить мозг.

На рабочих местах при выполнении работ операторского типа, соответствующих категории Ia, оптимальные величины показателей микроклимата, согласно [13] должны соответствовать приведенным в таблице 21.

Таблица 21 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(60-40)	0,1
Теплый	(23-25)	(22-26)	(60-40)	0,1

Оптимальные значения показателей температуры воздуха и поверхностей обеспечиваются отопительной системой, вентиляцией кондиционером.

### 5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при исследовании приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы Актуализированная редакция СанПиН 2.2.4.548-96*[13].
2.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[14].

Продолжение таблицы 22 -- Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ГОСТ 12.1.030-81.
5.Повышенное значение ЭМП	+	+	+	Требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

### Освещенность рабочей зоны

Для создания безопасных и благоприятных условий труда необходимо обеспечить правильное освещение помещений. Недостаточная освещенность помещения способствует повышению утомляемости зрения, ухудшается общая работоспособность, возрастает количество ошибок, повышается опасность производственного травматизма.

По нормам [14] рабочее место должно иметь естественное и искусственное освещение. Рабочий процесс должен быть отчетливо виден без напряжения зрения и попадания прямых лучей источника света в глаза.

Работа за ПК относится к IV разряду зрительной работы средней точности. Рекомендуемая освещенность приведена в таблице 24.

Таблица 24 – Нормы освещённости

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Освещенность (комбинированная система), Лк	Освещенность (общая система), Лк
IV	Средней точности	Б	500	400

Для искусственного освещения можно применить галогенные лампы, которые имеют яркий и приятный свет ближе всего по своему спектру к солнечному.

### **5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.**

Для того, чтобы уменьшить вероятность поражения электрически током необходимо перед началом работы проверить исправность розеток и проводов, убедиться в отсутствии перегибов проводов.

Для обеспечения комфортных показателей микроклимата во время работы можно установить необходимые показатели температуры и влажности для кондиционера.

Во время работы необходимо соблюдать правила техники безопасности и внимательно не торопясь принимать решения.

После окончания работ необходимо навести порядок на рабочем месте, отключить электрические приборы.

В ходе работы каждые 40-50 минут необходимо делать перерывы не менее 15 минут, а после 4х часов работы - обеденный перерыв не менее одного часа.

Таким образом, при соблюдении выше указанных правил и исправности оборудования получить травму невозможно.

### **5.3 Экологическая безопасность.**

#### **5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду.**

Объект исследования не оказывает пагубного влияния на окружающую среду, если по истечению срока службы, всю использованную для создания учебного стенда, макулатуру и электронику, отправить на переработку или утилизацию.

#### **5.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду.**

Процесс эксплуатации объекта влияет на такие показатели микроклимата, как температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, также создает электромагнитное излучение. Все это оказывает влияние на окружающую среду и на здоровье человека.

#### **5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.**

Как указано в подразделе 5.3.2 объект исследования в процессе эксплуатации влияет на окружающую среду, однако влияние на окружающую среду в данном случае существенно меньше, чем непосредственно на человека. Обоснование мероприятий по защите человека от действия опасных и вредных факторов указаны в подразделе 5.2.3.

Утилизация электроники необходима из-за опасных для окружающей среды веществ, содержащихся в электронных приборах таких как свинец, ртуть и другие. Данные материалы могут пагубно воздействовать на экологию и отравлять почву и атмосферу. Поэтому комплектующие ПЭВМ по истечению полезного срока использования необходимо сдавать в соответствующие структуры для дальнейшей сортировки переработки и утилизации.

Макулатура практически не вредит окружающей среде, но также нуждается в переработке так, это способствует существенному снижению



объемов вырубки лесов. Которые в свою очередь являются сложной экосистемой, объединяющей растения,

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.**

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть при работе со стендом является пожар.

Причинами пожара может стать:

- ток короткого замыкания;
- скачек напряжения;
- ошибка оператора;
- курение в аудитории.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо провести комплекс организационных и технических мероприятий:

- разработать планы эвакуации;
- разместить в аудитории огнетушители и первичные средства пожаротушения;
- установить пожарную сигнализацию;
- обучать сотрудников противопожарному инструктажу;
- проводить тренировки действий при пожаре;
- установить строгие места для курения.

### **5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.**

В случае возникновения пожара находящийся в аудитории сотрудник должен:

- Незамедлительно сообщить о возгорании в пожарную часть и оповестить остальных сотрудников и руководство;

- Отключить электроэнергию;
- Оценить обстановку, при целесообразности использовать средствами противопожарной защиты;
- Принять меры по эвакуации людей, по возможности каких-либо материальных ценностей и документы.

### **7.5 Выводы по разделу Социальная ответственность**

При выполнении задания части Социальная ответственность были определены правовые нормы трудового законодательства, характерные для проектируемой рабочей зоны. Выявлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации учебного тренажерного стенда. Проведен анализ каждого выявленного фактора, указаны нормативные документы, ориентируясь на которые разработаны рекомендации по предотвращению негативного воздействия. Также определены пагубные факторы воздействия системы на экологическую обстановку. Даны рекомендации для предупреждения и предотвращения наиболее распространенных ЧС, которые могут возникнуть в процессе внедрения и дальнейшей эксплуатации объекта исследования.

## Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка учебного тренажерного стенда «Горизонтальный сепаратор установки комплексной подготовки нефти», позволяющего исследовать методы настройки ПИД-регулятора на практике.

В данной работе был рассмотрен принцип работы горизонтального сепаратора, составлены необходимые дифференциальные уравнения, описывающие процесс, разработаны необходимые для реализации алгоритма функциональные блоки.

В результате исследования был разработан собственный алгоритм реализации учебного тренажерного стенда с использованием виртуального программируемого логического контроллера. В программной среде CoDeSys была разработана мнемосхема, позволяющая наблюдать за изменением уровней жидкостей внутри горизонтального сепаратора и изменять коэффициенты настроек ПИД-регуляторов с помощью специальной панели управления.

Для настройки ПИД регуляторов, оператор стенда может использовать ППП MATLAB, который больше подходит для создания описаний переходных процессов чем CoDeSys.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» ВКР были рассмотрены вопросы по организации работ технического проекта, был проведен SWOT – анализ, разработан график проведения проектирования для каждого из участников проекта. На его основе была рассчитана ожидаемая длительность работ. Также в данном разделе составили смету затрат на техническое проектирование.

В разделе «Социальной ответственности» были рассмотрены такие вопросы, как анализ опасных и вредных производственных факторов (производственная санитария), гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, шум и вибрация, поражение электрическим током, статическое электричество и пожарная безопасность.

## Conclusion

The aim of this final qualification work is to develop a training simulator “Horizontal separator of the complex oil preparation unit”, which allows to study the tuning methods of the PID controller in practice.

In this paper, we considered the principle of operation of a horizontal separator, compiled the necessary differential equations describing the process, and developed the functional blocks necessary for implementing the algorithm.

As a result of the study, we developed our own algorithm for the implementation of the training simulator using a virtual programmable logic controller. In the CoDeSys software environment, a mimic diagram has been developed that allows you to monitor the changes in the liquid levels inside the horizontal separator and change the tuning coefficients of the PID controllers using a special control panel.

To tune PID controllers, the stand operator can use MATLAB IFR, which is more suitable for creating transient descriptions than CoDeSys.

In the “Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving” section of the WRC, the issues of organizing the work of a technical project were considered, a SWOT analysis was carried out, a design schedule was developed for each of the project participants. Based on it, the expected duration of the work was calculated. Also in this section, we have estimated the costs of technical design.

The section “Social Responsibility” addressed issues such as analysis of hazardous and harmful production factors (industrial sanitation), hygiene requirements for natural, artificial and combined lighting of residential and public buildings, noise and vibration, electric shock, static electricity and fire safety .

## Список использованной литературы

1. Стандарт МЭК 61131-3-2016 // Электронный фонд правовой нормативно-технической документации URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135008> (дата обращения: 15.05.2020).
2. CoDeSys // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CoDeSys> (дата обращения: 25.05.2020).
3. Matlab // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (дата обращения: 25.05.2020).
4. OPC // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OPC> (дата обращения: 25.05.2020).
5. Глоссарий Овен // Овен URL: <https://owen.ru/49> (дата обращения: 25.05.2020).
6. ОКОФ: код 330.28.23.23 // <https://okof2.ru/> URL: <https://okof2.ru/330.28.23.23> (дата обращения: 15.04.2020)
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение // <https://portal.tpu.ru/> URL: [https://portal.tpu.ru/departments/kafedra/ates/teach/Tab3/%D0%9C%D0%A3\\_%D0%B1%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%80%D1%8B.pdf](https://portal.tpu.ru/departments/kafedra/ates/teach/Tab3/%D0%9C%D0%A3_%D0%B1%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%80%D1%8B.pdf) (дата обращения: 15.04.2020).
8. ТК РФ Статья 353. Государственный контроль (надзор) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права // КонсультантПлюс URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/5b7acf904e8e813160309be39dc1fa9396a4a3dd/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/5b7acf904e8e813160309be39dc1fa9396a4a3dd/) - (дата обращения: 20.04.2020).
9. Основы охраны труда в Российской Федерации // Соцпартнер.РФ URL: <http://socpartner24.ru/osnovy-ohrany-truda-v-rossijskoj-federacii/gosudarstvennyj-kontrol-nadzor-za-soblyudeniem-trudovogo-zakonodatelstva-i-inyh-normativnyh-pravovyh-aktov-soderzhashchih-normy-trudovogo-prava/> (дата обращения: 20.04.2020).

10. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ (последняя редакция) // Консультант плюс URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_156555/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/) (дата обращения: 25.04.2020).

11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 3 июня 2003 г. N 118 "О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03" (с изменениями и дополнениями) // Гарант URL: <http://base.garant.ru/4179328/> (дата обращения: 20.04.2020).

12. Организация рабочего места при работе за компьютером // Grandars.ru URL: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/organizaciya-raboty-za-kompyuterom.html> (дата обращения: 20.04.2020).

13. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений // Техэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 20.04.2020).

14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий // Техэксперт URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 20.04.2020).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Листинг программы в Matlab

Таблица А.1 - Листинг программы в Matlab

```
x1_data = ScopeData{1}.Values.Data(:,1);
x1_time = ScopeData{1}.Values.Time;
Ystavka=70
plot(x1_time,x1_data)
hold on
y = max(ScopeData{1}.Values.Data); {Нахождение точки перерегулирования}
for i=1:length(ScopeData{1}.Values.Data)
if y==ScopeData{1}.Values.Data(i)
x=(ScopeData{1}.Values.Time(i));
end;
end
for i=1:length(ScopeData{1}.Values.Data)
if (ScopeData{1}.Values.Data(i)>Ystavka*1.05)
(ScopeData{1}.Values.Data(i)<Ystavka*0.95)
j=1; {нахождение точки времени переходного процесса}
if (j==1)&((i+2)<length(ScopeData{1}.Values.Data))
y1=ScopeData{1}.Values.Data(i+1);
x1=ScopeData{1}.Values.Time(i+1);
end
else
j=0;
end
end
```

Продолжение таблицы А.1 - Листинг скрипта в Matlab

```
plot(x1_time,x1_data,'-r','Linewidth',2)
hold on
grid on {построение графиков и обозначений к ним}
plot(x,y,'*r','Linewidth',2)
plot(x1,y1,'*r','Linewidth',2)
plot([x x],[y 0],'--b','Linewidth',0.1)
plot([x 0],[y y],'--b','Linewidth',0.1)
plot([ScopeData{1}.Values.Time(length(ScopeData{1}.Values.Time)) 0],[Ystavka
Ystavka],'--b','Linewidth',0.1)
plot([ScopeData{1}.Values.Time(length(ScopeData{1}.Values.Time))
0],[Ystavka*1.05 Ystavka*1.05],'--b','Linewidth',0.1)
plot([ScopeData{1}.Values.Time(length(ScopeData{1}.Values.Time))
0],[Ystavka*0.95 Ystavka*0.95],'--b','Linewidth',0.1)
plot([x1 x1],[y1 0],'--b','Linewidth',0.1)
plot([x1 0],[y1 y1],'--b','Linewidth',0.1)
title('Переходная характеристика')
xlabel('Время')
ylabel('Уровень')
xoffset = 0;
yoffset = -5;
fsize = 12;
text(x+xoffset, y+yoffset,['Время ',num2str(x),newline,'Уровень
',num2str(y),newline,'Перерегулирование ',num2str((y-Ystavka)/Ystavka*100),'%'],
'fontsize', fsize)
text(x1+xoffset, y1+yoffset,['Время переходного процесса
',num2str(x1),newline,'Уровень ',num2str(y1)], 'fontsize', fsize)
```