

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт кибернетики  
 Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Кафедра интегрированных компьютерных систем управления

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка учебного стенда «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой»</b>

УДК 66.023.2:371.693.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т21	Бутузов Денис Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ИКСУ	Тутов И.А.	-		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН ИСГТ ТПУ	Николаенко В.С.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Антоневич О.А.	Кандидат биологических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Лиепиньш А.В.	Кандидат технических наук		

## 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 образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт кибернетики

Направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Кафедра интегрированных компьютерных систем управления

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ИКСУ

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) Лиепиньш А.В.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т21	Бутузов Денис Вадимович

Тема работы:

Разработка учебного стенда «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

05.02.2016 №781/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

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

*(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).*

- 1 Описание учебного стенда
- 2 Описание технологического процесса
- 3 Структурной схема АС
- 4 Функциональная схема автоматизации
- 5 Выбор средств автоматизации
- 6 Схема внешних проводок
- 7 Математической модель объекта
- 8 Настройка регулятора
- 9 Программная реализация регулятора
- 10 Сравнение результатов работы регулятора с результатами моделирования
- 11 Экранная форма

## Глоссарий

Термин	Определение
АС	Автоматизированная система это - комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса. Термин автоматизированная, в отличие от термина автоматическая подчеркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации
Интерфейс (RS-232C, RS-422, RS-485, CAN)	Интерфейс – это совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой
Интерфейс оператора	Интерфейс оператора – это совокупность аппаратно-программных компонентов АСУ ТП, обеспечивающих взаимодействие пользователя с системой
Протокол (CAN, OSI, ProfiBus, Modbus, HART, Profibus DP, Modbus RTU, Modbus +, CAN, DeviceNet)	Протокол – это набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включенными в соединение программируемыми устройствами
Техническое задание на АС	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы
Технологический процесс (ТП)	Технологический процесс – последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ. Технологический процесс состоит из рабочих операций, которые в свою очередь складываются из рабочих движений (приемов)
SCADA (англ.	Под термином SCADA понимают

Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных)	инструментальную программу для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени и сбора данных
ФЮРА. 425280	ФЮРА это – код организации разработчика проекта (ТПУ); 425280 это – код классификационной характеристики проектной продукции по ГОСТ 3.1201-85 (в соответствии с шестизначный классификационной характеристикой ОКП этот код означает программно-технические комплексы для распределенного автоматизированного управления технологическим объектом, многофункциональные)
Стандарт	Стандарт – образец, эталон, модель, принимаемые за исходные для сопоставления с ними др. подобных объектов. Стандарт в Российской Федерации – документ, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг
Объект управления	Объект управления – обобщающий термин кибернетики и теории автоматического управления, обозначающий устройство или динамический процесс, управление поведением которого является целью создания системы автоматического управления

<p>Программируемый логический контроллер (ПЛК)</p>	<p>Программируемый логический контроллер или программируемый контроллер – специализированное компьютеризированное устройство, используемое для автоматизации технологических процессов. В отличие от компьютеров общего назначения, ПЛК имеют развитые устройства ввода-вывода сигналов датчиков и исполнительных механизмов, приспособлены для длительной работы без серьезного обслуживания, а также для работы в неблагоприятных условиях окружающей среды. ПЛК являются устройствами реального времени.</p>
<p>Автоматизированное рабочее место (АРМ)</p>	<p>Автоматизированное рабочее место – программно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида. При разработке АРМ для управления технологическим оборудованием как правило используют SCADA-системы</p>
<p>Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор</p>	<p>Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор – устройство, используемое в системах автоматического управления для поддержания заданного значения измеряемого параметра. ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от заданного значения (установки) и выдает управляющий сигнал, являющийся суммой трех слагаемых, первое из которых пропорционально этому отклонению, второе пропорционально интегралу отклонения и третье пропорционально производной отклонения.</p>
<p>Система автоматического регулирования (САР)</p>	<p>Автоматически действующая система, которая в течение достаточно длительного времени поддерживает требуемое значение некоторой физической величины в каком-либо процессе или изменяет это значение по заранее заданной программе. Независимо от назначения всякая система автоматического регулирования включает в себя регулируемый объект и регулятор.</p>

## Реферат

Пояснительная записка содержит 90 страниц машинописного текста, 40 таблиц, 38 рисунков, 1 список использованных источников из 35 наименований, 9 приложений.

Цель работы – разработка учебного стенда «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой», получение математической модели объекта исследования и синтез системы автоматического регулирования с использованием ПЛК.

В данном проекте был разработан учебный стенд «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой», была получена математическая модель объекта, выполнено моделирование переходных процессов в пакете прикладных программ MATLAB&Simulink для анализа динамики САР, настроен каскадный ПИ-регулятор, который впоследствии был реализован на базе промышленного контроллера ОВЕН ПЛК160 с помощью среды разработки Codesys v2.3.

Разработанный стенд позволит обучающимся учесть тонкости протекающего процесса в реальном объекте, а также апробировать методы управления, полученные в результате математического моделирования в соответствующих программных пакетах.

Ниже представлен перечень ключевых слов:

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС, ХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР, ВОДЯНАЯ РУБАШКА, СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, КАСКАДНЫЙ РЕГУЛЯТОР, ПИ-РЕГУЛЯТОР, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР.**

## Содержание

	С.
Введение .....	11
1. Техническое задание .....	12
1.1. Основные задачи и цели создания учебного стенда.....	12
1.2. Назначение учебного стенда .....	12
1.3. Требования к автоматике.....	13
1.4. Требования к техническому обеспечению .....	13
1.5. Требования к программному обеспечению .....	14
2. Основная часть.....	15
2.1. Описание учебного стенда .....	15
2.2. Описание технологического процесса .....	16
2.3. Структурная схема АС.....	17
2.4. Функциональная схема автоматизации .....	18
2.4.1. Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013 .....	19
2.4.2. Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-5.1-2009 .....	19
2.5. Выбор средств автоматизации .....	19
2.5.1. Выбор контроллерного оборудования .....	19
2.5.2. Выбор датчика температуры.....	24
2.5.3. Выбор датчика тока .....	26
2.5.4. Выбор насоса .....	28
2.6. Схема внешних проводок .....	29
2.7. Математическая модель объекта .....	30
2.8. Настройка регулятора .....	39
2.9. Программная реализация.....	51
2.10. Результаты работы регулятора и сравнение с моделированием .....	53
2.11. Описание экранной формы .....	55
3. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности.....	57
3.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	57

3.2. Анализ конкурентных технических решений .....	57
3.3. SWOT-анализ .....	59
3.4. Планирование научно-исследовательских работ.....	61
3.4.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	61
3.4.2. Разработка графика проведения научного исследования.....	62
3.5. Бюджет научно-технического исследования .....	64
3.5.1. Расчет материальных затрат .....	64
3.5.2. Основная заработная плата исполнителей темы .....	65
3.5.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	66
3.5.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	66
3.6. Накладные расходы.....	67
3.6.1. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	68
3.7. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	68
4. Социальная ответственность.....	72
4.1. Производственная безопасность.....	72
4.1.1. Повышенный уровень шума на рабочем месте .....	73
4.1.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света .....	74
4.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений .....	78
4.1.4. Микроклимат .....	80
4.1.5. Электрический ток.....	81
4.2. Экологическая безопасность.....	82
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	82
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	84
Заключение.....	86
Список публикаций .....	87
Список используемых источников .....	88
Приложение А. Функциональная схема технологического процесса .....	91
Приложение Б. Структурная схема АС.....	92

Приложение В. Функциональная схема автоматизации (ГОСТ 21.208-2013).....	93
Приложение Г. Функциональная схема автоматизации (ANSI ISA-5.1-2009) .....	94
Приложение Д. Схема внешних проводок.....	95
Приложение Е. Структурная схема САР .....	96
Приложение Ж. Программа в Codesys .....	97
Приложение И. Перечень вход/выходных сигналов .....	98
Приложение К. Экранная форма.....	99

## **Введение**

В настоящее время в связи с предъявлением все более высоких требований к процессам управления в различных областях техники возросли и требования к математическому описанию процессов управления.

Нельзя обеспечить качественное управление системой, если неизвестна с достаточной точностью ее математическая модель. Для построения математической модели могут быть использованы как теоретические, так и экспериментальные методы. Опыт, накопленный при проектировании систем управления, убедительно свидетельствует о том, что нельзя построить математическую модель, адекватную реальной системе, только на основе теоретических исследований физических процессов в системе. Поэтому в процессе проектирования систем управления одновременно с теоретическими исследованиями необходимо проводить многочисленные эксперименты по определению и уточнению математической модели системы [1].

Чтобы отработать методологию получения практически пригодных математических моделей и апробировать методы управления, была предложена идея создания стенда, имитирующего работу химического реактора [2,3].

## **1. Техническое задание**

### **1.1. Основные задачи и цели создания учебного стенда**

Основными целями создания учебного стенда являются:

- изучение физических эффектов, возникающих в химическом реакторе;
- апробирование различных методов управления, смоделированных в специализированных программных пакетах;
- закрепление теоретических знаний у студентов.

Учебный стенд реализует следующие задачи:

- централизованный контроль за технологическим процессом;
- передача текущей информации на АРМ;
- повышение эффективности технологического процесса;
- автоматическое регулирование температуры в рабочей камере физической модели химического реактора.

### **1.2. Назначение учебного стенда**

Химический реактор – это агрегат для проведения химических реакций объемом от нескольких миллилитров до сотен кубометров. Целью работы такой установки является выработка конечного продукта из исходных компонентов при соблюдении устойчивого и стабильного режима проведения реакции для достижения максимальной эффективности процесса [4].

Учебный стенд «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой» предназначен для обучения учащихся по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». Он упрощает усвоение информации и позволяет закрепить полученные знания, а также его можно использовать в ряде образовательных дисциплин при проведении лабораторных работ по испытанию новых методов управления и настройке регуляторов.

### **1.3. Требования к автоматике**

Система автоматике учебного стенда «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой» должна обеспечивать следующее:

1. Измерение:

- электрического тока потребления циркуляционных насосов;
- температуры в рабочей камере химического реактора;
- температуры воды в водяной рубашке.

2. Контроль дискретных параметров:

- состояния насосов;
- состояние нагревательного элемента.

3. Управление:

- насосами;
- нагревательным элементом.

4. Индикацию:

- измеряемых и расчетных параметров на дисплее АРМ;
- аварийных ситуаций на дисплее АРМ;

5. Сигнализацию:

- превышения максимально допустимого тока потребления электродвигателей;
- превышения предельно допустимой температуры воды в водяной рубашке;
- превышения предельно допустимой температуры жидкости в рабочей камере химического реактора.

### **1.4. Требования к техническому обеспечению**

Оборудование, устанавливаемое на учебном стенде химического реактора, т.е. в закрытом отапливаемом и вентилируемом помещении должно быть устойчивым к воздействию температур от 0 °С до +40 °С и влажности не менее 80 % при температуре 35 °С.

Программно-технический комплекс должен допускать возможность наращивания, модернизации и развития системы, а также иметь резерв по каналам ввода/вывода не менее 20 %. Контроллеры должны иметь необходимые интерфейсы для передачи данных на верхний уровень АСУ ТП.

Степень защиты технических средств от пыли и влаги должна быть не менее IP20.

### **1.5. Требования к программному обеспечению**

Программное обеспечение АРМ должно обеспечивать:

- регистрацию параметров технологического процесса и управление исполнительными механизмами;
- конфигурирование алгоритмов управления, регулирования и защиты с использованием стандартных функциональных блоков;
- визуализацию параметров технологического процесса и состояния исполнительных механизмов;
- индикацию аварийных ситуаций на дисплее АРМ.

Средства создания специальных прикладных программ для ПЛК должны включать в себя технологические и универсальные языки программирования и соответствующие средства разработки (компиляторы, отладчики). Технологические языки программирования должны соответствовать стандарту МЭК 61131-3.

## 2. Основная часть

### 2.1. Описание учебного стенда

В качестве рабочей камеры химического реактора в физической модели используется стеклянная банка, наполненная водой. Она плотно закрыта крышкой, в которой проделано отверстие для датчика температуры, и помещена в пластиковый контейнер, также плотно закрытый крышкой и играющий роль водяной рубашки. По периметру в зазор между банкой и контейнером уложен нагреватель, собранный из резисторов, а на поверхности закреплен датчик температуры.

Нагреватель представляет из себя 4 последовательных сборки из 6 соединенных параллельно резисторов номиналом 2 Вт 51 Ом. Питается обогреватель от переменного сетевого напряжения 220 В. Рассеиваемая в среде мощность равна:

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{экв}}} = \frac{U^2}{R_6 \cdot 4} = \frac{U^2 \cdot 6}{R \cdot 4} = \frac{220^2 \cdot 6}{51 \cdot 4} = 1423,5 \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $R_6$  – сопротивление одной сборки из 6 резисторов.

Из-за того что не было найдено способа изолировать нагреватель без нарушения заявленных выше характеристик, в качестве нагреваемой среды в контейнере было принято решение использовать дистиллированную воду, так как она является плохим проводником электрического тока.

В ходе первичных испытаний нагревателя было установлено, что более теплая вода подымается на поверхность, а холодная остается на дне, поэтому для равномерного нагрева всего объема жидкости в рабочей камере реактора и водяной рубашке было принято решение использовать циркуляционные насосы.

Для имитации возмущающего воздействия используются два специальных насоса, с помощью которых можно быстро откачать и закачать жидкость в рабочую камеру химического реактора.

Так как разрабатываемый объект обладает ярко выраженными инерционными свойствами, то проведение одного эксперимента занимает

продолжительное количество времени, что, очевидно, приводит к снижению рабочего ресурса электродвигателей насосов. Поэтому для повышения надежности работы системы было решено использовать датчики тока на каждом из насосов для возможности контроля тока потребления и диагностирования предаварийных состояний.

Для регистрации показаний с датчиков и формирования управляющего воздействия на электромагнитное реле, с подключенным к нему обогревателем, был выбран программируемый логический контроллер (ПЛК).

В итоге в состав учебного стенда вошли:

- физическая модель химического реактора;
- 2 датчика температуры;
- 4 датчика тока;
- нагревательный элемент;
- 2 циркуляционных насоса;
- насос для откачки и закачки жидкости в рабочую камеру;
- ПЛК.

## **2.2. Описание технологического процесса**

Технологический процесс, функциональная схема которого представлена на рисунке 1 и в приложении А (ФЮРА.425280.001.ЭП.01), подразумевает под собой автоматическое поддержание температуры в рабочей камере модели химического реактора на заданном значении.

Для этого рабочая камера (РК) химического реактора помещается в водяную рубашку (ВР), в которой находится вода, нагревая которую нагревателем (Н), будет оказываться управляющее воздействие на жидкость в рабочей камере.

На протяжении всего технологического процесса два циркуляционных насоса Н-2 и Н-3 обеспечивают равномерный нагрев жидкостей в рабочей камере и в водяной рубашке, перемешивая их отдельно друг от друга.

Для быстрой заправки жидкости в рабочую камеру реактора используется насос Н-1, а для быстрой откачки – насос Н-4. С помощью них, не производя манипуляций над макетом, можно симитировать возмущающее воздействие.

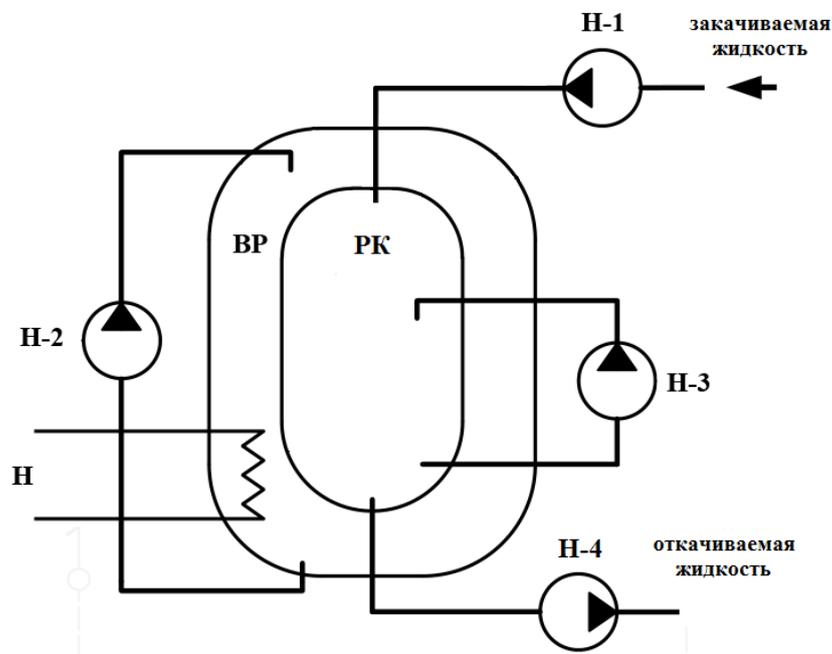


Рис. 1. Функциональная схема технологического процесса

### 2.3. Структурная схема АС

Объектом управления является физическая модель химического реактора, управление технологическим процессом в которой сводится к управлению насосами и нагревателем. Централизованное управление реализуется командами включить/выключить, остановить/запустить. Управление на полевом уровне сводится к автоматическому регулированию температуры в рабочей камере химического реактора.

В рабочей камере химического реактора и водяной рубашке осуществляется измерение текущей температуры, производится контроль тока потребления электродвигателей насосов. Исполнительными устройствами являются насосы и нагреватель.

Нижний уровень (полевой) состоит из первичных датчиков (измерительных преобразователей), осуществляющих сбор информации о

ходе технологического процесса, и исполнительных устройств, реализующих регулирующие и управляющие воздействия [5].

Средний уровень (контроллерный) состоит из контроллера, осуществляющего:

- сбор и первичную обработку информации о состоянии оборудования и параметрах технологического процесса;
- автоматическое регулирование;
- исполнение команд с верхнего уровня;
- обмен информацией с верхним уровнем.

Верхний уровень (информационно-вычислительный) состоит из компьютера (ПК), соединенного с контроллером сетью Ethernet с использованием в качестве передающей среды медной витой пары.

Разработанная трехуровневая архитектура представлена в приложении Б (ФЮРА.425280.001.ЭП.02).

#### **2.4. Функциональная схема автоматизации**

Функциональная схема автоматического (ФСА) контроля и управления предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании систем автоматизации ТП [5].

ФСА является техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировок [5].

Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Функциональная схема автоматического контроля и управления содержит упрощенное изображение технологической схемы

автоматизируемого процесса. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений.

В соответствии с заданием разработаны функциональная схема автоматизации согласно ГОСТ 21.208-2013, а также согласно стандарту американского общества приборостроителей ANSI/ISA.

#### **2.4.1. Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013**

Функциональная схема автоматизации выполнена согласно требованиям ГОСТ 21.208–2013 [6] и приведена в приложении В (ФЮРА.425280.001.ЭП.03). На схеме выделены каналы измерения (1, 3-5, 10-11), управления (2, 6-9) и сигнализации (1, 5, 10-11).

#### **2.4.2. Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-5.1-2009**

Функциональная схема автоматизации выполнена согласно требованиям ANSI/ISA-5.1-2009 [7] и приведена в приложении Г (ФЮРА.425280.001.ЭП.04).

Согласно этой схеме выполняются следующие операции:

- измерение и регистрация тока потребления электродвигателей насосов;
- измерение температуры в рабочей камере химического реактора и водяной рубашке, регистрация этих значений;
- регулирование температуры в химическом реакторе (вкл./выкл. нагревателя);
- пуск/останов насосов.

### **2.5. Выбор средств автоматизации**

#### **2.5.1. Выбор контроллерного оборудования**

При выборе контроллера рассматривались 3 модели:

1. ОВЕН ПЛК160-24.А.М (рис. 2)

Данный контроллер с дискретными и аналоговыми входами/выходами предназначен для построения систем автоматизации среднего уровня и распределенных систем управления.

Отличительные особенности контроллера [8]:

- мощные вычислительные ресурсы и большой объем памяти;
- наличие дискретных и аналоговых входов/выходов;
- наличие последовательных портов (RS-232, RS-485);
- наличие порта Ethernet для включения в локальные или глобальные сети верхнего уровня.
- поддержка протоколов обмена Modbus (RTU, ASCII), OВЕН, DCON.
- возможность работы напрямую с портами контроллера;
- контроллер имеет встроенные часы, что позволяет создавать системы управления с учетом реального времени.
- встроенный аккумулятор, позволяющий организовать ряд дополнительных сервисных функций: возможность кратковременного пережидания пропадания питания, перевод выходных элементов в безопасное состояние.



Рис. 2. Внешний вид ОВЕН ПЛК160

## 2. DVP-EX от Delta Electronics (рис. 3)

Программируемые логические контроллеры серии DVP производства Delta Electronics являются идеальным средством для построения высокоэффективных систем автоматического управления при

минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы. Данный контроллер с дискретными и аналоговыми входами/выходами на борту предназначен для построения автоматизированных систем управления малыми и средними объектами.

Отличительные особенности контроллера [9]:

- компактный DIN-реечный корпус;
- дискретные и аналоговые входы/выходы на борту;
- наличие последовательных портов (RS-485, RS-232) и Ethernet;
- небольшая стоимость.



Рис. 3. Внешний вид ПЛК DVP-EX

### 3. Segnetics Pixel (рис. 4)

Pixel ориентирован на автоматизацию прежде всего таких инженерных систем, как вентиляция, отопление, водоподготовка и т.п. Он надежен, а также очень прост в программировании.

Отличительные особенности контроллера [10]:

- возможность изменения составляющих контроллера в зависимости от потребностей;
- Pixel оснащен HMI интерфейсом, что позволяет выводить тренды измеряемых параметров системы, а также вносить новые параметры и уставки;
- генерирование кода программы путем указания наличия тех или иных установок на объекте.



Рис. 4. Внешний вид Segnetics Pixel

Таблица 1. Сравнение технических характеристик контроллеров

		ОВЕН ПЛК160-24.А.М	Delta Electronics DVP-EX	Segnetics Pixel
<b>Процессор</b>		RISC-процессор на базе ядра ARM-9, 180 МГц	-	-
<b>Разрядность процессора</b>		32 бита	16 бит	-
<b>Среда разработки</b>		Codesys	ISPSoft	SMLogix + SMConstructor
<b>Язык программирования</b>		5 языков стандарта МЭК 61131-3	IL, LD, SFC	FBD
<b>ОЗУ</b>		8 МБ	2 МБ	-
<b>ПЗУ</b>		4 МБ	4 МБ	128 кБ
<b>Дискретные входы</b>	<b>Количество</b>	16	8	6
	<b>Лог. ноль</b>	от минус 3 до 5 В	-	от 0 до 1 В
	<b>Лог. единица</b>	от 15 до 30 В	-	от 12 до 36 В
<b>Дискретные выходы</b>	<b>Количество</b>	12	6	3
	<b>Тип</b>	Э/м реле	Э/м реле	Э/м реле (2), транзистор (либо симистр)
<b>Аналоговые входы</b>	<b>Количество</b>	8	4	6
	<b>Разрядность АЦП</b>	14 бит	10 бит	10 бит
	<b>Тип сигнала</b>	0(4)...20 мА; 0...5 мА; 0...10 В	0...20 мА; 0...10 В	0(4)...20 мА; 0...10 В; термосопротивления
	<b>Период опроса</b>	10 мс	0,5 с	-
	<b>Погрешность</b>	0,25 %	0,5 %	-
<b>Аналоговые выходы</b>	<b>Количество</b>	4	2	2
	<b>Разрядность ЦАП</b>	12 бит	8 бит	-
	<b>Тип сигнала</b>	4...20 мА; 0...10 В	4...20 мА; 0...10 В	0...10 В
<b>Часы реального времени</b>		Точность не более 3х минут в сутки	-	-

<b>Интерфейсы связи</b>	RS-485 (1) Ethernet (1) RS-232 (1) RS-232-Debug (1) USB (1)	RS-485 (1) Ethernet (1) CANopen (1) Profibus (1)	RS-485
<b>Рабочая температура</b>	-	-0...+50 °C	-
<b>Напряжение питания</b>	от 22 до 28 В DC	от 100 до 250 В AC	от 18 до 36 В DC; от 18 до 27 В AC
<b>Потребляемая мощность</b>	10 Вт	6 Вт	3,5 Вт
<b>Цена</b>	31.860 руб.	18.900 руб.	9.865 руб.

При выборе контроллера основными критериями стали:

- количество аналоговых входов и дискретных выходов, т.к. для автоматизации учебного стенда требовалось 5 дискретных выходов для пуска/остановка насосов и включения/выключения нагревателя, а также 6 аналоговых входов для контроля тока потребления двигателей насосов и регистрации температуры в химическом реакторе: в рабочей камере и рубашке;
- разрядность АЦП аналоговых входов, обеспечивающая нужную точность измерений;
- период опроса аналоговых входов, т.к. при формировании управляющего воздействия на нагреватель, необходимо как можно точнее знать действительную мгновенную температуру в химическом реакторе;
- язык программирования и наличие библиотечной функции ПИД-регулятора в среде разработки.

В итоге был выбран контроллер ОВЕН ПЛК160, удовлетворяющий всем критериям к контроллерному оборудованию. Также он имеет в своем составе небольшое количество излишних аналоговых и дискретных входов/выходов, что в дальнейшем дает нам возможность расширить систему, подключая новые исполнительные механизмы и измерительные устройства.

### 2.5.2. Выбор датчика температуры

При выборе датчика температуры рассматривались 3 устройства:

#### 1. Термометр сопротивление WIKA TR10-D (рис. 5)

Термометры сопротивления данной серии используются для измерения жидких и газообразных сред при низких и средних давлениях. Они ввинчиваются непосредственно в процесс, а коммутационная головка защищает соединительные клеммы от брызг и пыли [11].



Рис. 5. Термосопротивление WIKA TR10-D

#### 2. Датчик температуры Метран-270 (рис. 6)

Данный датчик температуры состоит из первичного преобразователя и встроенного в коммутационную головку измерительного преобразователя, преобразующего измеряемую температуру в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4-20 мА [12].



Рис. 6. Датчик температуры Метран-270

### 3. Датчик температуры ОВЕН ДТС015-И (рис. 7)

Датчики температуры ОВЕН ДТС015-И предназначены для непрерывного измерения температуры различных рабочих сред, например: паров, газов, воды, сыпучих материалов, химических реагентов, неагрессивных к материалу корпуса датчика [13].

Датчик оснащен коммутационной головкой, защищающей соединительные клеммы от брызг и пыли, а также содержит нормирующий преобразователь, предназначенный для преобразования значения температуры измеренной термосопротивлением в унифицированный сигнал постоянного тока 4 – 20 мА.



Рис. 7. Датчик температуры ОВЕН ДТС015-И

Таблица 2. Сравнение технических характеристик датчиков температуры

	<b>WIKА TR10-D</b>	<b>Метран-270</b>	<b>ОВЕН ДТС015-И</b>
<b>Тип сенсора</b>	Pt100	50M	Pt100
<b>Тепловая инерция</b>	Не более 15-20 с	Не более 10-20 с	Не более 10-15 с
<b>Диапазон измерений</b>	-200...+600 °С	-40...+600 °С	-50...+150 °С
<b>Выходной сигнал</b>	Pt100	4...20 мА	4...20 мА
<b>Приведенная погрешность</b>	0.5 %	0.5 %	1 %
<b>Напряжение питания</b>	-	10...30 В по токовой петле 4...20 мА	-
<b>Пылевлагозащищенность</b>	IP54	IP54	IP54
<b>Цена</b>	от 7 000 руб.	от 8 000 руб.	от 3 500 руб.

При выборе датчика температуры основными критериями стали диапазон измерений, погрешность и тепловая инерция.

Так как рабочей средой в модели химического реактора является вода, то необходимо было подобрать датчик с диапазоном измерения до 100 °С, что обеспечило бы нам достаточную точность измерения. ОВЕН ДТС015-И с приведенной погрешностью 1 % и диапазоном измерения от -50 до 150 °С имеет точность 2 °С, Метран-270 обеспечивает точность 3,2 °С, а WIKA TR10-D имеет точность 4 °С.

Немаловажным параметром является и тепловая инерция. Так как разрабатываемый регулятор должен формировать управляющее воздействие на объект управления на основании мгновенных показаний температуры, то стоит выбирать датчик с наименьшим значением этого показателя.

В итоге был выбран термометр сопротивления ОВЕН ДТС015-И. Выбранный датчик гарантирует простую и надежную передачу результатов измерения температуры с достаточно высокой точностью, а цена делает его еще более привлекательным на фоне его конкурентов.

### **2.5.3. Выбор датчика тока**

При выборе датчика тока рассматривались 2 бесконтактных устройства, в работу которых заложен эффект Холла:

#### **1. Датчик тока АМЕ-8821-5 (рис. 8)**

Данный датчик тока, является бесконтактным преобразователем постоянного тока до 5 А. В основе лежит магнитопровод, в разрез которого помещен датчик Холла, и нормирующего преобразователя. Датчик прекрасно подходит для задач мониторинга тока потребления двигателей, нагревателей и других активных нагрузок небольшой мощности [14].



Рис. 8. Датчик тока АМЕ-8821-5

## 2. Датчик тока ДИМ-3 (рис. 9)

Датчик тока ДИМ-3 состоит из замкнутого магнитопровода с двумя зазорами, в которых размещены 2 датчика Холла, и печатной платы с установленными на ней элементами электронной схемы обработки сигнала. Датчик предназначен для преобразования тока потребления активной нагрузки, в унифицированный токовый сигнал 0...20 мА или 4...20 мА. Они предназначены для работы в составе измерительных и управляющих систем. Датчики ДИМ-3 используют внешний источник питания [15].



Рис. 9. Датчик тока ДИМ-3

Таблица 3. Сравнение технических характеристик датчиков тока

	АМЕ-8821-5	ДИМ-3
<b>Диапазон измерений</b>	0..5 А постоянного тока	0...3 А постоянного тока
<b>Выходной сигнал</b>	4...20 мА	4...20 мА
<b>Точность</b>	20 мА	50 мА

<b>Напряжение питания</b>	15...28 В по токовой петле 4...20 мА	10...30 В
<b>Цена</b>	1 750 руб.	2 540 руб.

В ходе сравнения двух датчиков был выбран датчик тока АМЕ-8821-5. Так как номинальный ток потребления насосов составляет 3 А, а во время перегрузок может достигать значений до 4 А, то диапазон измерения данного датчика вполне устраивает для регистрации этого показателя. К основным преимуществам данного датчика стоит отнести подключение всего двух сигнальных проводов, по которым также подается питающее напряжение, и цену, конкурентоспособно отличающуюся по сравнению с другим датчиком.

#### **2.5.4. Выбор насоса**

Для того чтобы обеспечить равномерное прогревание жидкости в рабочей камере реактора и рубашке, было решено использовать циркуляционные насосы, предназначенные для омывания стекол в автомобилях ВАЗ 2110-2112 (рис. 10). Эти насосы практически ничем не отличаются от зарубежных аналогов, но цена на них гораздо ниже, а доступность гораздо выше. Основные технические характеристики приведены в таблице 4 [16].



Рис. 10. Насос омывателя стекол

Таблица 4. Основные характеристики насоса

Напряжение питания	12 В
Ток потребления	не более 4,5 А
Расход	Не менее 30 мл/с
Температура перекачиваемой жидкости	-50...+125 °С

## 2.6. Схема внешних проводок

Схема внешних проводок приведена в приложении Д (ФЮРА.425280.001.ЭП.05). Первичные и вне щитовые приборы и устройства включают в себя датчики температуры, датчики тока, насосы и нагреватель.

Для передачи сигналов от датчиков температуры ОВЕН ДТС015-И и датчиков тока АМЕ-8821-5 на щит КИПиА, а также для дискретного управления насосами и нагревателем используется по 2 провода.

В итоге для передачи сигналов был выбран электротехнический контрольный кабель КВВГЭнг, а для управления исполнительными устройствами КВВГнг. Эти кабели представляют из себя конструкцию из медных жил, заключенных в изоляцию из ПВХ пластика, а также в оболочку из ПВХ пластика пониженной горючести. В добавок ко всему кабель КВВГЭнг имеет экран, представляющий из себя оплетку из луженой медной проволоки, предназначенной для борьбы с электромагнитными шумами. Кабели присоединяются к электроаппаратуре и электроприборам, передающим управляющие сигналы напряжением до тысячи вольт. Они могут прокладываться в каналах, помещениях, туннелях, в условиях агрессивной среды при отсутствии механических воздействий на них [17].

## 2.7. Математическая модель объекта

Для получения математической модели объекта рассмотрим еще раз условную конструкцию химического реактора (рис. 11).

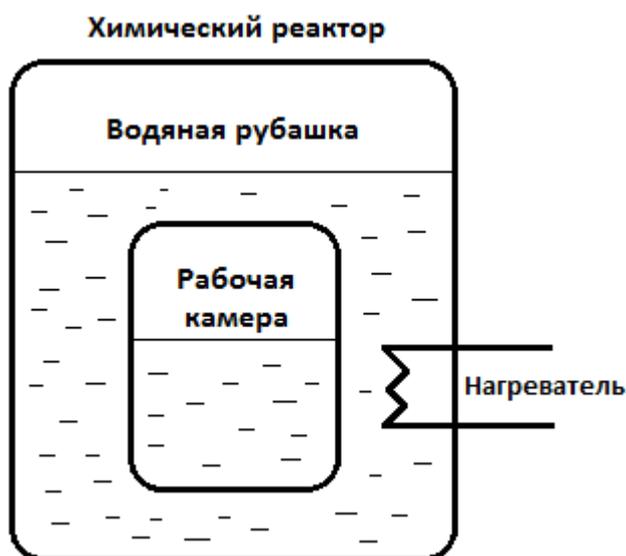


Рис. 11. Условная конструкция химического реактора

Химический реактор состоит из рабочей камеры и водяной рубашки, заполненных водой и обладающих стенками, через которые происходит обмен энергией. Сразу условимся, что стенками реактора в разрабатываемой математической модели объекта в некоторых случаях будем пренебрегать, а именно тем, что они являются накопителями энергии, ввиду их малой толщины. Примем, что в системе имеется всего два накопителя энергии: вода в рабочей камере реактора и вода в водяной рубашке. Следовательно, в силу конструкции химического реактора обмен энергией между водой в рабочей камере, водой в рубашке, нагревателем и окружающей средой происходит согласно рисунку 12.



Рис. 12. Обмен энергией в химическом реакторе

Из рисунка 12 видим, что получая энергию от нагревателя, по закону сохранения энергии, вода в рубашке отдает ее часть воде в рабочей камере реактора и окружающей среде согласно уравнению (2):

$$Q_H = Q_p - Q_{cp} - Q_{p.k}, \quad (2)$$

где:

$Q_H$  – количество теплоты, переданное нагревателем;

$Q_p$  – количество теплоты, переданное воде в рубашке;

$Q_{cp}$  – количество теплоты, переданное окружающей среде;

$Q_{p.k}$  – количество теплоты, переданное воде в рабочей камере химического реактора.

В свою очередь нагреватель, как уже говорилось выше, представляет из себя 4 последовательных сборки из 6 соединенных параллельно резисторов номиналом 2 Вт 51 Ом. Питается нагреватель от сетевого напряжения 220 В, следовательно, рассеиваемая в среде мощность равна:

$$P = Q_H = \frac{U^2}{R_{\text{экв}}} = \frac{U^2}{R_6 \cdot 4} = \frac{U^2 \cdot 6}{R \cdot 4} = \frac{220^2 \cdot 6}{51 \cdot 4} = 1423,5 \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $R_6$  – сопротивление одной сборки из 6 резисторов.

Зная это, получим участок математической модели из уравнения (2), изображенный на рисунке 13.

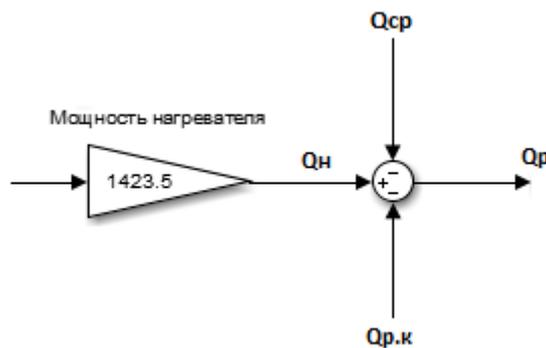


Рис. 13. Часть математической модели объекта управления

Далее воспользуемся формулой для расчета количества теплоты, переданной телу при изменении его температуры на величину  $dT$  (4):

$$dQ = mc dT, \quad (4)$$

откуда:

$$Q dt = mc dT, \quad (5)$$

где:

$Q$  – количество теплоты, переданное телу за единицу времени;

$m$  – масса нагреваемого тела;

$c$  – удельная теплоемкость нагреваемого тела;

$dT$  – температура, на которую нагрелось тело;

$dt$  – время, за которое тело получало энергию.

Из формулы (5) можно получить, что вода в рубашке нагревается на величину  $dT$  равную:

$$dT = \frac{Q_p dt}{m_p c}, \quad (6)$$

где:

$Q_p$  – количество теплоты, получаемое водой в рубашке от нагревателя в единицу времени;

$m_p$  – масса воды в рубашке;

$c$  – удельная теплоемкость воды, равная 4200 кДж/(кг · °С).

Получая энергию от нагревателя, вода в рубашке будет нагреваться, а ее температура будет расти, следовательно, ее мгновенную температуру можно посчитать по формуле (7):

$$T_p(t) = T_{p0} + \frac{1}{m_p c} \int_0^t Q_p dt, \quad (7)$$

где:

$T_{p0}$  – начальная температура воды в рубашке.

Добавим математическую модель, описываемую уравнениями (6) и (7), к ранее приведенной (рис. 14).

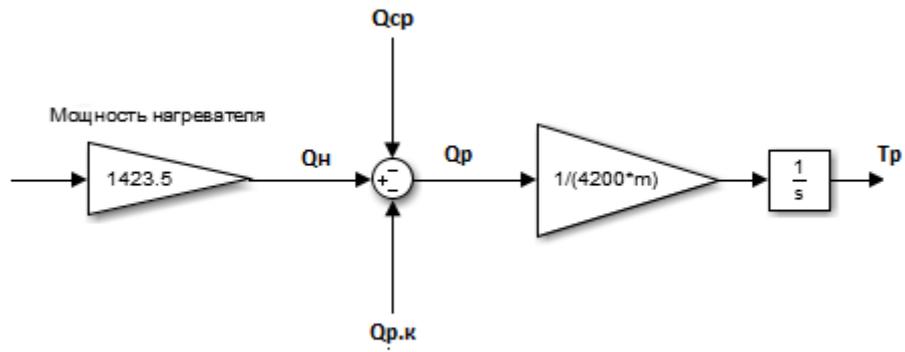


Рис. 14. Часть математической модели объекта управления

Далее воспользуемся законом Ньютона-Рихмана (8) и (9) [18] для расчета количества теплоты, переданной окружающему воздуху и воде в рабочей камере реактора через стенки на границе раздела сред:

$$Q_{\text{ср}} = k_1(T_{\text{р}} - T_{\text{ср}}), \quad (8)$$

$$Q_{\text{р.к}} = k_2(T_{\text{р}} - T_{\text{р.к}}), \quad (9)$$

где:

$T_{\text{р}}, T_{\text{ср}}, T_{\text{р.к}}$  – температура воды в рубашке, окружающей среды и воды в рабочей камере реактора, соответственно;

$k_1$  – коэффициент теплопередачи стенок между водяной рубашкой и окружающей средой;

$k_2$  – коэффициент теплопередачи стенок между водяной рубашкой и рабочей камерой реактора.

Добавим математическую модель, описываемую уравнениями (8) и (9), к ранее приведенной (рис. 15).

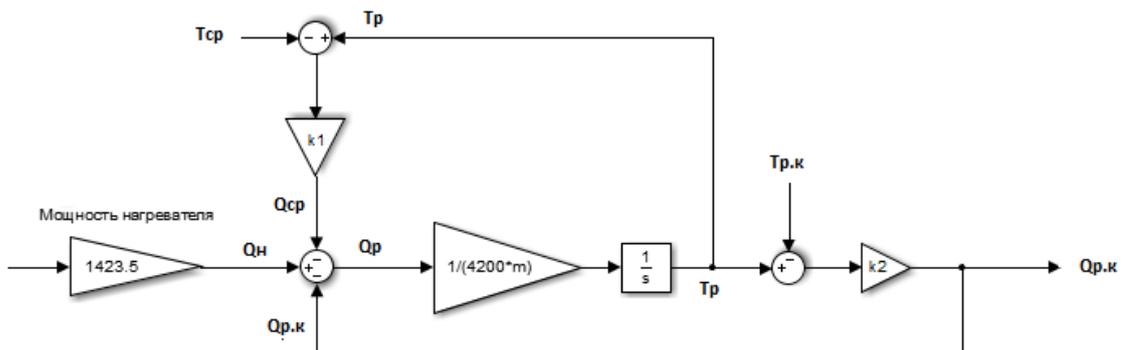


Рис. 15. Часть математической модели объекта управления

И снова воспользуемся формулами (6) и (7) для того, чтобы рассчитать мгновенную температуру воды в рабочей камере (10):

$$T_{p.k}(t) = T_{p.k0} + \frac{1}{m_{p.k}c} \int_0^t Q_{p.k} dt, \quad (10)$$

где:

$Q_{p.k}$  – количество теплоты, получаемое водой в рабочей камере за единицу времени;

$m_{p.k}$  – масса воды в рабочей камере;

$c$  – удельная теплоемкость воды, равная 4200 кДж/(кг · °С);

$T_{p.k0}$  – начальная температура воды в рабочей камере.

В итоге получим математическую модель объекта, изображенную на рисунке 16:

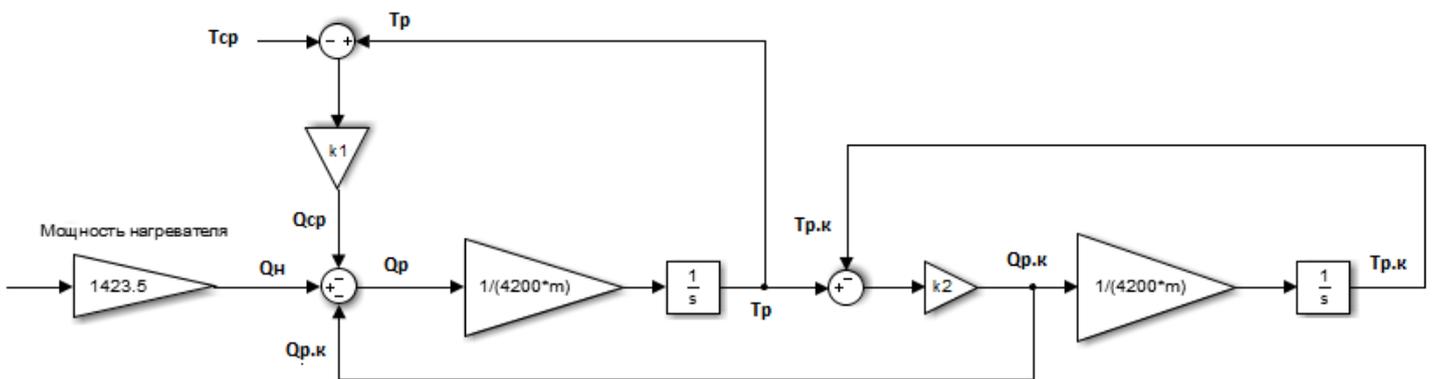


Рис. 16. Математическая модель объекта управления

Стоит также вспомнить, что нагреватель – это инерционный объект, и ему свойственна задержка, так как он не сразу нагревается до максимального значения. Такое поведение объекта можно описать апериодическим звеном первого порядка:

$$W(s) = \frac{k}{(Ts + 1)}, \quad (11)$$

где:

$k$  – коэффициент усиления (найденная мощность нагревателя);

$T$  – постоянная времени.

В ходе специально проведенного эксперимента было установлено, что постоянная времени апериодического звена  $T = 4,3$  с, отсюда передаточная функция нагревателя равна:

$$W(s) = \frac{1423,5}{(4,3s + 1)}. \quad (12)$$

Тогда математическая модель примет вид, изображенный на рисунке 17.

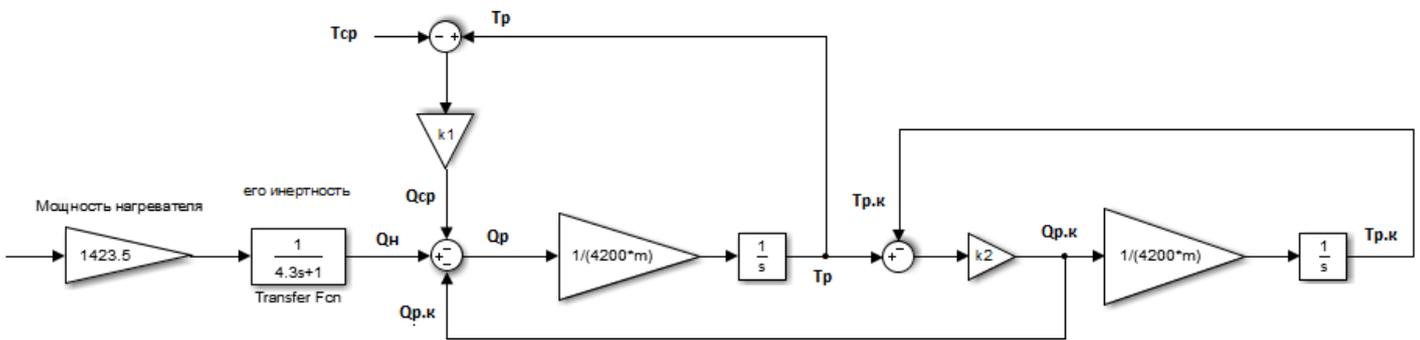


Рис. 17. Математическая модель объекта управления

После получения математической модели объекта стояла задача оценки неизвестных параметров: коэффициентов теплопередачи стенок  $k_1$  и  $k_2$  (неизвестные в модели масса воды в рабочей камере  $m_{р.к}$  и масса воды в водяной рубашке  $m_p$  были получены путем непосредственного измерения их объемов).

Для того чтобы получить эти параметры, воспользуемся специальным инструментом из MATLAB&Simulink – Parameter Estimation Toolbox. Данный инструмент позволяет определить неизвестные параметры системы по экспериментальным наборам данных.

Следовательно, алгоритм получения неизвестных коэффициентов:

1. Получение экспериментальных данных, при влиянии различных управляющих воздействий;
2. Определение параметров модели, требующих оценки;

3. Настройка параметров процесса оценки (задание начальных значений и границ поиска по каждому параметру) и проведение самой оценки;

4. Проверка адекватности модели на тестовых наборах данных.

В итоге были подобраны коэффициенты теплопередачи  $k_1 = 1,2$  и  $k_2 = 5,9$ . Оценка параметров инструментом Parameter Estimation представлены на рисунке 18. На нем температура, полученная при моделировании, отличается от температуры, полученной экспериментальным путем, не более чем на 2 градуса Цельсия.

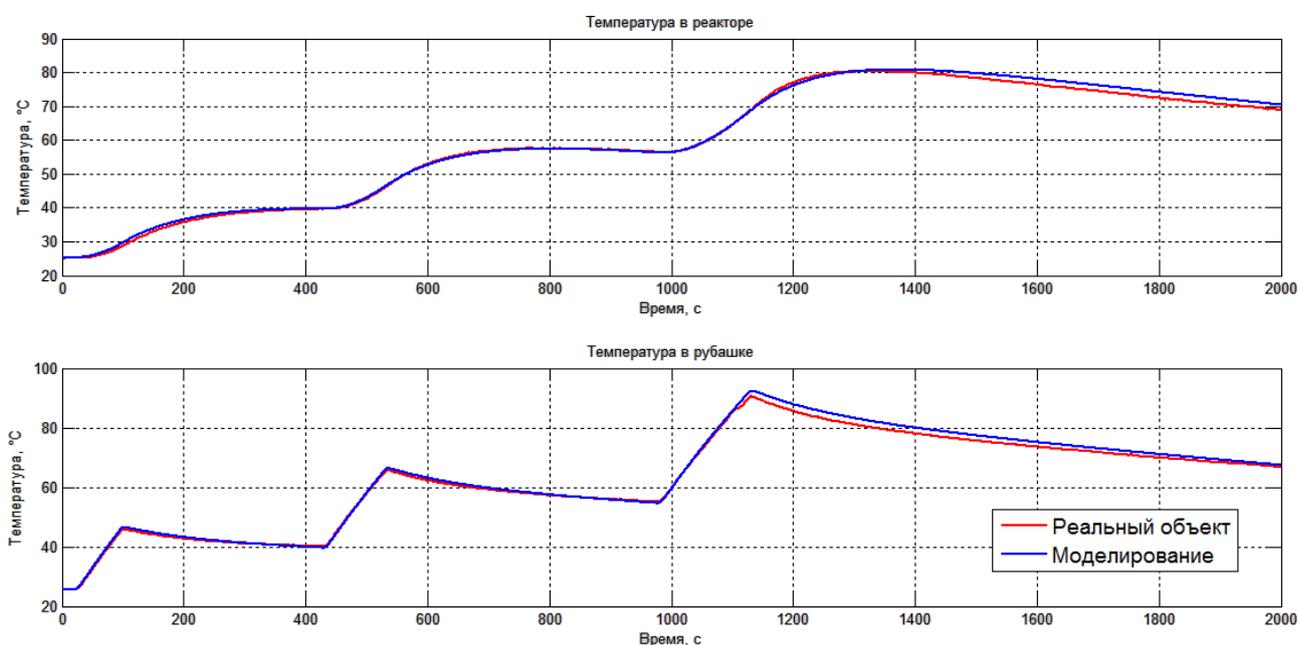


Рис. 18. Оценка коэффициентов теплоотдачи

Но при этом стоит помнить, что мы получили модель, которая хорошо описывает именно те данные, которые участвовали в процессе оценки. Чтобы быть уверенными в правильности подобранных коэффициентов, необходимо проверить адекватность полученной модели на других тестовых наборах данных, полученных при влиянии другой серии управляющих воздействий (рис. 19).

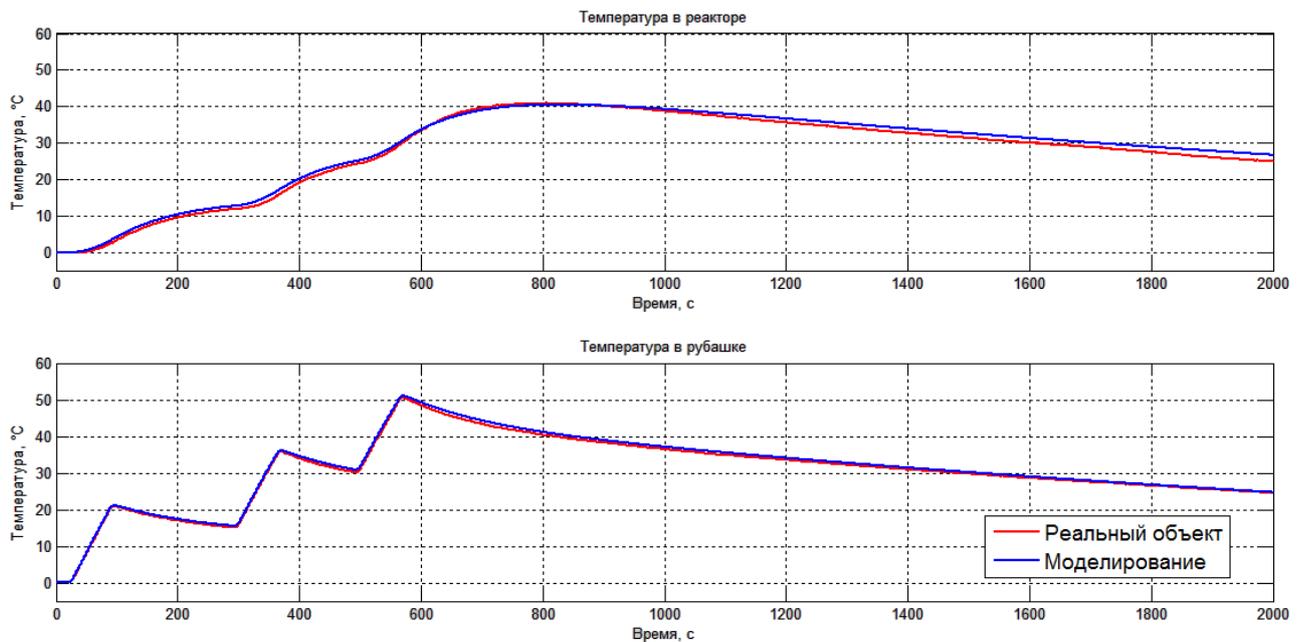


Рис. 19. Проверка модели на адекватность

Как видно из рисунка 19 отклонения значений вновь не превышают 2 градусов Цельсия, что не отличается от полученных ранее результатов (см. рис. 18) и находится в пределах погрешности средств измерений ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ). Это означает, что найденные коэффициенты близки к реальным, а найденная модель с практически пригодной точностью описывает наш объект управления, следовательно, ее можно использовать для проверки качества настройки регулятора.

По полученной математической модели объекта составим дифференциальные уравнения в форме вход-состояние-выход. Для этого приведем полученную математическую модель к виду, изображенному на рисунке 20, обозначим выходы интеграторов за переменные состояния.

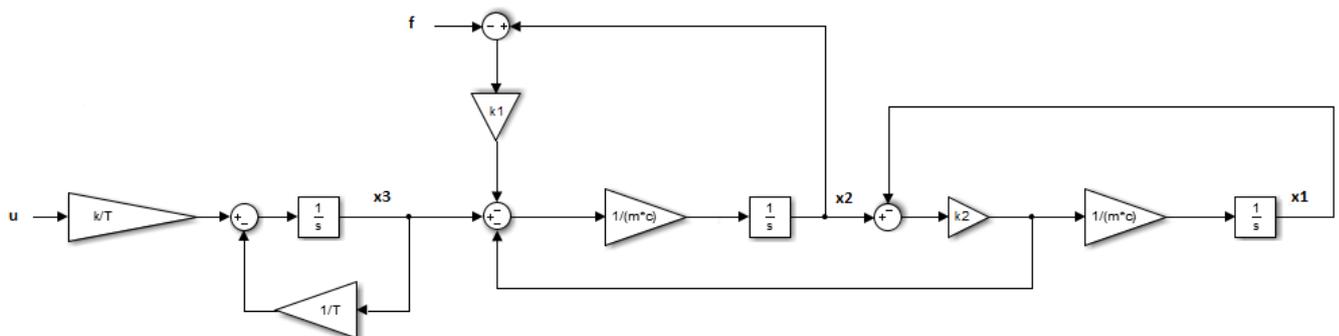


Рис. 20. Математическая модель с переменными состояниями

Теперь составим уравнения состояния по полученной структурной схеме, предварительно введя замену:

$$x = (x_1, x_2, x_3) = (T_{p,k}(t), T_p(t), Q_n(t)); \quad (13)$$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -x_1 \frac{k_2}{c \cdot m_{p,k}} + x_2 \frac{k_2}{c \cdot m_{p,k}}; \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} \frac{dx_2}{dt} = x_1 \frac{k_2}{c \cdot m_p} - x_2 \left( \frac{k_2}{c \cdot m_p} + \frac{k_1}{c \cdot m_p} \right) + x_3 \frac{1}{c \cdot m_p} + f(t) \frac{k_1}{c \cdot m_p}; \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} \frac{dx_3}{dt} = -x_3 \frac{1}{T} + u(t) \frac{k}{T}. \end{cases} \quad (16)$$

где:

$T_{p,k}(t)$  – температура в рабочей камере;

$T_p(t)$  – температура в рубашке;

$Q_n(t)$  – количество теплоты, передающееся нагревателем в систему;

$u(t)$  – управляющее воздействие;

$f(t)$  – возмущающее воздействие.

Тогда матрица коэффициентов состояния  $A$ , матрица коэффициентов входного воздействия  $B$  и матрица коэффициентов возмущающего воздействия  $C$  будут равны:

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{k_2}{c \cdot m_{p,k}} & \frac{k_2}{c \cdot m_{p,k}} & 0 \\ \frac{k_2}{c \cdot m_p} & -\left(\frac{k_2}{c \cdot m_p} + \frac{k_1}{c \cdot m_p}\right) & \frac{1}{c \cdot m_p} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ k \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 0 \\ k_1 \\ c \cdot m_p \\ 0 \end{pmatrix}.$$

$A$  матричное уравнение состояния с подставленными коэффициентами:

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -\frac{5,9}{4200 \cdot 0,23} & \frac{5,9}{4200 \cdot 0,23} & 0 \\ \frac{5,9}{4200 \cdot 0,61} & -\left(\frac{5,9}{4200 \cdot 0,61} + \frac{1,2}{4200 \cdot 0,61}\right) & \frac{1}{4200 \cdot 0,61} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{4,3} \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1423,5 \\ 4,3 \end{pmatrix} u(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1,2 \\ 4200 \cdot 0,61 \\ 0 \end{pmatrix} f(t).$$

Теперь для оценки устойчивости системы рассмотрим характеристическое уравнение:

$$|A - sE| = 0, \quad (17)$$

где:

$E$  – единичная матрица;

$s$  – матрица собственных чисел матрицы  $A$ .

Из уравнения 17 получаем собственные числа  $s_i$ , которые также являются корнями характеристического уравнения системы:

$$s_1 = -0.232558139534884;$$

$$s_2 = -0.000334818905106;$$

$$s_3 = -0.008544113993784.$$

Полученные корни  $s_i < 0$ , а значит, система является устойчивой.

## 2.8. Настройка регулятора

Задача системы автоматического регулирования (САР) объекта управления сводится к поддержанию заданной температуры воды в рабочей камере химического реактора. Эта температура достигает своей уставки благодаря энергии, полученной от воды из водяной рубашки, которая в свою очередь нагревается установленным в ней обогревателем. Следовательно, для исключения перерегулирования температуры в рабочей камере необходимо также корректировать температуру в водяной рубашке. Для этого в качестве алгоритма регулирования используется каскадный регулятор, в состав которого входят сразу два регулятора: ведущий и ведомый ПИ-регуляторы. Структура ПИ-регулятора представлена на рисунке 21.

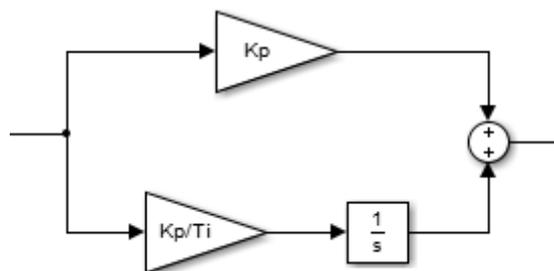


Рис. 21. Структура ПИ-регулятора

Ведущий регулятор формирует управляющее воздействие на ведомый регулятор в соответствии с разницей между уставкой и измеренным

значением температуры в рабочей камере химического реактора. Тот в свою очередь формирует управляющее воздействие на исполнительный механизм – нагреватель, который нагревает воду в водяной рубашке в соответствии с разницей между управляющим воздействием ведущего регулятора и измеренным значением температуры в водяной рубашке, а нагреваемая вода отдает часть тепла воде в рабочую камеру химического реактора. Структурная схема системы автоматического регулирования представлена на рисунке 22 и в приложении Е (ФЮРА.425280.001.ЭП.06).

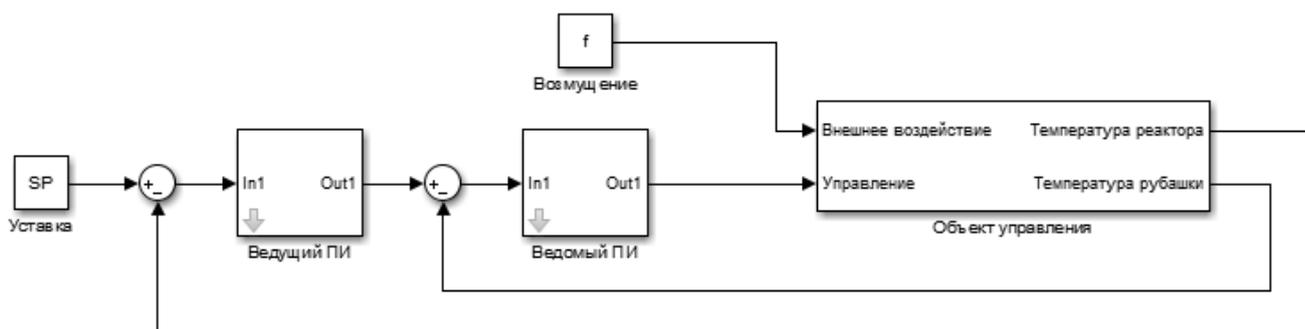


Рис. 22. Структурная схема САР

Отказ от дифференциальной составляющей в регуляторах обоснован зашумленным сигналом с датчиков температуры, который может привести систему в неустойчивое состояние. Необходимо, чтобы регулятор формировал управляющее воздействие в соответствии с действительным мгновенным значением с датчиков, а реализуя различного рода фильтры аппаратным или программным способом, подавляющие высокочастотные составляющие в сигнале, образуется ощутимая задержка действительных значений измеряемых параметров, воспринимаемых регулятором.

Перед настройкой регулятора необходимо определиться с рабочей точкой. Это важно, так как регулируемый параметр одновременно зависит от двух входных воздействий – управляющего и возмущающего, и потому в разных частях рабочего диапазона система может вести себя по разному. В итоге за рабочую точку было выбрано 60 °С, соответствующие середине рабочего диапазона, в которой и будем настраивать регулятор.

Для настройки каскадного регулятора были выбраны два метода, широко распространенные в инженерной практике [19] – Циглера-Николсона по реакции на единичный скачок и Chien, Hrones и Reswick (CHR). Для этого необходимо получить характеристику объекта в рабочей точке (рис. 24) – отклик объекта на скачок с 50 до 60 °С, а из нее получить два параметра  $\alpha$  и  $L$ . Операторно-структурная схема (ОСС) для определения характеристики объекта приведена на рисунке 23.

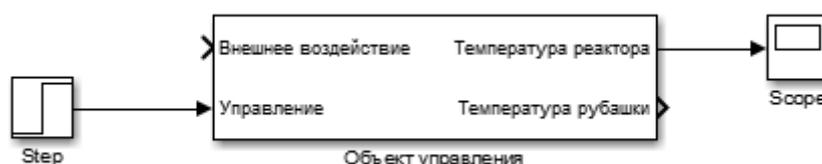


Рис. 23. ОСС для определения характеристики объекта

Полученная характеристика объекта приведена на рисунке 24.

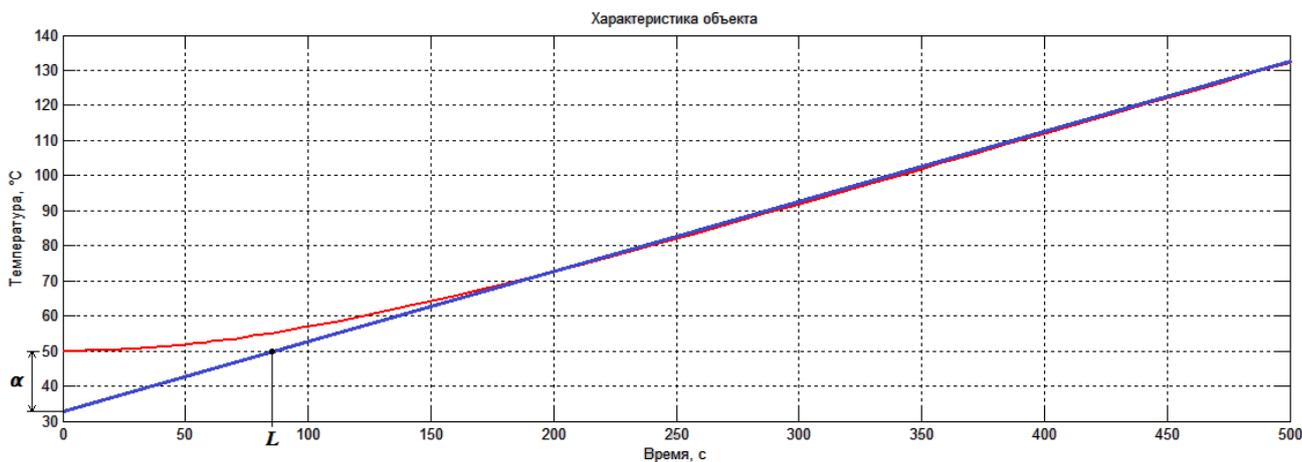


Рис. 24. Нахождения параметров  $\alpha$  и  $L$  из характеристики объекта

Из характеристики объекта были получены параметры  $\alpha = 17,59$  и  $L = 83,12$ . По таблице 5 для этих значений  $\alpha$  и  $L$  были найдены коэффициенты ведомого П- и ПИ-регулятора (табл. 6) [19].

Таблица 5. Формулы для расчета коэффициентов регулятора

	Циглер-Николсон		CHR	
Регулятор	$K_{\Pi}$	$T_{и}$	$K_{\Pi}$	$T_{и}$
П-	$1/\alpha$	-	$0,3/\alpha$	-
ПИ-	$0,9/\alpha$	$3L/K_{\Pi}$	$0,35/\alpha$	$1,2L/K_{\Pi}$

Таблица 6. Найденные коэффициенты регулятора

	Циглер-Николсон		CHR	
Регулятор	$K_{\Pi}$	$T_{и}$	$K_{\Pi}$	$T_{и}$
П-	0,0568	-	0,017	-
ПИ-	0,0512	4870,31	0,0199	5012,26

Чтобы получить переходные характеристики с найденными коэффициентами П- и ПИ-регуляторов, а также сравнить и выбрать оптимальный из них необходимо провести моделирование с операторно-структурной схемой приведенной на рисунке 25. Как видно из схемы выбор оптимальных параметров регулятора будет проводиться с учетом отработки на внешнее возмущающее воздействие, а именно – с учетом падения температуры окружающего воздуха с 25 до 15 °С.

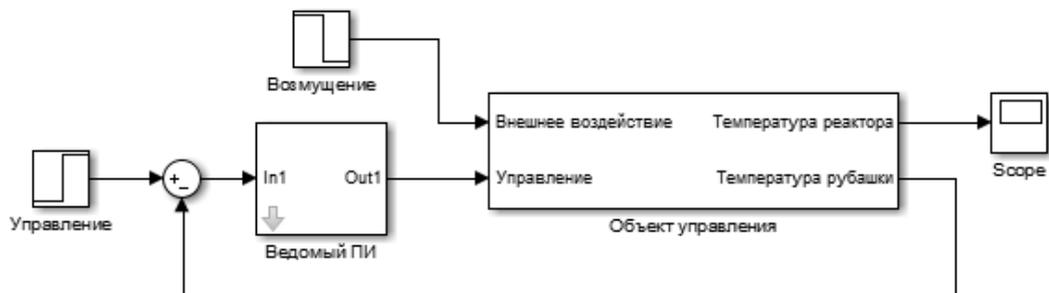


Рис. 25. ОСС с ведомым регулятором

Полученные переходные характеристики с найденными коэффициентами П- и ПИ-регуляторов представлены на рисунке 26, а качества полученных переходных процессов приведены в таблице 7.

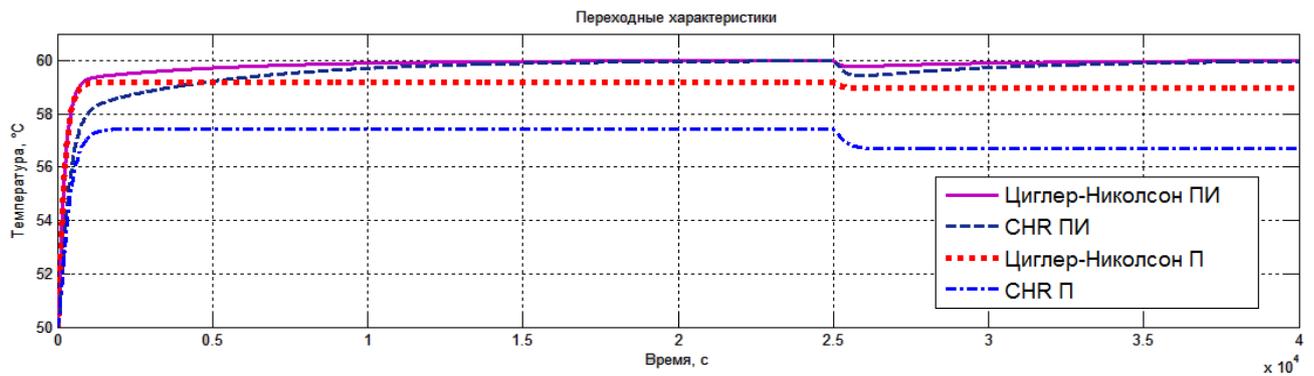


Рис. 26. Сравнение переходных характеристик

Таблица 7. Качества переходных процессов

Метод \ Регулятор	Циглер-Николсон		CHR	
	По управлению	По возмущению	По управлению	По возмущению
П-	$t_{пп} = 715,3 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0,81$	$t_{пп} = 500 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0,23$	$t_{пп} = 936,7 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 2,57$	$t_{пп} = 930 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0,74$
ПИ-	$t_{пп} = 2298 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 13258 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 15283 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 1880 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$

Из таблицы и графиков видно, что наилучший результат дает ПИ-регулятор, настроенный по методу Циглера-Николсона. Но этот метод дает лишь значения в некоторой окрестности оптимальных параметров, и чтобы еще более улучшить значения показателей качества переходного процесса, необходимо продолжать подбирать коэффициенты вручную (рис. 27).

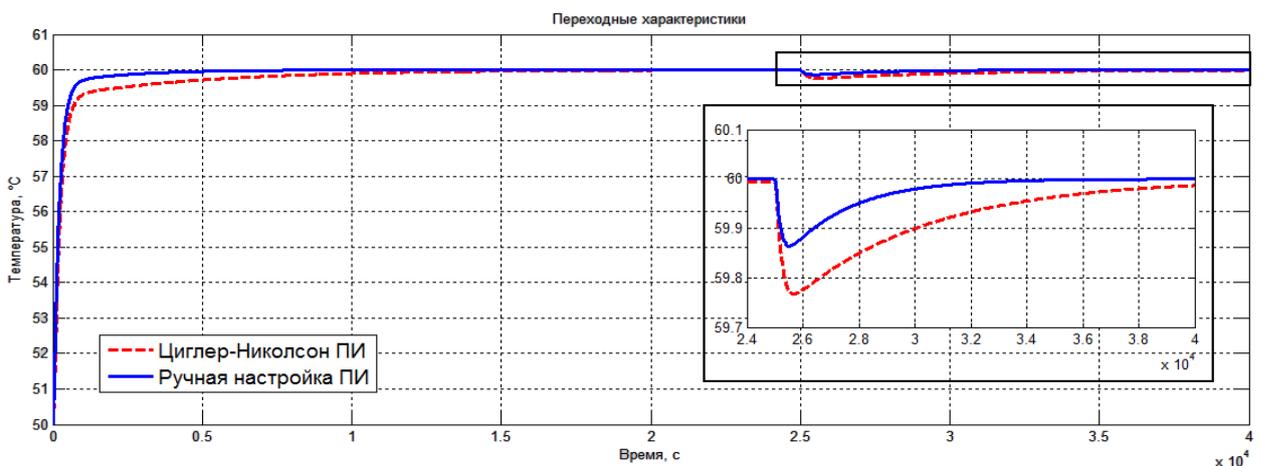


Рис. 27. Сравнение переходных характеристик

Таблица 8. Качества переходных процессов

Циглер-Николсон		Ручная настройка	
По управлению	По возмущению	По управлению	По возмущению
$t_{\text{пп}} = 2298 \text{ с}$	$t_{\text{пп}} = 13258 \text{ с}$	$t_{\text{пп}} = 733,5 \text{ с}$	$t_{\text{пп}} = 6850 \text{ с}$

Сравнив качества переходных процессов в таблице 8, можно легко убедиться, что с помощью ручной настройки удалось добиться более качественного переходного процесса. Найденные параметры регулятора:

$$K_{\text{п}} = 0,08;$$

$$T_{\text{и}} = 2285,71.$$

Теперь из полученной переходной характеристики необходимо найти значения  $\alpha$  и  $L$  (рис. 28). Это нужно для того, чтобы потом рассчитать коэффициенты ведущего регулятора.

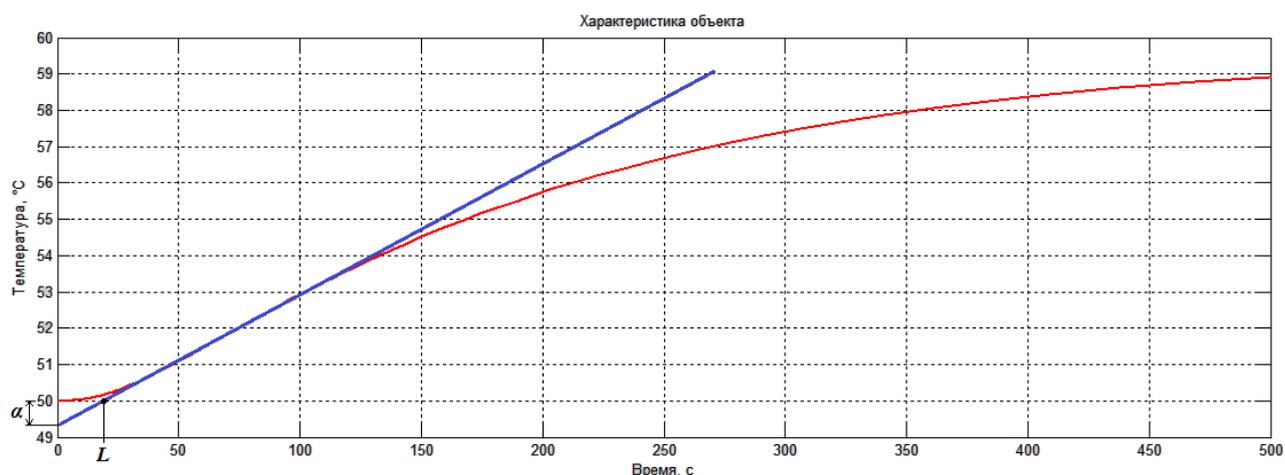


Рис. 28. Нахождения параметров  $\alpha$  и  $L$  из характеристики объекта

Из характеристики объекта были получены параметры  $\alpha = 0,6$  и  $L = 19,02$ . По таблице 5 для этих значений  $\alpha$  и  $L$  были найдены коэффициенты ведущего П- и ПИ-регулятора (табл. 9).

Таблица 9. Найденные коэффициенты регулятора

Регулятор	Циглер-Николсон		CHR	
	$K_p$	$T_i$	$K_p$	$T_i$
П-	1,67	-	0,5	-
ПИ-	1,5	38,04	0,58	39,35

Чтобы получить переходные характеристики с найденными коэффициентами П- и ПИ-регуляторов, а также сравнить и выбрать наилучший из них необходимо провести моделирование с операторно-структурной схемой приведенной на рисунке 29.

Как видно из рисунка 29 при настройке ведущего регулятора необходимо также анализировать динамику переходного процесса в водяной рубашке, так как максимальная температура в ней при переходном процессе не должна превышать 100 градусов, иначе результаты моделирования, в которых температура уставки близка к 100 градусам, будет существенно отличаться от результатов, полученных на реальном объекте. Отсюда вытекает требование, что температура уставки не должна превышать 100 градусов.

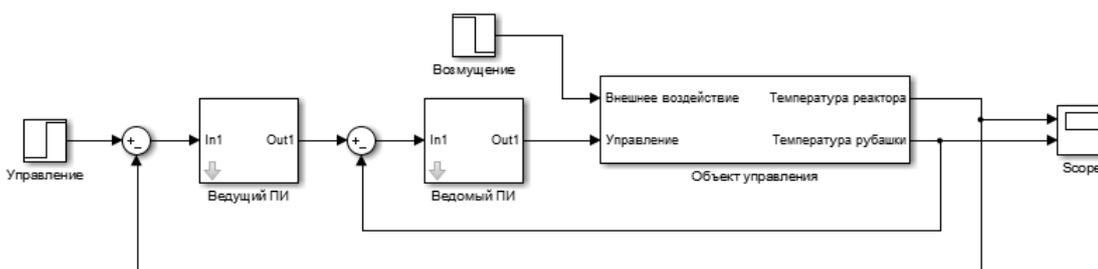


Рис. 29. ОСС с каскадным регулятором

На рисунке 30 приведены переходные характеристики в рабочей камере, а на рисунке 31 – в водяной рубашке. Качества переходных процессов приведены в таблицах 10 и 11.

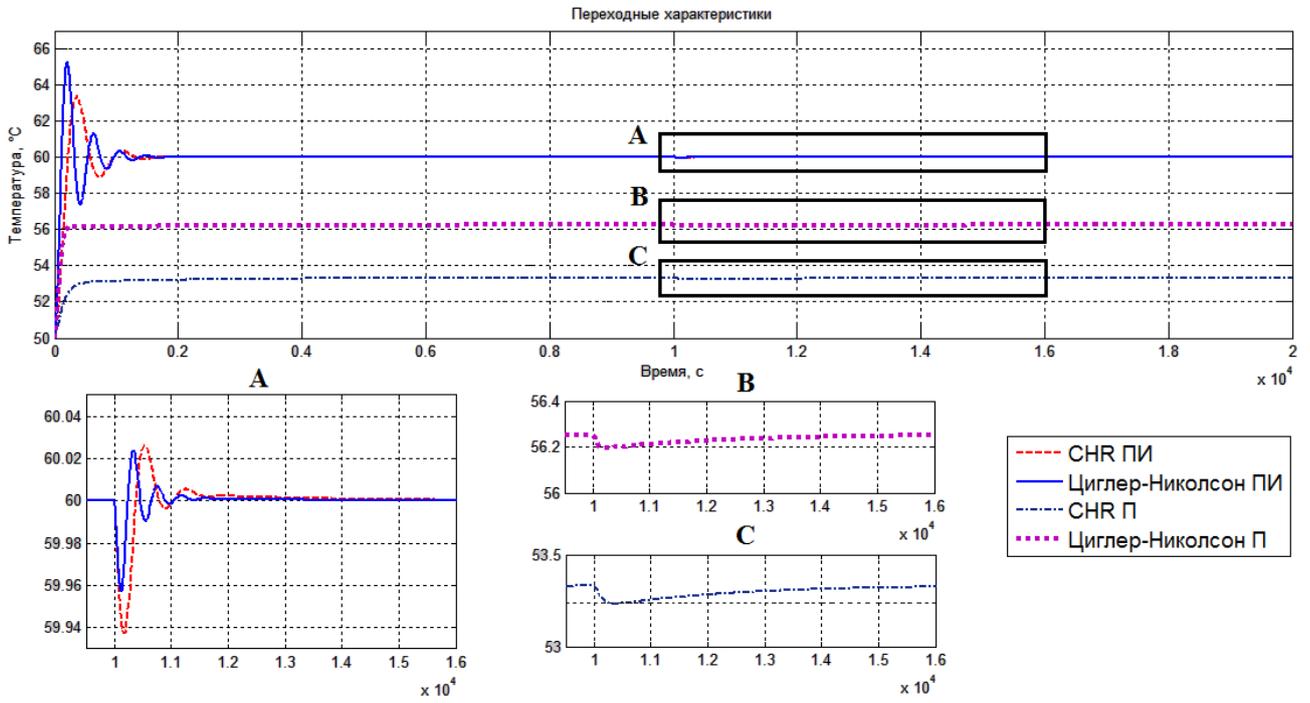


Рис. 30. Сравнение переходных характеристик в рабочей камере

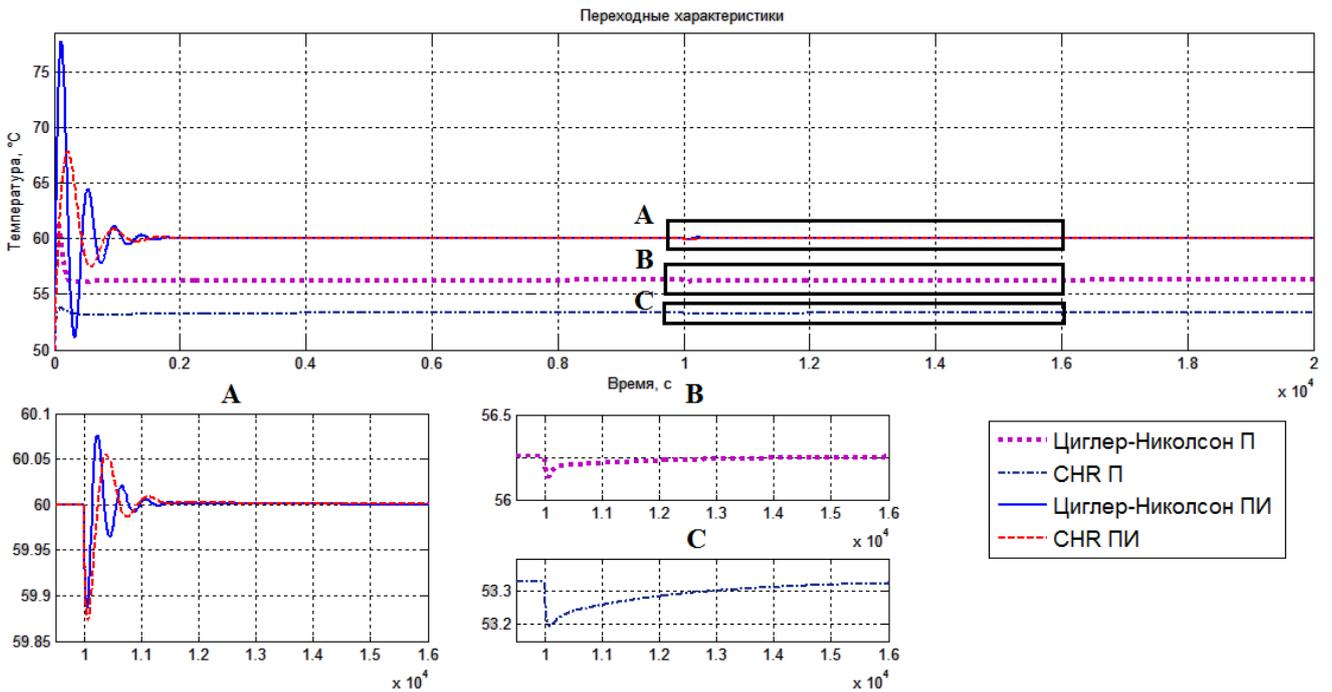


Рис. 31. Сравнение переходных характеристик в водяной рубашке

Таблица 10. Качества переходных процессов по управлению

	CHR		Циглер-Николсон	
	П-	ПИ-	П-	ПИ-
Рабочая камера	$t_{\text{пп}} = 583 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 6,6$	$t_{\text{пп}} = 982 \text{ с}$ $\sigma = 34 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 250 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 3,8$	$t_{\text{пп}} = 1122 \text{ с}$ $\sigma = 52 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$
Рубашка	$t_{\text{пп}} = 190,6 \text{ с}$ $\sigma = 13,2 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 6,6$	$t_{\text{пп}} = 1057 \text{ с}$ $\sigma = 78,1 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 211,3 \text{ с}$ $\sigma = 83,2 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 3,8$	$t_{\text{пп}} = 1200 \text{ с}$ $\sigma = 177,1 \%$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$

Таблица 11. Качества переходных процессов по возмущению

	CHR		Циглер-Николсон	
	П-	ПИ-	П-	ПИ-
Рабочая камера	$t_{\text{пп}} = 5068 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1501 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 4123 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1158 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$
Рубашка	$t_{\text{пп}} = 4950 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1220 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 3450 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1100 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$

Анализируя качества полученных переходных процессов, получаем, что результат ближе всего к параметрам, удовлетворяющим требованиям, дает ПИ-регулятор, настроенный по методу CHR, так как выброс температуры в рубашке значительно меньше чем по методу Циглера-Николсона, но в то же время он имеет не на много большее время переходного процесса, отрабатывая возмущение.

Используя эти параметры регулятора в качестве приближенных, попытаемся настроить регулятор ручным методом, полностью убрав перерегулирование в обеих емкостях (рис. 32, 33). Качества переходных процессов с полученным регулятором представлены в таблице 12.

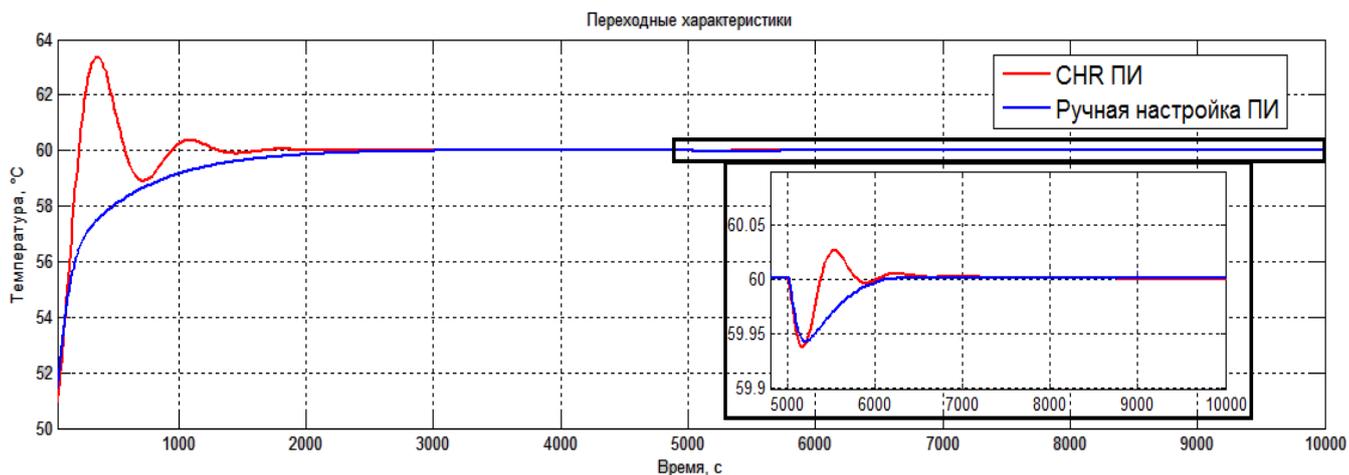


Рис. 32. Сравнение переходных характеристик в рабочей камере

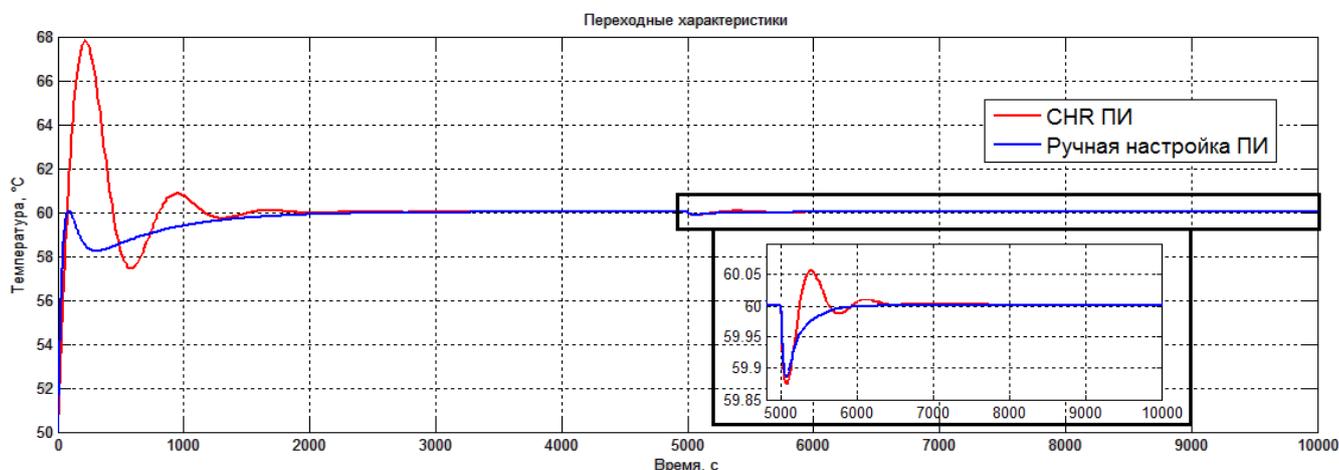


Рис. 33. Сравнение переходных характеристик в водяной рубашке

Таблица 12. Качества переходных процессов

	CHR		Ручная настройка	
	По управлению	По возмущению	По управлению	По возмущению
Рабочая камера	$t_{пп} = 982 \text{ с}$ $\sigma = 34 \%$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 1501 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 1265 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 1067 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$
Рубашка	$t_{пп} = 1057 \text{ с}$ $\sigma = 78,1 \%$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 1220 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 1098 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{ст} = 0$	$t_{пп} = 743 \text{ с}$ $\varepsilon_{ст} = 0$

Сравнив качества переходных процессов, приведенных в таблице 12, можно убедиться, что с помощью ручной настройки удалось полностью исключить перерегулирование и немного уменьшить время переходного

процесса по возмущению, но, добившись этого, пришлось пожертвовать временем переходного процесса на отработку задающего воздействия, которое возросло. Найденные параметры регулятора:

$$K_{\Pi} = 1,24;$$

$$T_{\text{и}} = 400.$$

Теперь необходимо проанализировать, как будет вести себя система на границах рабочего диапазона. Для этого смоделируем ситуацию нагрева воды в рабочей камере химического реактора с 80 до 90 °С и с 15 до 25 °С, посмотрим отработку регулятора на изменение температуры окружающей среды с 25 до 15 °С на этих границах и сравним полученные переходные характеристики с переходной характеристикой нагрева с 50 до 60 °С. Совмещенные переходные характеристики и их разность приведены на рисунках 34 и 35. В таблице 13 приведены качества переходных процессов.

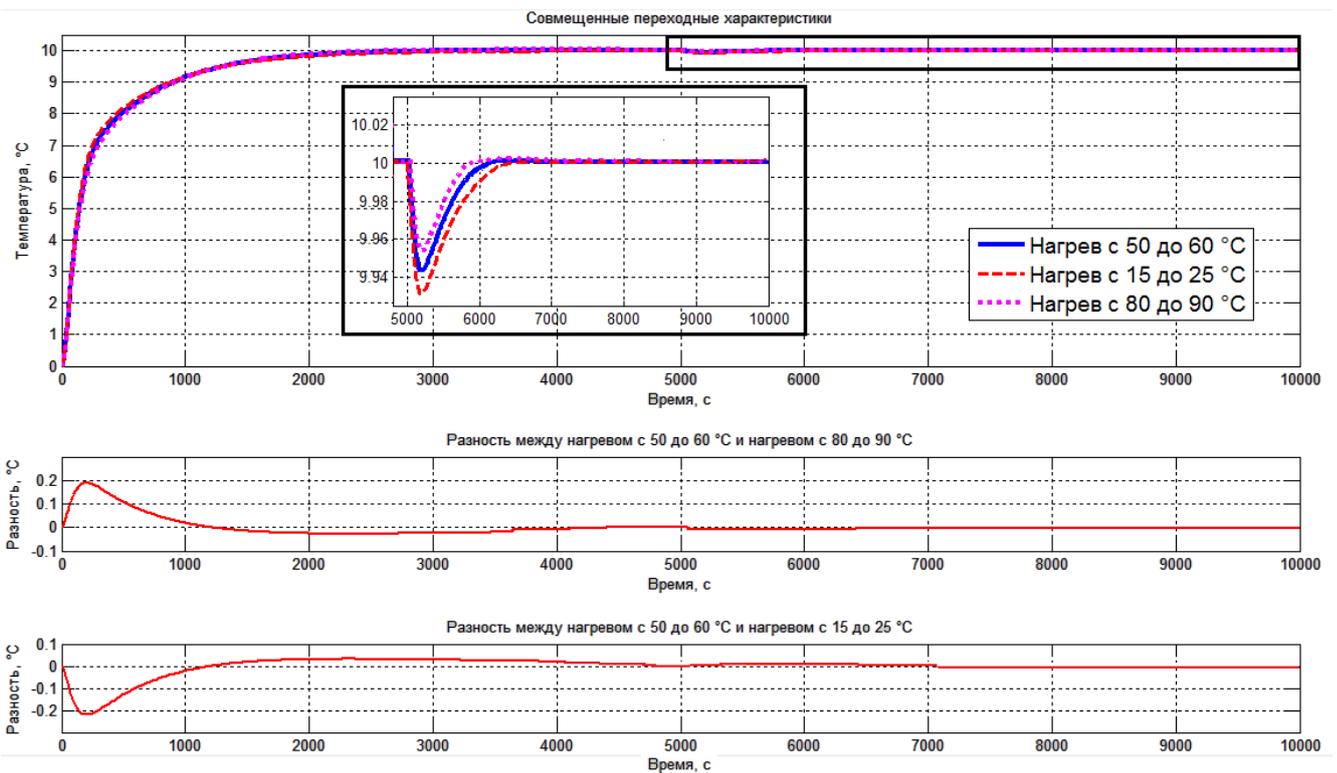


Рис. 34. Совмещенные переходные характеристики в рабочей камере

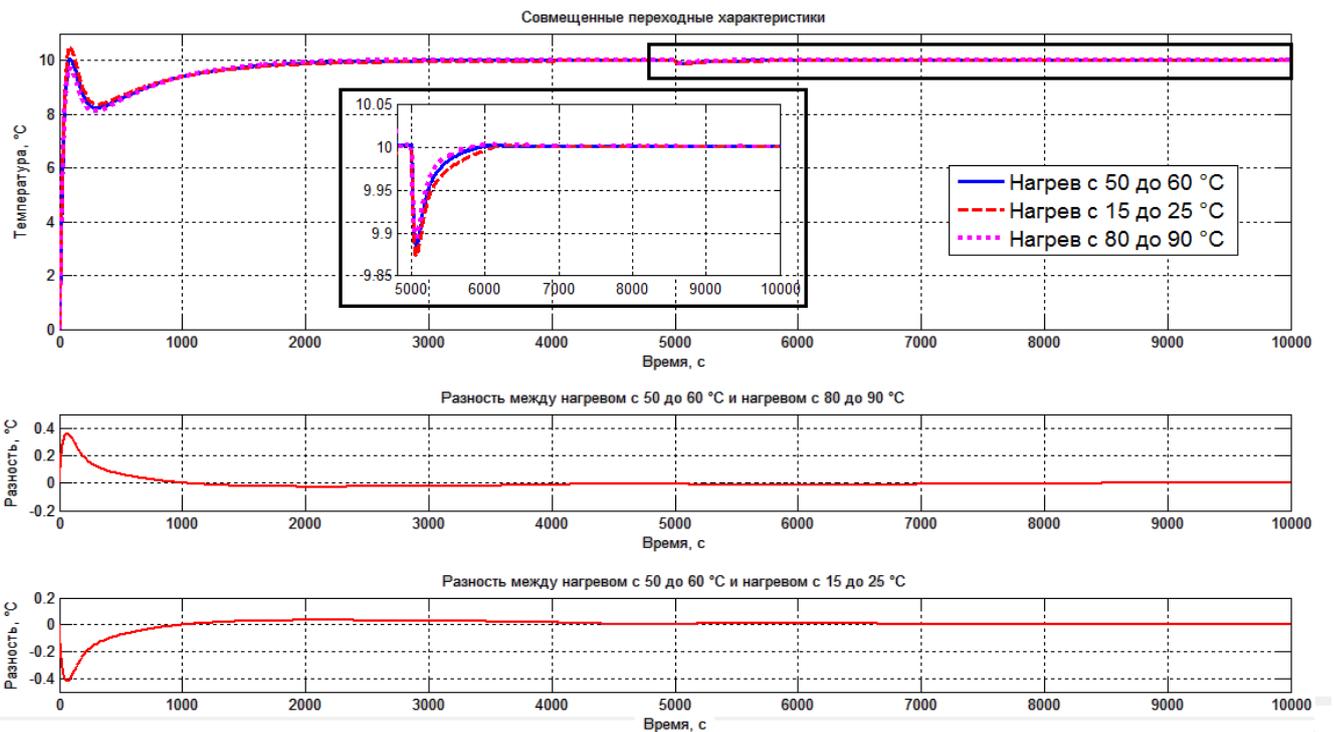


Рис. 35. Совмещенные переходные характеристики в водяной рубашке

Таблица 13. Качества переходных процессов

	Нагрев с 80 до 90 °C		Нагрев с 50 до 60 °C		Нагрев с 15 до 25 °C	
	По управлению	По возмущению	По управлению	По возмущению	По управлению	По возмущению
Рабочая камера	$t_{\text{пп}} = 1296 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1053 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1265 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1067 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1238 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1082 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$
Рубашка	$t_{\text{пп}} = 1114 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 735 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1098 \text{ с}$ $\sigma = 0 \%$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 743 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 1078 \text{ с}$ $\sigma = 4,7 \%$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$	$t_{\text{пп}} = 753 \text{ с}$ $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0$

Как видно из графиков и таблицы, разница между динамикой переходных процессов в рабочей точке и на границах рабочего диапазона мала. Это позволяет, не изменяя параметров каскадного регулятора, добиваться требуемых качеств переходных процессов на всем рабочем диапазоне.

## 2.9. Программная реализация

В ходе выбора контроллера был выбран ОВЕН ПЛК160, который программируется в среде Codesys v2.3. В качестве языка программирования из стандарта МЭК 61.131 был выбран язык FBD, так как с помощью него можно легко реализовать каскадную структуру регулятора.

Программа на языке FBD приведена в приложении Ж (ФЮРА.425280.001.ЭП.07) и состоит из:

1. Блока пересчета температуры (convert);
2. Ведущего ПИ-регулятора (master\_pi);
3. Блока, инициализирующего начальное значение интегральной составляющей ведущего ПИ-регулятора (condition\_1);
4. Ведомого ПИ-регулятора (slave\_pi);
5. Блока, исключающего отрицательное управляющее воздействие (convert2);
6. Блока широтно-импульсной модуляции (PWM).

Блок пересчета температуры (convert) преобразует сигнал постоянного тока 4...20 мА в измеряемую температуру. Сам блок написан на высокоуровневом языке ST, код которого приведен ниже:

```
1. PV1_out:=200*(PV1_in-8)/16; //пересчет температуры в рубашке
2. PV2_out:=200*(PV2_in-8)/16; //пересчет температуры в рабочей камере
```

Ведущий и ведомый ПИ-регуляторы (master\_pi и slave\_pi), представляют из себя библиотечные блоки ПИД-регулятора, в которые в качестве параметров были выставлены коэффициенты, полученные при настройке регулятора в Simulink.

Необходимым блоком в программе также является блок инициализации начального значения интегрирующей составляющей в ведущем ПИ-регуляторе (condition\_1). Это связано с тем, что при запуске контроллера эта составляющая равна нулю, хотя для исключения «ударов»

она должна быть равна начальному значению температуры в рабочей камере реактора. Код данного блока на языке ST представлен ниже:

```
1. IF (FLAG=1) THEN //если контроллер включили
2.   value:=condition; //присвой переменной value
                        //значение начальной температуры
                        //в рабочей камере
3.   FLAG:=0; //флаг о выполнении первой
итерации
4. ELSE output_Y:=value+input_Y; //инициализация начального
                                //значения интегрирующей
                                //составляющей
5. END_IF
```

В процессе отладки программы, также появилась необходимость в блоке (convert2), исключая отрицательное управляющее воздействие, поступающее на блок PWM. Отрицательная величина воспринималось блоком PWM как максимальное значение подаваемой мощности, и на выходе блока устанавливалась логическая единица, которая соответствовала включению нагревателя. Код блока, реализованного на языке ST, представлен ниже:

```
1. IF (input_power<0) THEN //если входная мощность меньше 0
2.   output_power:=0; //выходная мощность равна 0
3. ELSE output_power:=input_power; //в других случаях выходная
                                //мощность равна входной
4. END_IF
```

Так как физически управлять мощностью нагревателя было решено с помощью электромагнитного реле, то появилась необходимость в реализации блока широтно-импульсной модуляции (PWM). Блок PWM предназначен для преобразования входной мощности в диапазоне от 0 до 1 в последовательность импульсов различной скважности. Код реализации блока на языке ST приведен ниже:

```
1. t_pwc(IN:=TRUE, PT:=t#2s); //запускаем таймер ШИМ
2. IF t_pwc.Q THEN t_pwc(IN:=FALSE);
```

```

3. END_IF
4. t_power:=INT_TO_TIME (REAL_TO_INT (2000*power); //преобразуем
                                                мощность во время
5. IF t_power>t_pwc.ET THEN out:=TRUE; //управляем выходом
6. ELSE out:=FALSE;
7. END_IF

```

Перечень вход/выходных сигналов, обрабатываемых программой и участвующих в визуализации процесса, приведен в приложении И (ФЮРА.425280.001.ЭП.08).

### 2.10. Результаты работы регулятора и сравнение с моделированием

В ходе проведения эксперимента на реальном объекте был получен переходный процесс, представленный на рисунке 36, а его качества в таблице 14.

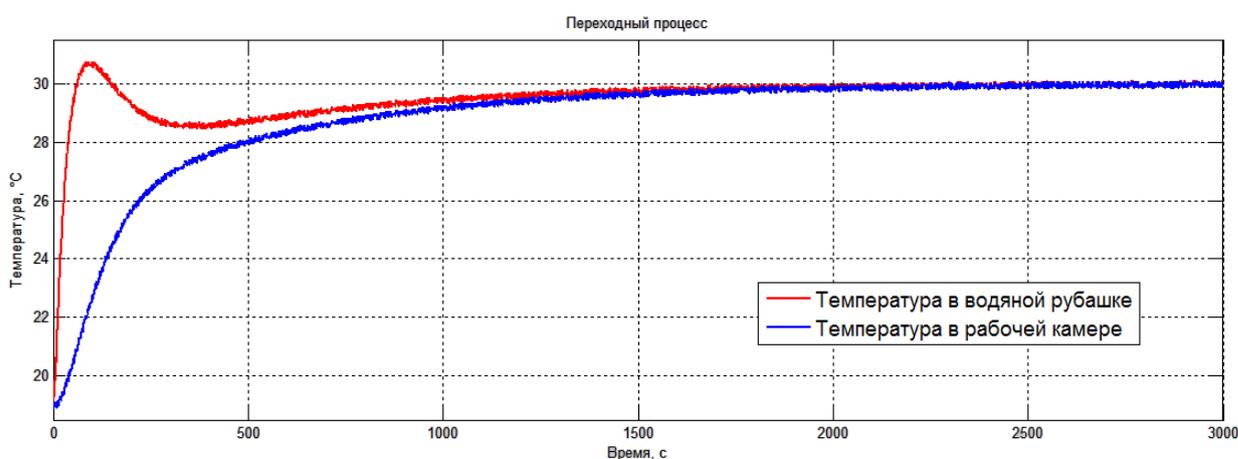


Рис. 36. Переходный процесс на реальной объекте

Таблица 14. Качества переходных процессов

	Время переходного процесса, $t_{пп}$	Перерегулирование, $\sigma$
Рабочая камера	1350 с	0 %
Рубашка	1118 с	6,09 %

Сравнение результатов моделирования с результатами, полученными на реальном объекте представлены на рисунках 37 и 38. В таблице 15 приведены качества переходных процессов.

Как видно из графиков переходных процессов разность результатов, полученных экспериментальным путем и с помощью моделирования, не превышает значение более чем на  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это значение входит в интервал абсолютной погрешности средств измерений.

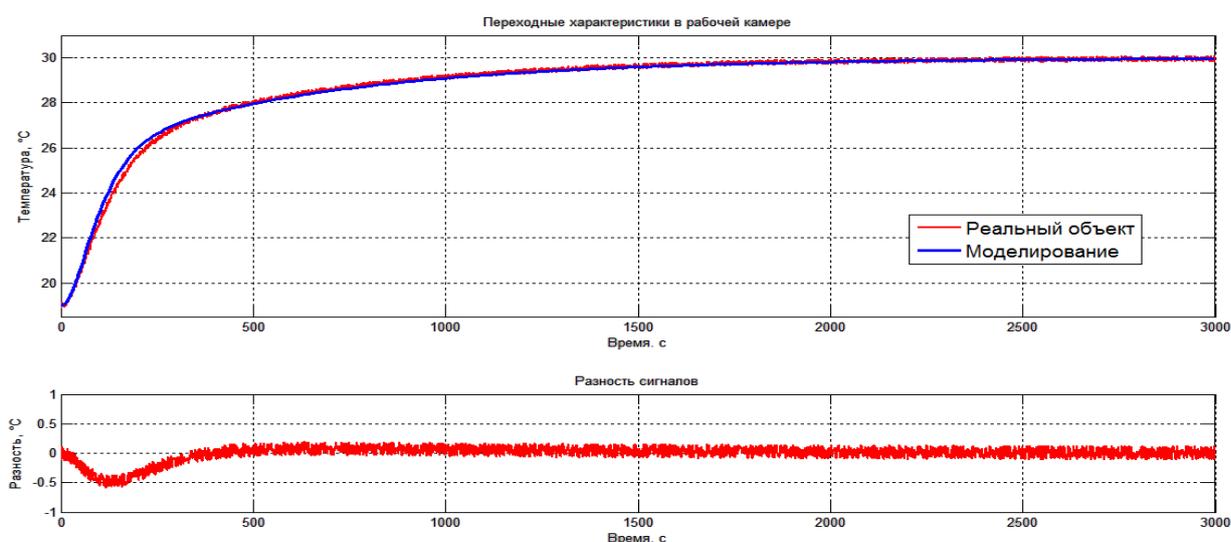


Рис. 37. Сравнение результатов в рабочей камере

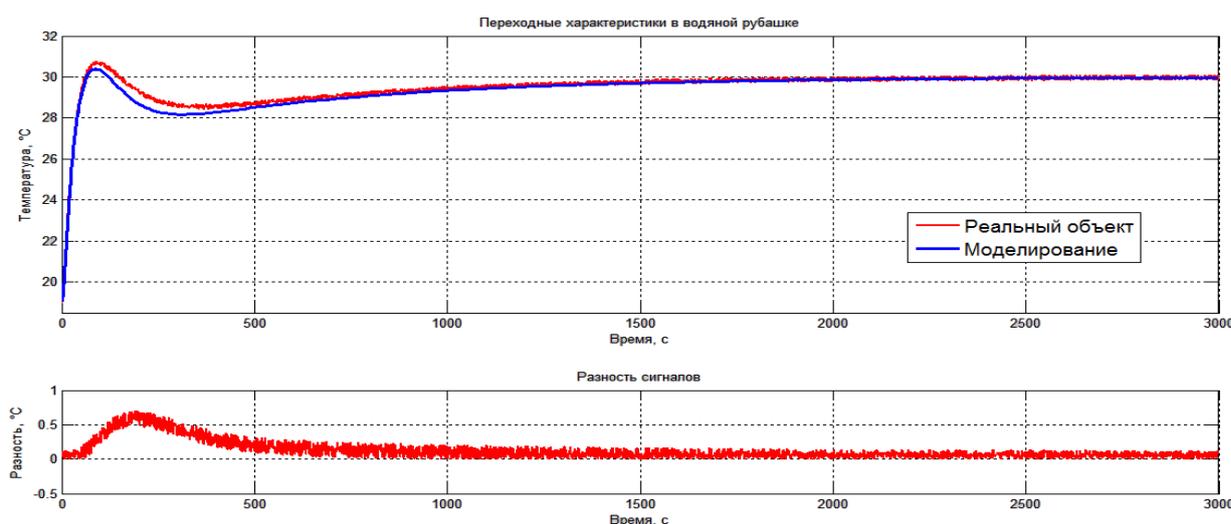


Рис. 38. Сравнение результатов в водяной рубашке

Таблица 15. Качества переходных процессов

	Моделирование	Реальный объект
Рабочая камера	$t_{\text{пп}} = 1299 \text{ с}, \quad \sigma = 0 \%$	$t_{\text{пп}} = 1350 \text{ с}, \quad \sigma = 0 \%$
Рубашка	$t_{\text{пп}} = 1113 \text{ с}, \quad \sigma = 3,54 \%$	$t_{\text{пп}} = 1176 \text{ с}, \quad \sigma = 6,09 \%$

### 2.11. Описание экранной формы

Интерфейс оператора содержит рабочее окно, приведенное в приложении К (ФЮРА.425280.001.ЭП.09) и состоящее из следующих функциональных элементов:

- окно трендов с регистрируемыми значениями температуры в рабочей камере и водяной рубашке;
- окно трендов с регистрируемыми значениями токов потребления насосов;
- кнопки управления насосами (включить/выключить);
- индикаторы, сигнализирующие о состоянии насосов;
- кнопка задания уставки в рабочей камере.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т21	Бутузов Денис Вадимович

<b>Институт</b>	<b>Кибернетики</b>	<b>Кафедра</b>	<b>интегрированных компьютерных систем управления</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление</b>	Автоматизация технологических процессов и производств (в нефтегазовой отрасли)

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

<p>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических; энергетических; финансовых; информационных; человеческих;</p> <p>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов;</p> <p>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</p>	<p>Финансовые ресурсы 1445 000 руб.;</p> <p>Человеческие ресурсы 2 чел.;</p>
--	--

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

<p>1. Расчет трудоемкости этапов;</p>	<p>1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности;</p> <p>2. Планирование научно-исследовательских работ;</p> <p>3. Накладные расходы;</p> <p>4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.</p>
---------------------------------------	--

<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	Николаенко Валентин Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т21	Бутузов Денис Вадимович		

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

#### 3.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследований являются широкий круг предприятий химической промышленности. Для данных предприятий разрабатывается система автоматического регулирования (САР) температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой.

В таблице 16 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности. Анализ рынка выполнялся на основе компаний ПАО "Нижнекамскнефтехим", ОАО "Тольяттиазот", ОАО "Саянскхимпласт".

Таблица 16. Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности			
		Подбор средств реализации	Создание алгоритмов управления	Проектирование АСУ ТП	Разработка экранных форм
Размер компании	Крупные	-	-	+	+
	Средние	-	-	-	+
	Мелкие	+	+	-	-

Согласно карте сегментирования, можно выбрать следующие сегменты рынка: подбор средств реализации и создание алгоритмов управления для крупных и средних компаний.

#### 3.2. Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, приведенной в таблице 17. В качестве конкурентов выбраны ПАО "Нижнекамскнефтехим" и ОАО "Тольяттиазот".

Таблица 17. Оценочная карта

Критерии оценки	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Разрабатываемая САР	1 Конкурентная система управления	2 Конкурентная САР	Разрабатываемая САР	1 Конкурентная система управления	2 Конкурентная САР
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Повышение производительности	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Удобство в эксплуатации	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
Устойчивость	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,24
Энергоэкономичность	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Надежность	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
Безопасность	0,05	4	3	5	0,2	0,15	0,25
Простота эксплуатации	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
<b>Экономические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Конкурентоспособность	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Уровень проникновения на рынок	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Цена	0,2	5	2	1	1	0,4	0,2
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	2	4	0,5	0,2	0,4
Условия проникновения на рынок	0,06	4	3	5	0,24	0,18	0,3
Итого	1	52	38	39	4,5	2,96	3,43

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что разрабатываемая система автоматического регулирования температуры в химическом реакторе является наиболее эффективной. Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как высокая стоимость, более низкая производительность и низкий срок эксплуатации.

### 3.3. SWOT – анализ

SWOT-анализ – это метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) [20]. Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 18.

Таблица 18. SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны:</b>	<b>Слабые стороны:</b>
	С1. Низкая стоимость. С2. Научная новизна. С3. Современные технологии. С4. Высокий спрос.	Сл1. Высокие начальные затраты. Сл2. Отсутствие клиентской базы. Сл3. Узкая направленность.
<b>Возможности:</b> В1. Увеличение спроса. В2. Выход на иностранный рынок. В3. Расширение диапазона предоставляемых услуг.	Увеличение объема производства, прибыли и расширение границ сбыта и клиентской базы. Продажи как в розницу, так и в опт на разных площадках и территориях сбыта.	Высокие начальные затраты уменьшат и не позволят воспользоваться высоким спросом в полной мере. Узкая направленность затруднит увеличение спроса. Расширение диапазона позволит нарастить клиентскую базу и сгладит минусы узкой направленности.
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие потребности на новые технологии. У2. Увеличение конкуренции. У3. Нестабильность экономической ситуации в стране.	Низкая стоимость и научная новизна с применением современных технологий улучшит конкурентную позицию, потребительскую способность и сгладит экономический кризис.	Высокие начальные затраты, увеличение конкуренции и нестабильная экономическая ситуация может ослабить интерес покупателей.

Выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Данные соответствия или несоответствия помогут выявить потребность в проведении стратегических изменений. Для этого построим интерактивные матрицы проекта (табл. 19-22).

Таблица 19. Интерактивная матрица для сильных сторон и возможностей

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

Таблица 20. Интерактивная матрица для слабых сторон и возможностей

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	+
	B2	-	0	-
	B3	0	+	+

Таблица 21. Интерактивная матрица для сильных сторон и угроз

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	+	-
	У2	+	+	+	-
	У3	+	+	+	-

Таблица 22. Интерактивная матрица для слабых сторон и угроз

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	+	-	+
	У3	+	0	+

### 3.4. Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.4.1. Структура работ в рамках научного исследования

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов [21].

Для реализации проекта необходимы два исполнителя – руководитель (Р), студент-дипломник (СД). Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 23.

Таблица 23. Этапы выполнения дипломной работы

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Исполнитель	Загрузка
Разработка технического задания на НИР	1	Составление и утверждение ТЗ на НИР	Р	Р – 100 %
Проведение НИР				
Выбор направления исследования	2	Сбор и изучение научно-технической литературы и технической документации	Р, СД	Р – 20 % СД – 80 %
	3	Разработка и утверждение ТЗ	Р, СД	Р – 80 % СД – 20 %
	4	Календарное планирование работ	СД	СД – 100 %
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка модели объекта	СД	СД – 100 %
	6	Разработка функциональной схемы автоматизации	СД	СД – 100 %
	7	Подбор средств реализации	СД	СД – 100 %
	8	Получение математической модели объекта	СД	СД – 100 %

	9	Подтверждение математической модели объекта	СД	СД – 100 %
	10	Моделирование САР	СД	СД – 100 %
	11	Реализация САР	СД	СД – 100 %
	12	Разработка экранных форм	СД	СД – 100 %
Оформление отчета по НИР	13	Написание пояснительной записки	СД	СД – 100 %

### 3.4.2. Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ необходимо перевести из рабочих дней в календарные дни. Для этого необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле (18) [22].

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48, \quad (18)$$

где:

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

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

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

В таблице 24 приведены расчеты длительности отдельных видов работ.

Таблица 24. Временные показатели проведения работ

№ раб.	Трудоемкость работ			Исполнители	Т <sub>рi</sub> , раб.дн	Т <sub>кi</sub> , кал.дн
	Т <sub>min</sub> , чел-дни	Т <sub>max</sub> , чел-дни	Т <sub>ож i</sub> , чел-дни			
1	1	2	1,4	Р	1,4	2
2	1	2	1,4	Р, СД	0,7	1
3	2	3	2,4	Р, СД	1,2	2
4	1	2	1,4	СД	1,4	2
5	2	3	2,4	СД	2,4	3
6	5	10	7	СД	7	10
7	2	3	2,4	СД	2,4	3
8	3	6	4,2	СД	4,2	6
9	3	6	4,2	СД	4,2	6
10	1	2	1,4	СД	1,4	2
11	2	4	2,8	СД	2,8	4
12	1	2	1,4	СД	1,4	2
13	2	3	2,4	СД	2,4	3

На основе таблицы 24 построим диаграмму Ганта, представляющую из себя горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (табл. 25).

Таблица 25. Календарный план-график

№ раб.	Вид работ	Исп-лы	Тк <sub>i</sub> , кал.дн	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1	Составление и утверждение ТЗ на НИР	Р	2	■								
2	Сбор и изучение научно-технической литературы и технической документации	Р, СД	1	■								
3	Разработка и утверждение ТЗ	Р, СД	2	■	■							
4	Календарное планирование работ	СД	2		■							
5	Разработка модели объекта	СД	3		■	■						
6	Разработка функциональной схемы автоматизации	СД	10		■	■	■					
7	Подбор средств реализации	СД	3				■	■				
8	Получение математической модели объекта	СД	6					■	■	■		
9	Подтверждение математической модели объекта	СД	6						■	■	■	
10	Моделирование САР	СД	2								■	
11	Реализация САР	СД	4								■	■
12	Разработка экранных форм	СД	2									■
13	Написание пояснительной записки	СД	3									■



-руководитель



- студент-дипломник

### 3.5. Бюджет научно-технического исследования

#### 3.5.1. Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле

(19):

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расч i} , \quad (19)$$

где:

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, примем равным 20%.

Расчеты представлены в таблице 26.

Таблица 26. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы
Датчик температуры ОВЕН ДТС094	шт.	2	3 500	8 400
Датчик тока АМЕ-8821-5	шт.	4	1 750	8 400
ОВЕН ПЛК160	шт.	1	31 860	38 233,2
Нагреватель, 1453 Вт	шт.	1	300	360
Насос омывателя стекол, 12 В	шт.	4	150	720
Трубка ПВХ, 20 см	шт.	5	20	120
Э/м реле, 5 А	шт.	5	250	1 500
DIN-рейка, 1 м	шт.	1	120	144
Итого:				57 877,2

### 3.5.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Действительный годовой фонд рабочего времени руководителя и дипломника представлен в таблице 28. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 29.

Таблица 28. Баланс времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент-дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:	52	104
-выходные дни;	14	14
-праздничные дни.		
Потери рабочего времени:	48	24
-отпуск; -невыходы по болезни.		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Таблица 29. Основная заработная плата

Исполнители	Тарифная заработная плата	Премимальный коэффициент	Коэффициент доплат	Районный коэффициент	Месячный должностной оклад работника	Среднедневная заработная плата	Продолжительность работ	Заработная плата основная
Руководитель	35000	0,3	0,2	1,3	68250	2827,89	4	11311,56
Студент-дипломник	15000	0,3	0,5	1,3	35100	1762,87	20,2	35609,97
Итого:								46921,53

### 3.5.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формулам (20) и (21) [23].

$$Z_{допP} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 11311,56 = 1696,7, \quad (20)$$

$$Z_{допИ} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 35609,97 = 5341,5. \quad (21)$$

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

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений определяется по формуле (22):

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (22)$$

где:

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

На 2016 г. в соответствии с положениями ст.58.2 закона №212-ФЗ установлены следующие тарифы страховых взносов: ПФР – 0.22 (22%), ФСС РФ – 0.029 (2,9%), ФФОМС – 0,051 (5,1%). Все расчеты сведены в таблицу 30.

Таблица 30. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель проекта	Студент-дипломник
Основная заработная плата	11311,56	35609,97
Дополнительная заработная плата	1696,7	5341,5
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	20	20
Итого:	2601,7	8190,3

### 3.6. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают все затраты, не вошедшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование, оплата электроэнергии, оплата пользования услугами и пр.

Расчет накладных расходов определяется по формулам (23) и (24) [24]:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (23)$$

где:

$k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 15%.

$$Z_{накл} = (584194 + 8000 + 46921,53 + 7038,2 + 10792) \cdot 0,015 = 9854,2, \quad (24)$$

где:

0,015 – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 31:

Таблица 31. Расчет бюджета затрат на НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты	57 877,2
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	46 921,53
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7 038,2
4. Отчисления во внебюджетные фонды	10 792
5. Накладные расходы	9 854,2
6. Бюджет затрат НТИ	125 444,93

### 3.7. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. С помощью таблицы 32 определим интегральный показатель ресурсоэффективности.

Таблица 32. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Объект исследования / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Материалоемкость	0.05	3	4	5
2. Надежность	0.1	4	3	2
3. Производительность	0.25	5	3	4
4. Удобство в эксплуатации	0.15	4	5	3
5. Энергосбережение	0.25	5	4	3

6. Безопасность	0.2	5	3	4
Итого	1			

На основании полученных показателей выполним сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки (табл. 33).

Таблица 33. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,58	0,75	0,97
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,6	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	8	4,8	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,67	2,22	1,33

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т21	Бутузов Денис Вадимович

<b>Институт</b>	Институт кибернетики	<b>Кафедра</b>	ИКСУ
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	Автоматизация технологических процессов и производств

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

<p>1. Характеристика объекта исследования и области его применения</p>	<p>Учебный стенд «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой». Учебный стенд состоит из модели химического реактора, программируемого логического контроллера (ПЛК), нагревательного элемента, датчиков температуры и циркуляционных насосов. Основным оборудованием, за которым производится работа, является персональный компьютер.</p> <p>Данный стенд планируется использовать в качестве средства для исследования существующих алгоритмов управления, применяемых при регулировании температуры в химических реакторах, а также для проведения научно-исследовательских работ по созданию и отработки новых.</p>
--	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность:</b></p>	<p><b>1. Производственная безопасность:</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитный излучений;</li> <li>– повышенная или пониженная влажность воздуха;</li> <li>– повышенная или пониженная температура воздуха.</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электрический ток.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>

	В качестве воздействия на литосферу и атмосферу рассмотрена утилизация люминесцентных ламп. Воздействия на гидросферу не происходит.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> Чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем месте, является возникновение пожара.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> Основные требования к организации рабочего места.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Антоневич Ольга Алексеевна	Кандидат биологических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т21	Бутузов Денис Вадимович		

#### 4. Социальная ответственность

В процессе трудовой деятельности на специалиста, осуществляющего работу за учебным стендом «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой», могут оказывать воздействие различного рода производственные факторы. Для их предупреждения и сохранения здоровья работника предусматривается ряд мер по обеспечению безопасности трудовой деятельности.

В этом разделе рассматриваются особенности организации рабочего места специалиста, осуществляющего работу за учебным стендом. Готовый стенд представляет из себя модель химического реактора, используемого на производстве в химической промышленности, для исследования различных алгоритмов управления.

Предполагается, что работа со стендом осуществляется в закрытом, отапливаемом и вентилируемом помещении, на рабочем месте которого находится персональный компьютер.

##### 4.1. Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации учебного стенда. В таблице 34 приведены опасные и вредные факторы при выполнении работ за учебным стендом «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой».

Таблица 34. Опасные и вредные факторы при выполнении работ за учебным стендом

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Работа с компьютером; 2. Техническое обслуживание учебного стенда.	1. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 2. Отсутствие или недостаток естественного света; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны;	1. Электрический ток.	1. СН2.2.4/2.1.8.562-96 2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 3. СанПиН 2.2.4.1191-03 4. СанПиН

	4. Повышенный уровень электромагнитных излучений;		2.2.2/2.4.1340-03
	5. Повышенная или пониженная влажность воздуха;		5. ГОСТ 12.1.019-2009
	6. Повышенная или пониженная температура воздуха.		6. ГОСТ 17.4.3.04-85

#### 4.1.1. Повышенный уровень шума на рабочем месте

При выполнении работ, описанных в таблице 34, специалист может оказаться в зоне повышенного уровня шума, источником которого является оборудование, находящееся в рабочем помещении: персональные компьютеры, устройства поддержки микроклимата (кондиционеры, вентиляция), а также циркуляционные насосы химического реактора.

Работы, выполняемые специалистом за учебным стендом, оцениваются как научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, и, следовательно, согласно санитарным нормам СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» уровень звука в рабочем помещении не должен превышать 50 дБА. В таблице 35 приведены предельные уровни звукового давления в октавных полосах, а также предельные уровни звука для видов работ, выполняемых специалистом за учебным стендом [25].

Таблица 35. Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

В качестве мер по снижению шума, воздействующего на человека, в первую очередь следует использовать средства коллективной защиты.

Наиболее эффективной защитой от шума, источником которого являются циркуляционные насосы химического реактора, было бы создание специальных архитектурно-строительных решений на этапе проектирования рабочего места в рабочей аудитории, но так как помещение в момент строительства здания не планировалось использовать для таких целей, то единственным решением по принятию мер коллективной защиты от производственного шума является использование акустического экрана или звукоизолирующего кожуха [26].

В качестве индивидуальных средств защиты от шума специалистом могут быть использованы специальные противозумные наушники, которые обезопасят пользователя от вредного воздействия шумов и помогут сделать условия работы более комфортными [26].

#### **4.1.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света**

Освещение рабочего места специалиста, работающего за учебным стендом «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой» складывается из естественного и искусственного освещения. Естественное освещение достигается установкой оконных проемов с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 1,2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5 % на остальной территории [26].

Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 указаны в таблице 36 [27].

Таблица 36. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО е <sub>н</sub> , %		КЕО е <sub>н</sub> , %		Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К <sub>п</sub> , %, не более	
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении	При общем освещении			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы	Г – 0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300	40	15
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г – 0,8 Экран монитора: В – 1,2	3,5 -	1,2 -	2,1 -	0,7 -	500 -	300 -	400 200	15 -	10

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминесцентными лампами типа ЛБ. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться линиями (прямыми или прерывающимися) так, чтобы при разном положении машин они были параллельно линии зрения пользователя. Защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов [26].

В утреннее и вечернее время вводится общее искусственное освещение. Основными источниками искусственного освещения являются лампы белого света ЛБ-20.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 в помещениях для работы за ПК следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Выполним расчет естественного освещения. Расчет производится согласно СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение». Рабочая аудитория имеет размеры 6 x 5 x 2,5 м, в которой установлены 2 окна размером 1,6 x 2,2 м. Освещение боковое, одностороннее, выделение пыли и других аэрозолей допустимо с концентрацией не более 5 мг/м<sup>3</sup>.

Итак, зная размеры окон и их количество, можем рассчитать эквивалентную площадь световых проемов по формуле (25):

$$S_{\text{экв}} = N \cdot S_{\text{окна}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 2,2 = 7,04 \text{ м}^2. \quad (25)$$

Площадь помещения найдем из размеров аудитории по формуле (26):

$$S = 6 \cdot 5 = 30 \text{ м}^2. \quad (26)$$

Далее также будут применены следующие величины [28,29]:

а)  $n_0 = 9$  – световая характеристика окна, зависящая от глубины помещения, выступа окна и соотношения длин сторон;

б)  $K_{3д} = 1,2$  – коэффициент, учитывающий уменьшение КЕО от затемнения противостоящим зданием;

в)  $r_1 = 3$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от внутренних поверхностей;

г)  $t_0$  – общий коэффициент светопропускания, вычисляющийся как

$$д) \quad t_0 = t_1 \cdot t_2 \cdot t_3 \cdot t_4 = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,27,$$

где:

$t_1 = 0,8$  - зависит от вида светопропускающего материала;

$t_2 = 0,6$  - зависит от вида проема;

$t_3 = 0,7$  - зависит от степени загрязнения светопропускающего материала;

$t_4 = 0,8$  - зависит от несущих конструкций.

Рассчитаем фактический коэффициент естественного освещения (КЕО) по формуле (27):

$$\text{КЕО}_\phi = \frac{S_{\text{экв}} \cdot t_0 \cdot r_1 \cdot 100}{S \cdot n_0 \cdot K_{3д}} = \frac{7,04 \cdot 0,27 \cdot 3 \cdot 100}{30 \cdot 9 \cdot 1,2} = 1,76. \quad (27)$$

Получили, что фактический коэффициент естественного освещения соответствует норме согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [27].

Рассчитаем фактическое искусственное освещение. Как уже говорилось, основными источниками искусственного освещения являются лампы белого света ЛБ-20 в количестве  $N = 16$  шт. Световой поток одной лампы  $F = 1180$  лм. Коэффициент запаса примем равным  $k = 1,1$ , а коэффициент минимальной освещенности  $z = 1,1$ .

Для начала найдем индекс помещения по формуле (28):

$$i = \frac{S}{h_p \cdot (a + b)}, \quad (28)$$

где:

$S$  – площадь помещения;

$a$  и  $b$  – длина и ширина помещения;

$h_p$  – расчетная высота, равная:

$$h_p = h - h_c - h_{p.п}, \quad (29)$$

где:

$h$  – высота помещения;

$h_c = 0,2$  м – расстояние от перекрытия до светильника;

$h_{p.п} = 1$  м – расстояние от пола до рабочей поверхности.

Отсюда, индекс помещения равен:

$$i = \frac{S}{(h - h_c - h_{p.п}) \cdot (a + b)} = \frac{30}{(2,5 - 0,2 - 1) \cdot (6 + 5)} = 2,09. \quad (30)$$

Зная индекс помещения, определим коэффициент использования светового потока по существующей таблице [28]. Коэффициент использования светового потока равен  $n = 0,62$ .

Теперь воспользуемся формулой (31) и рассчитаем фактическое искусственное освещение:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n}{S \cdot z \cdot k} = \frac{1180 \cdot 16 \cdot 0,62}{30 \cdot 1,1 \cdot 1,1} = 322,46 \text{ лк.} \quad (31)$$

Таким образом, из рассчитанных данных видно, что использование имеющегося числа газоразрядных ламп достаточно для соблюдения норм искусственной освещенности на рабочем месте согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [27].

#### **4.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Основным источником электромагнитных излучений на рабочем месте является ЖК-монитор персонального компьютера.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Время допустимого пребывания в рабочей зоне в часах составляет  $T=50/E-2$ . Работа в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов [30].

Безопасные уровни излучений также регламентируются нормами Госкомсанэпиднадзора «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (СанПиН 2.2.4.1340-03) [31].

В таблицах 37 и 38 представлены предельно-допустимые уровни напряженности (ПДУ) на рабочих местах и допустимые уровни электромагнитных полей в соответствии с СанПиН 2.2.4.1191-03 [30].

Таблица 37. ПДУ электромагнитных полей на рабочем месте по СанПиН 2.2.4.1191-03

Время воздействия за рабочий день, мин	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности кА/м	ПДУ магнитной индукции мТл	ПДУ напряженности кА/м	ПДУ магнитной индукции мТл
0 - 10	24	30	40	50
11 - 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

Таблица 38. ПДУ электромагнитных полей на рабочем месте по СанПиН 2.2.4.1191-03

Наименование параметра	Значение
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг дисплея до электрической составляющей, В/м, не более: - в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц - в диапазоне частот 2 – 400 кГц	25 2,5
Плотность магнитного потока на расстоянии 50 см вокруг дисплея, нТл, не более: - в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц - в диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 25
Поверхностный электростатический потенциал, В, не более	500

Мероприятия по снижению излучений включают:

- сертификацию ПЭВМ и аттестацию рабочих мест;
- применение экранов и фильтров;
- организационно-технические мероприятия;
- применение средств индивидуальной защиты путем экранирования пользователя ПЭВМ целиком или отдельных зон его тела;
- использование и применение профилактических напитков;
- использование иных технических средств защиты от патогенных излучений [32].

#### 4.1.4. Микроклимат

Мероприятия по доведению микроклиматических показателей до нормативных значений включаются в комплексные планы организаций. Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения [31] (табл. 39, 40). Выполняемая работа относится к категории легкая (1б).

Таблица 39. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21 - 23	20 – 24	60-40	0,1
Теплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 40. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 - 75	0,1	0,2
Теплый	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3

В данном случае температура воздуха и температура поверхностей составляют 22 °С и 21 °С при относительной влажности 45 % в холодный период года; 24 °С и 23 °С при относительной влажности воздуха 50 % в теплый период года, что соответствует нормам [33].

#### 4.1.5. Электрический ток

Помещение, где расположены персональные вычислительные машины, относится к помещениям без повышенной опасности [34].

Однако, опасное и вредное воздействия на людей электрического тока и электрической дуги проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний [26]. К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током следует отнести:

- при производстве монтажных работ необходимо использовать только исправный инструмент, аттестованный службой КИПиА;

- с целью защиты от поражения электрическим током, возникающим между корпусом приборов и инструментом при пробое сетевого напряжения на корпус, корпуса приборов и инструментов должны быть заземлены;

- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели должны быть запрещены;

- все работы по устранению неисправностей должен производить квалифицированный персонал;

- необходимо постоянно следить за исправностью электропроводки [34].

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранного фильтра.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока и клавиатуры, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя компьютера. Для снижения величин токов статического

электричества используются нейтрализаторы, местное и общее увлажнение воздуха, использование покрытия полов с антистатической пропиткой.

#### **4.2. Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды сводится к устранению отходов бытового мусора и отходам жизнедеятельности человека. В случае выхода из строя ПК, они списываются и отправляются на специальный склад, который при необходимости принимает меры по утилизации списанной техники и комплектующих [35].

Одним из самых распространенных источников ртутного загрязнения являются вышедшие из эксплуатации люминесцентные лампы. Каждая такая лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, а также другие приборы, содержащие ртуть, представляют собой опасный источник токсичных веществ [35].

Утилизация ламп предполагает передачу использованных ламп предприятиям – переработчикам, которые с помощью специального оборудования перерабатывают вредные лампы в безвредное сырье – сорбент, которое в последующем используют в качестве материала для производства, например тротуарной плитки.

Под хранением отходов понимается временное размещение их в специально отведенных для этого местах или объектах до их утилизации [35]. Отработанные люминесцентные лампы, согласно Классификатору отходов ДК 005-96, утвержденному приказом Госстандарта № 89 от 29.02.96 г., относятся к отходам, которые сортируются и собираются отдельно, поэтому утилизация люминесцентных ламп и их хранение должны отвечать определенным требованиям.

#### **4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Наиболее типичной ЧС для помещения, в котором осуществляется работа за учебным стендом, является пожар. Данная ЧС может произойти в

случае замыкания электропроводки оборудования, обрыву проводов, не соблюдению мер пожаробезопасности и т.д. [34].

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; должна быть исправна электрическая проводка осветительных приборов и электрооборудования;

- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения [34].

Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с нормами:

- пенный огнетушитель ОП-10 – 1 шт;
- углекислотный огнетушитель ОУ-5 – 1 шт.

Помещение и этаж оборудованы следующими средствами оповещения:

- световая индикация в коридорах этажа;
- звуковая индикация в виде громкоговорителя;
- пассивными датчиками задымленности.

Для того чтобы избежать возникновения пожара необходимо проводить следующие профилактические работы, направленные на устранение возможных источников возникновения пожара:

- периодическая проверка проводки;
- отключение оборудования при покидании рабочего места;
- проведение инструктажа работников о пожаробезопасности.

Чтобы увеличить устойчивость рабочего помещения к ЧС необходимо устанавливать системы противопожарной сигнализации, реагирующие на дым и другие продукты горения, установка огнетушителей, обеспечить помещение и проинструктировать рабочих о плане эвакуации из здания, а

также назначить ответственных за эти мероприятия. Два раза в год (в летний и зимний период) проводить учебные тревоги для отработки действий при пожаре. В ходе осмотра рабочего помещения были выявлены системы, сигнализирующие о наличии пожара или задымленности помещения и наличие огнетушителей.

В случае возникновения таких ЧС как пожар, необходимо предпринять меры по эвакуации персонала из здания в соответствии с планом эвакуации. При отсутствии прямых угроз здоровью и жизни произвести попытку тушения возникшего возгорания огнетушителем. В случае потери контроля над пожаром, необходимо эвакуироваться вслед за сотрудниками по плану эвакуации и ждать приезда специалистов. При возникновении пожара должна сработать система пожаротушения, издав предупредительные сигналы, и передав на пункт пожарной станции сигнал о ЧС. В случае если система не сработала по каким-либо причинам, необходимо самостоятельно произвести вызов пожарной службы по телефону 101, сообщить место возникновения ЧС и ожидать приезда специалистов [34].

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

Требования к организации рабочих мест пользователей:

– Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам»;

– Конструкция рабочей мебели (рабочий стол, кресло, подставка для ног) должна обеспечивать возможность индивидуальной регулировки соответственно росту пользователя и создавать удобную позу для работы.

Вокруг ПК должно быть обеспечено свободное пространство не менее 60-120см;

На уровне экрана должен быть установлен оригинал-держатель.

## **Заключение**

В результате выполненной работы был разработан учебный стенд «Программно-аппаратный комплекс стабилизации температуры в химическом реакторе с водяной рубашкой», который можно использовать в ряде образовательных дисциплин при проведении лабораторных работ. Он помогает изучить физические эффекты, возникающие в химических реакторах, а также с его помощью можно апробировать смоделированные методы управления.

Были разработаны схемы, позволяющие изучить состав учебного стенда, его структуру, а также понять назначение тех или иных точек автоматизации.

Автоматизированная система химического реактора была спроектирована на базе датчиков температуры ОВЕН ДТС015-И, датчиков тока АМЕ-8821-5, насосов, нагревателя, промышленного контроллера ОВЕН ПЛК160, а также средств визуализации программного обеспечения Codesys v2.3.

Результатом работы также стало получение математической модели объекта, достаточно точно описывающей процессы теплообмена, проходящие в физической модели химического реактора, и настройка каскадного регулятора, результаты работы которого лежат в пределах погрешностей средств измерений.

### Список публикаций

1. В.В. Малышев, Д.В. Бутузов, А.А. Шагаев, И.А. Тутов. Проектирование аналогового ПИД-регулятора // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: 1 том / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2014. – С. 285-286.

2. Д.В. Бутузов, И.А. Тутов. Разработка испытательного стенда нагревательной установки с водяной рубашкой // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: 1 том / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2016. – С. 223-224.

3. Д.В. Бутузов, И.А. Тутов. Учебный стенд с тепловым объектом пассивного охлаждения // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве AS`2015: Труды X Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2015. – С. 363-365.

4. Belyaev A.S., Tutov I.A., Butuzov D.V. Analysis of noisy signal restoration quality with exponential moving average filter // XII Международная IEEE Сибирская конференция по управлению и связи (SIBCON-2016) / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

## Список используемых источников

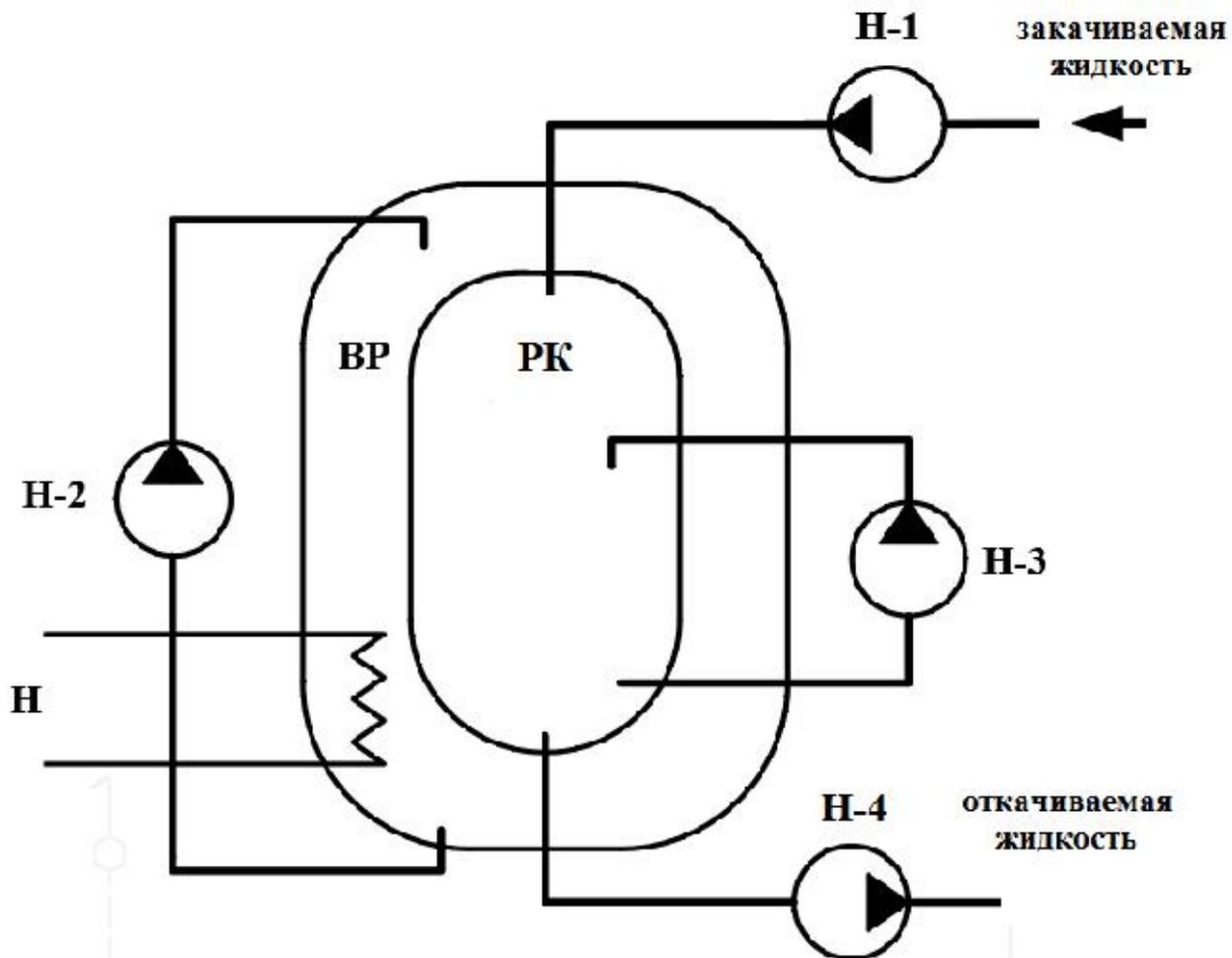
1. Дерябкин И.В. Вариационный метод синтеза алгоритмов параметрической идентификации динамических систем с использованием регуляризации. // «Системный анализ, управление и обработка информации». Таганрог, 2013.
2. Соловьев П.А., Кочетыгов И.С, Тутов И.А. Разработка испытательного стенда нагревательной установки для отработки навыков синтеза и настройки цифровых регуляторов. // Научн.-практ.конф. «Молодежь и современные информационные технологии» (13-16 ноября 2013г, г. Томск). – Томск, 2013. – С.288-290.
3. Бутузов Д.В., Тутов И.А. Разработка испытательного стенда нагревательной установки с водяной рубашкой. // Научн.-практ.конф. «Молодежь и современные информационные технологии» (9-13 ноября 2015г, г. Томск). - Томск, 2016. - С.223-224.
4. Химический реактор. URRL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Химический\\_реактор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Химический_реактор)
5. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.
6. ГОСТ 21.208-2013 Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. Изд. Стандартиформ.- Москва, 2013.
7. American National Standart ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification. - 2009.
8. Спецификация ПЛК ОВЕН160. URRL: [http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij\\_logicheskij\\_kontroller\\_oven\\_plk160/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk160/opisanie)
9. Спецификация ПЛК DVP-EX. URRL: <http://www.delta-electronics.info/DVPEX>
10. Спецификация ПЛК Segnetics Pixel. URRL: <http://segnetics.com/pixel>

11. Спецификация датчика температуры WIKA TR10-D. URRL:  
[http://www.wika.ru/tr10\\_d\\_ru\\_ru.WIKA](http://www.wika.ru/tr10_d_ru_ru.WIKA)
12. Спецификация датчика температуры Метран-270. URRL:  
<http://www2.emersonprocess.com/ru-RU/brands/Metran/products/Temperature/duvs/270/Pages/index.aspx>
13. Спецификация датчика температуры ОВЕН ДТС015-И. URRL:  
[http://www.owen.ru/catalog/termopreobrazovateli\\_soprotivleniya\\_dts\\_tipa\\_tsp\\_tsm/87380592](http://www.owen.ru/catalog/termopreobrazovateli_soprotivleniya_dts_tipa_tsp_tsm/87380592)
14. Спецификация датчика тока АМЕ-8821-5. URRL:  
[http://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION\\_ID=13700&ELEMENT\\_ID=6467389](http://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=13700&ELEMENT_ID=6467389)
15. Спецификация датчика тока ДИМ-3. URRL:  
<http://analytservis.narod.ru/opisanie/dim200a.html>
16. Спецификация насоса. URRL: <http://www.gruppa-omega.ru/price-list/16-jelektronasos-omyvatelja-stekol.html>
17. Назначение и конструкция контрольных кабелей. URRL:  
[http://www.podolskkabel.ru/catalog/kvvgngals\\_kvvgengals](http://www.podolskkabel.ru/catalog/kvvgngals_kvvgengals)
18. Закон Ньютона-Рихмана. URRL:  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Ньютон-Рихман>
19. Методы настройки ПИД-регулятора. URRL:  
[http://www.bookasutp.ru/Chapter5\\_5.aspx](http://www.bookasutp.ru/Chapter5_5.aspx)
20. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
21. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
22. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175с.
23. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

24. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс].  
– Режим доступа:<http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>.
25. СН2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
26. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. Под ред. Э.А. Арустамова / 10-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Дашков и К°», 2006. — 476 с.
27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
28. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».
29. Назаренко, Ольга Брониславовна. Безопасность жизнедеятельности : учебное пособие / О. Б. Назаренко, Ю. А. Амелькович; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 3-е изд., перераб. и доп. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — 177 с
30. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»
31. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
32. Журнал «Нормативные акты по охране труда» №1 – 2005. «Инструкция по организации работ, охране труда и экологической безопасности при работе на ПЭВМ (ПК)»
33. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
34. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
35. ГОСТ 17.4.3.04-85 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения»

Перв. примен.

Справ. №



РК	ВР	Н-1	Н-2	Н-3	Н-4	Н
Рабочая камера	Водяная рубашка	Насос для закачки	Циркуляционные насосы		Насос для откачки	Нагреватель

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

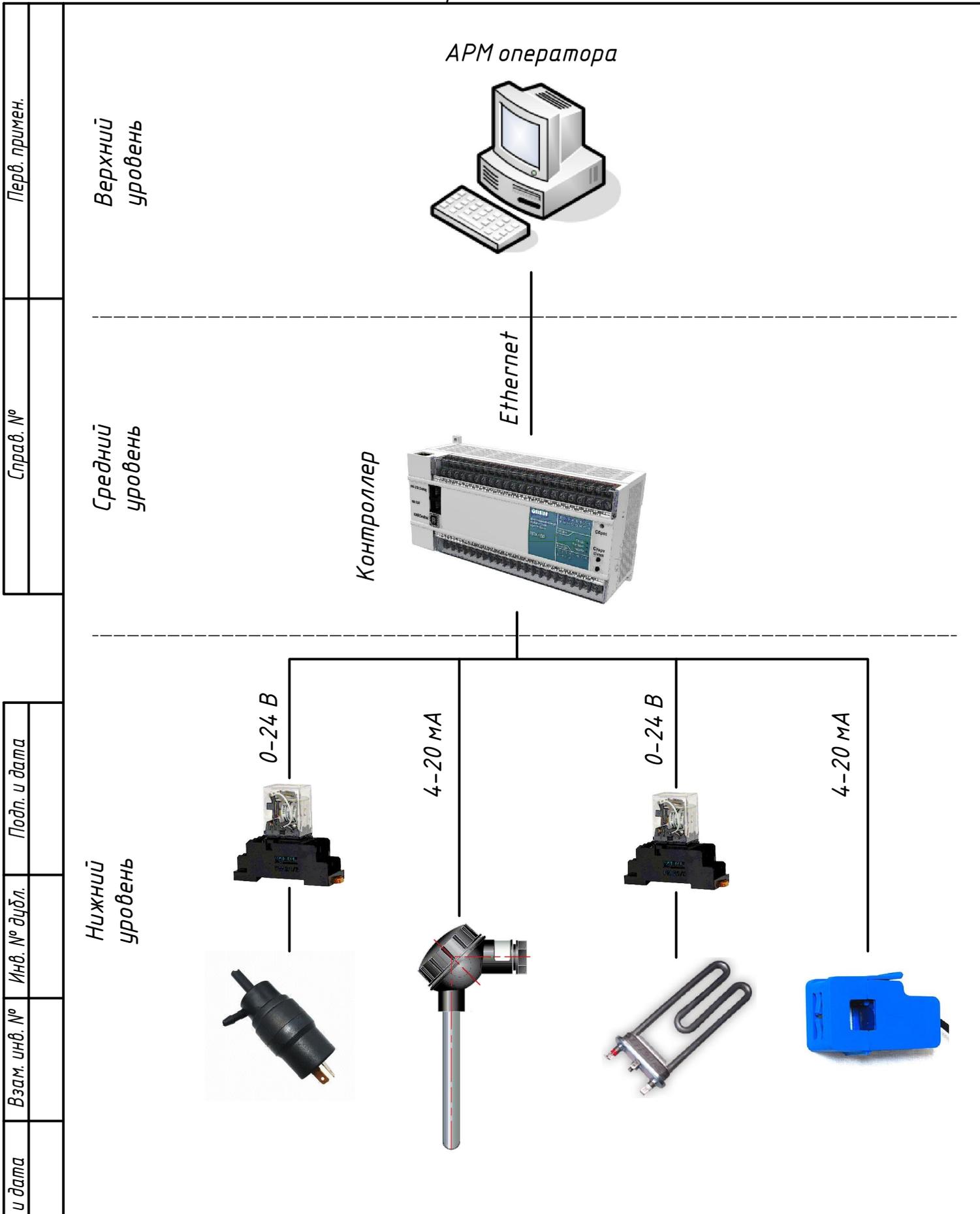
ФЮРА.425280.001.ЭП.01

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бутузов Д.В.		13.05.2016
Пров.		Тутов И.А.		
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

Функциональная схема технологического процесса

Лит.	Лист	Листов
У		1

ТПУ ИК Гр. 8Т21



Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<p align="center"><b>ФЮРА.425280.001.ЭП.02</b></p> <p align="center"><b>Структурная схема АС</b></p>		
Инв. № подл.	Разраб.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Взам. инв. №	Пров.	Инв. № дубл.	Бутузов Д.В.		31.05.2016	У		1
Подп. и дата	Нач.отд.		Тутов И.А.			ТПУ ИК Гр. 8Т21		
Подп. и дата	Н. контр.							
Подп. и дата	Утв.							

ФЮРА.425280.001.ЭП.03

Перв. примен.

Справ. №

А

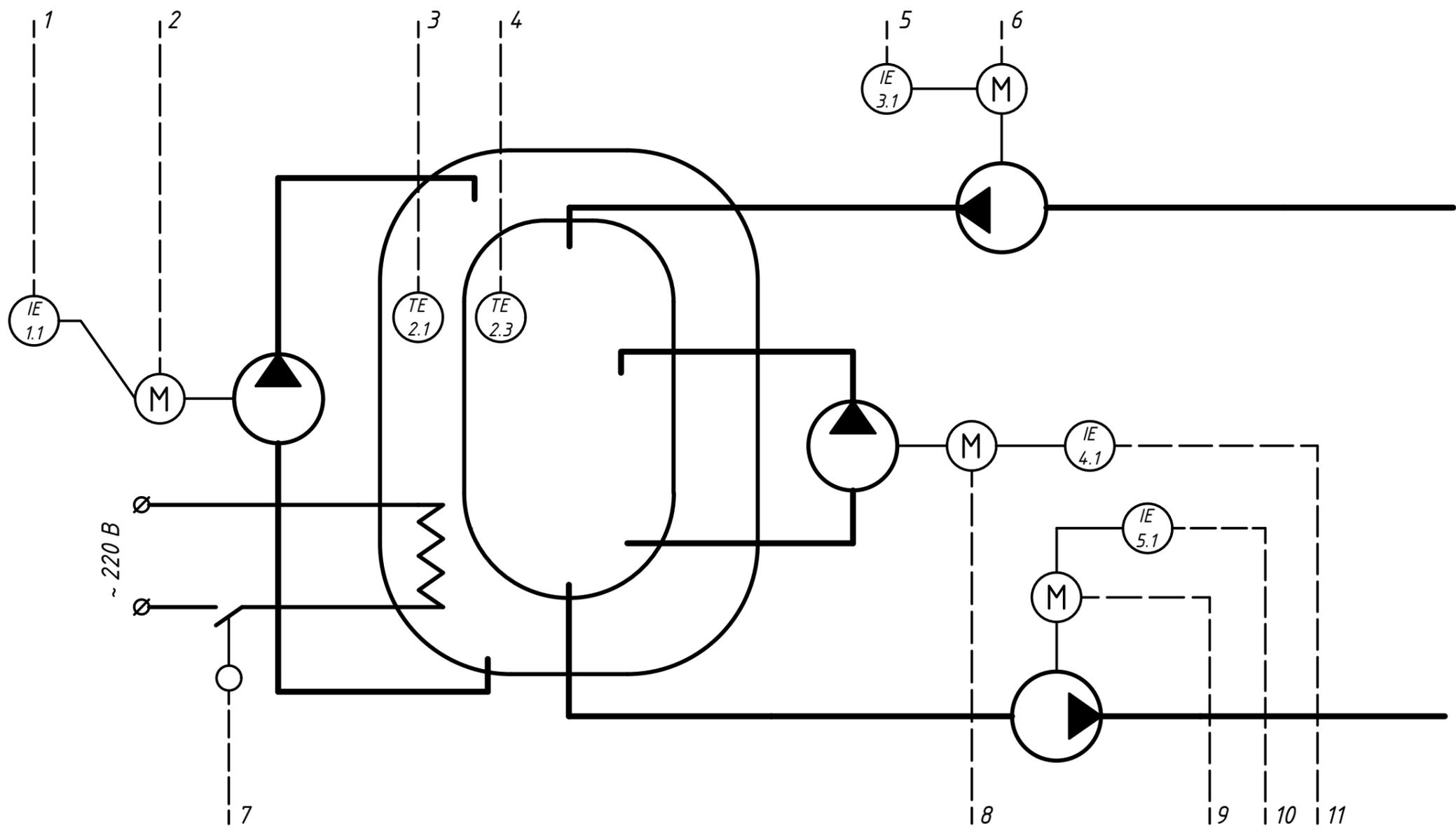
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.  
ФЮРА.425280.001.ЭП.03



Приборы по месту		0...5 А 1	Вкл/Выкл 2	Вкл/Выкл 7	-50...150 °С 3	-50...150 °С 4	0...5 А 5	Вкл/Выкл 6	0...5 А 11	Вкл/Выкл 8	0...5 А 10	Вкл/Выкл 9
Щит КИПиА		IT 1.2	HL1	NS 1.4	TRC 2.5	TT 2.2	TT 2.4	NS 3.4	IT 4.2	NS 4.4	IT 5.2	NS 5.4
Контрольный уровень		4...20 мА			4...20 мА	4...20 мА		4...20 мА			4...20 мА	
Измерение		●			●	●		●			●	
Управление			●					●		●		●
Сигнализация		●						●			●	
SCADA		●			●	●		●			●	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.425280.001.ЭП.03

Лист

ФЮРА.425280.001.ЭП.04

Перв. примен.

Справ. №

A

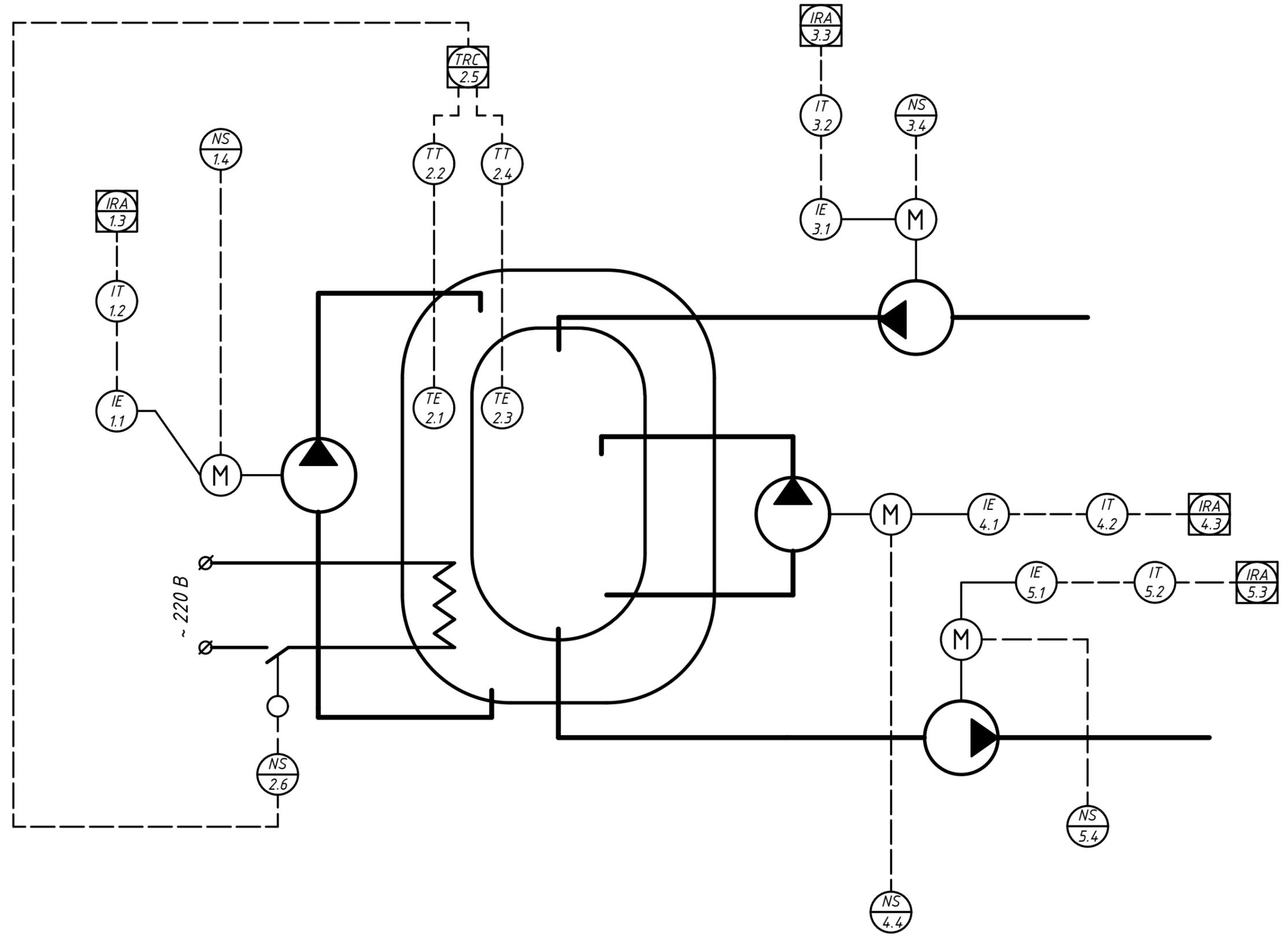
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



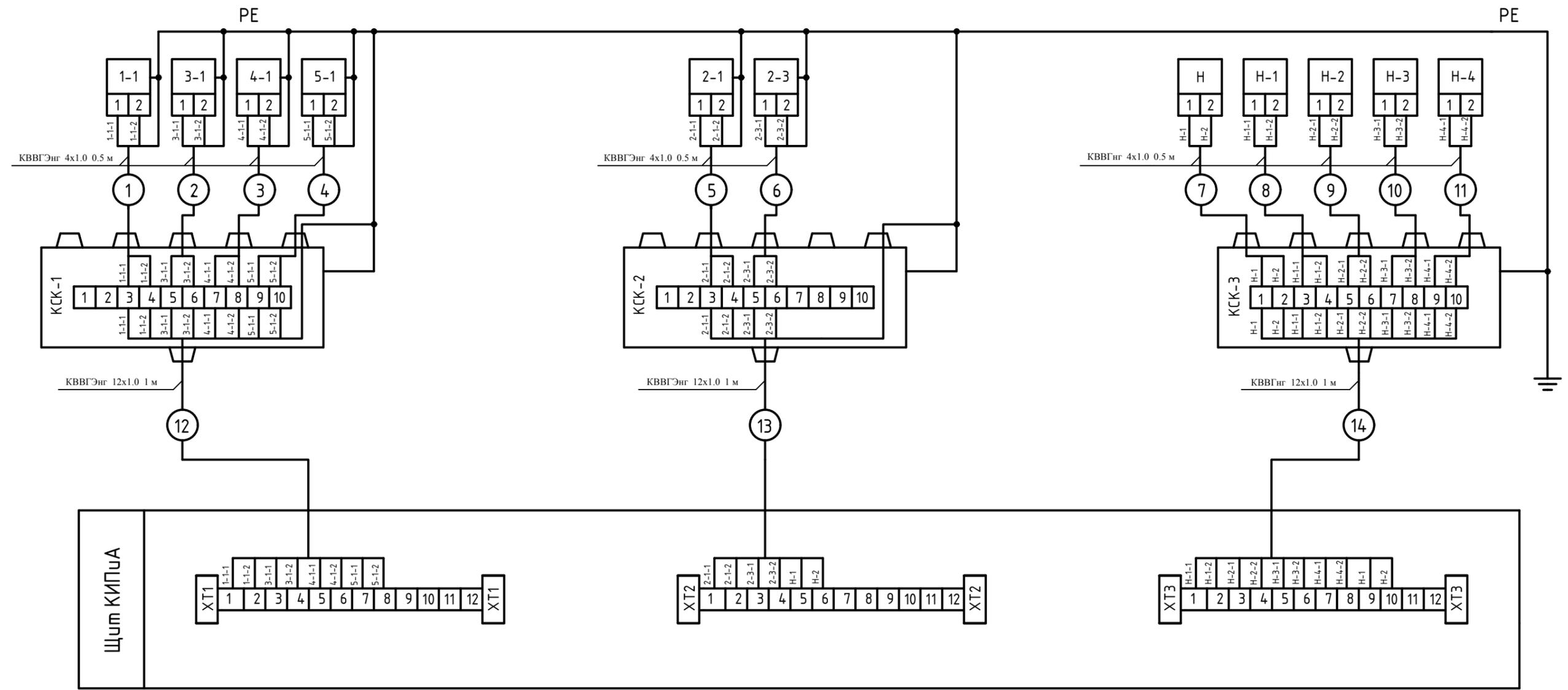
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА.425280.001.ЭП.04

Лист

ФЮРА.425280.001.ЭП.05

	Температура		Ток			Управление					
Место установки	Рабочая камера	Водяная рубашка	Циркуляционный насос раб.камеры	Циркуляционный насос рубашки	Насос закачки	Насос откачки	Рабочая камера	Рабочая камера	Рабочая камера	Водяная рубашка	Водяная рубашка
Устройство	ОВЕН ДТС015-И		АМЕ-8821-5			Насос					Нагреватель
Позиция	2.3	2.1	4.1	1.1	3.1	5.1	Н-1	Н-3	Н-4	Н-2	Н



Перв. примен.

Справ. №

А

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Бутузов Д.В.			12.05.2016
Пров.	Тупов И.А.			
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

ФЮРА.425280.001.ЭП.05

Схема внешних проводов

Лит.	Лист	Листов
У		1

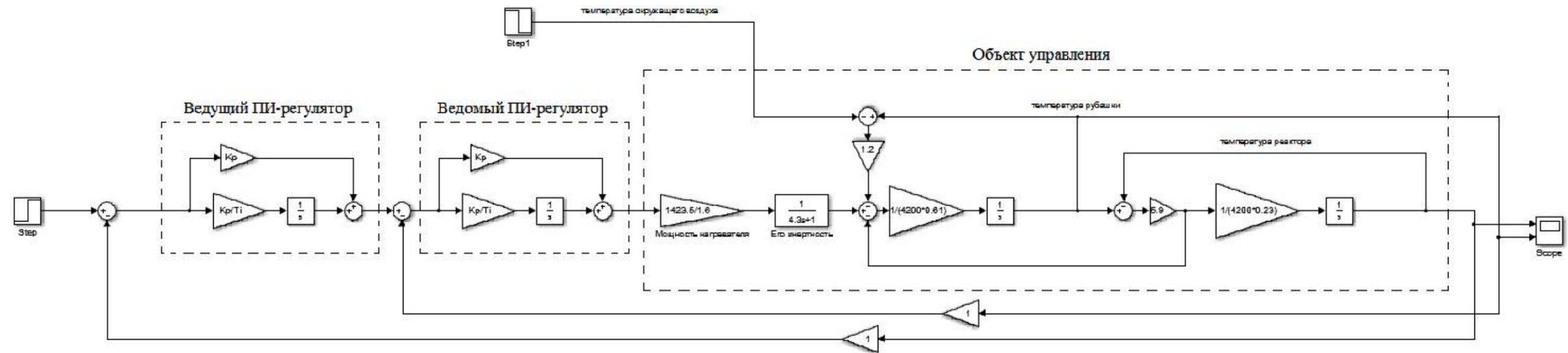
ТПУИК Гр. 8Т21

ФЮРА.425280.001.ЭП.06

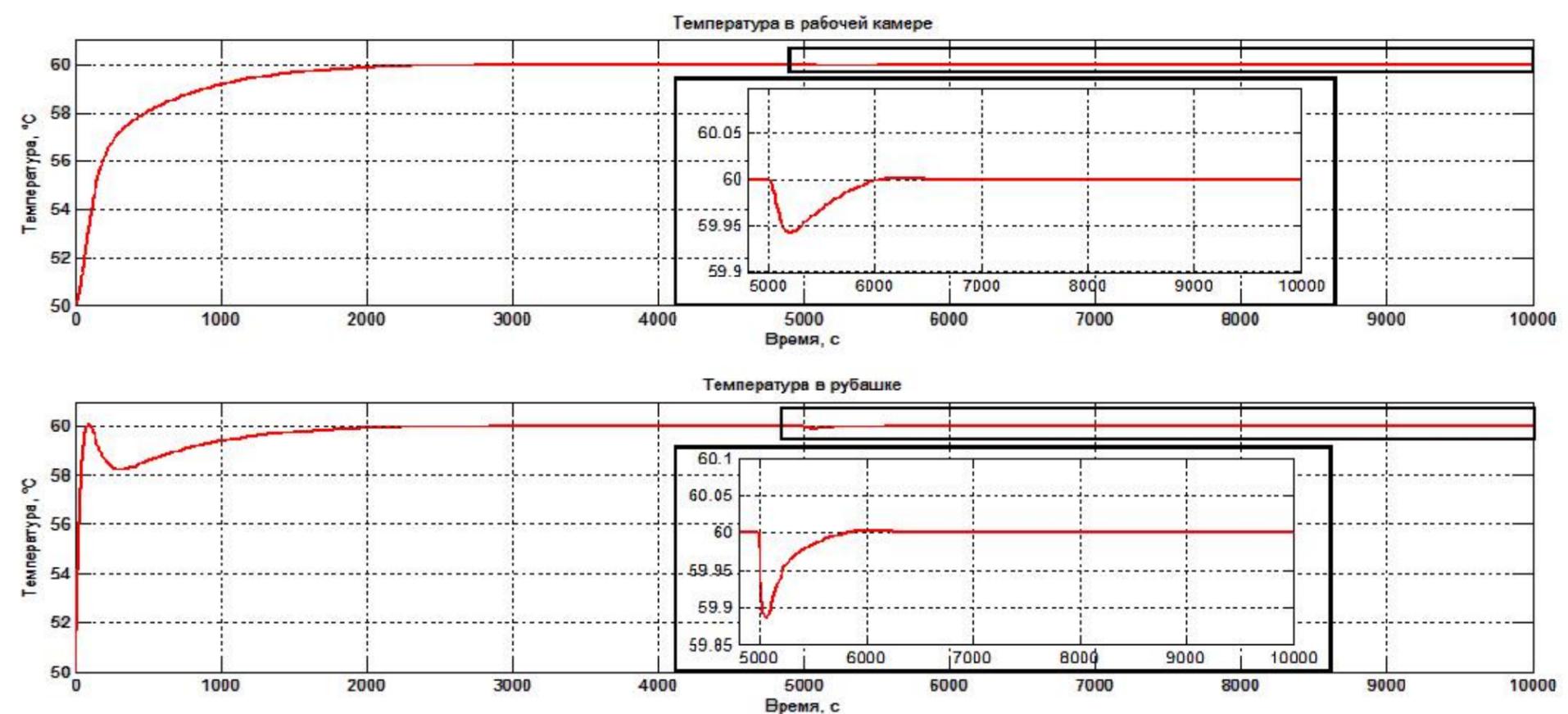
Перв. примен.

Справ. №

Структурная схема САР



Результаты моделирования



A

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бутузов Д.В.		15.05.2016
Пров.		Тухов И.А.		
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

ФЮРА.425280.001.ЭП.06

Структурная схема САР

Лит.	Лист	Листов
У		1

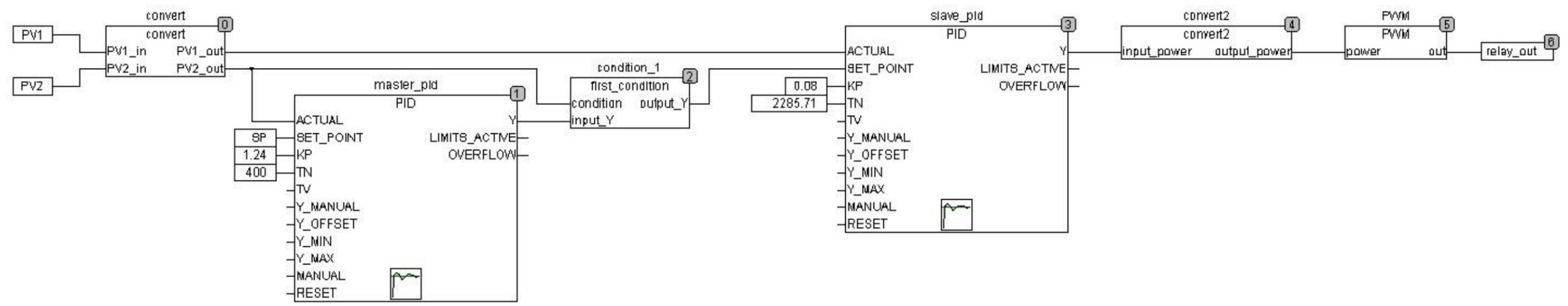
ТПУИК Гр. 8Т21

ФЮРА.425280.001.ЭП.07

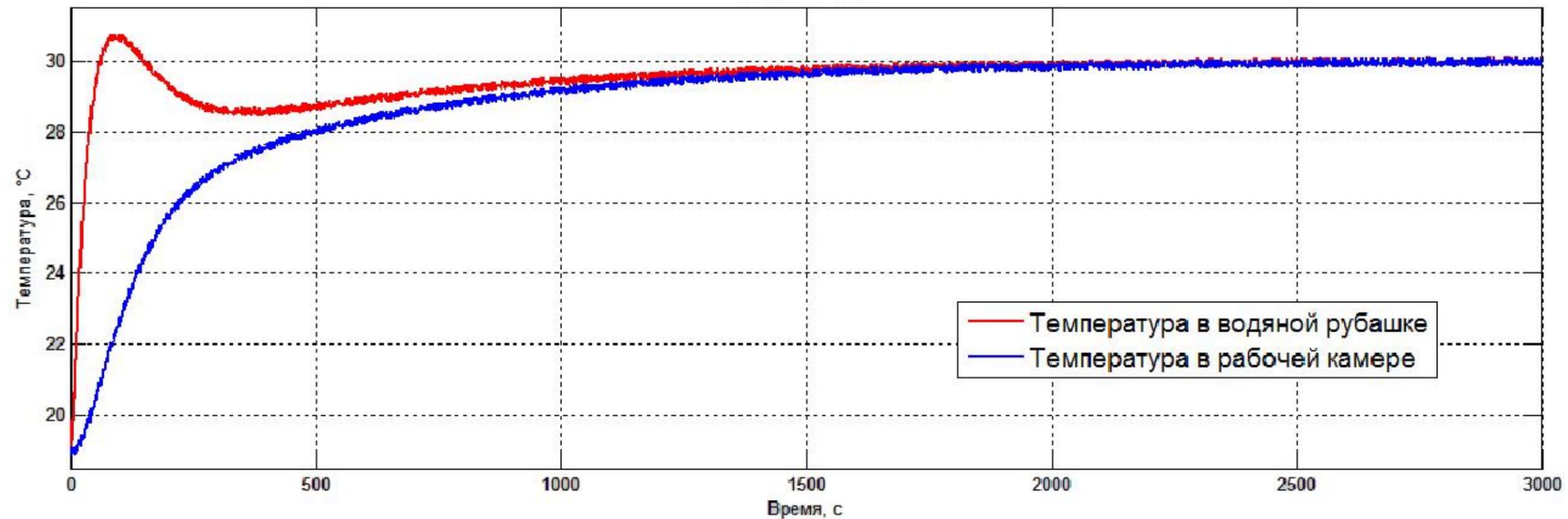
Перв. примен.

Справ. №

Программа в Codesys



Переходный процесс



— Температура в водяной рубашке  
 — Температура в рабочей камере

A

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бутузов Д.В.		20.05.2016
Пров.		Тухтов И.А.		
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

ФЮРА.425280.001.ЭП.07

Программа в Codesys

Лит.	Лист	Листов
У		1

ТПУИК Гр. 8Т21

Перв. примен.

Справ. №

Наименование сигнала	Идентификатор	Диапазон измерения	Единица измерения	Тип сигнала
Температура в рабочей камере	PV2	-50...+150	°C	4...20 mA
Температура в водяной рубашке	PV1	-50...+150	°C	4...20 mA
Ток потребления 1-го насоса	current_1	0...5	A	4...20 mA
Ток потребления 2-го насоса	current_2	0...5	A	4...20 mA
Ток потребления 3-го насоса	current_3	0...5	A	4...20 mA
Ток потребления 4-го насоса	current_4	0...5	A	4...20 mA
Состояние насоса 1	runp_1	Вкл/выкл	-	0...24 В
Состояние насоса 2	runp_2	Вкл/выкл	-	0...24 В
Состояние насоса 3	runp_3	Вкл/выкл	-	0...24 В
Состояние насоса 4	runp_4	Вкл/выкл	-	0...24 В
Состояние нагревателя	relay_out	Вкл/выкл	-	0...24 В

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бутузов Д.В.		01.06.2016
Пров.		Тутов И.А.		
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

**ФЮРА.425280.001.ЭП.08**

**Перечень вход/выходных сигналов**

Лит.	Лист	Листов
у		1

ТПУ ИК Гр. 8Т21

ФЮРА.425280.001.ЭП.09

Перв. примен.

Справ. №

A

Подп. и дата

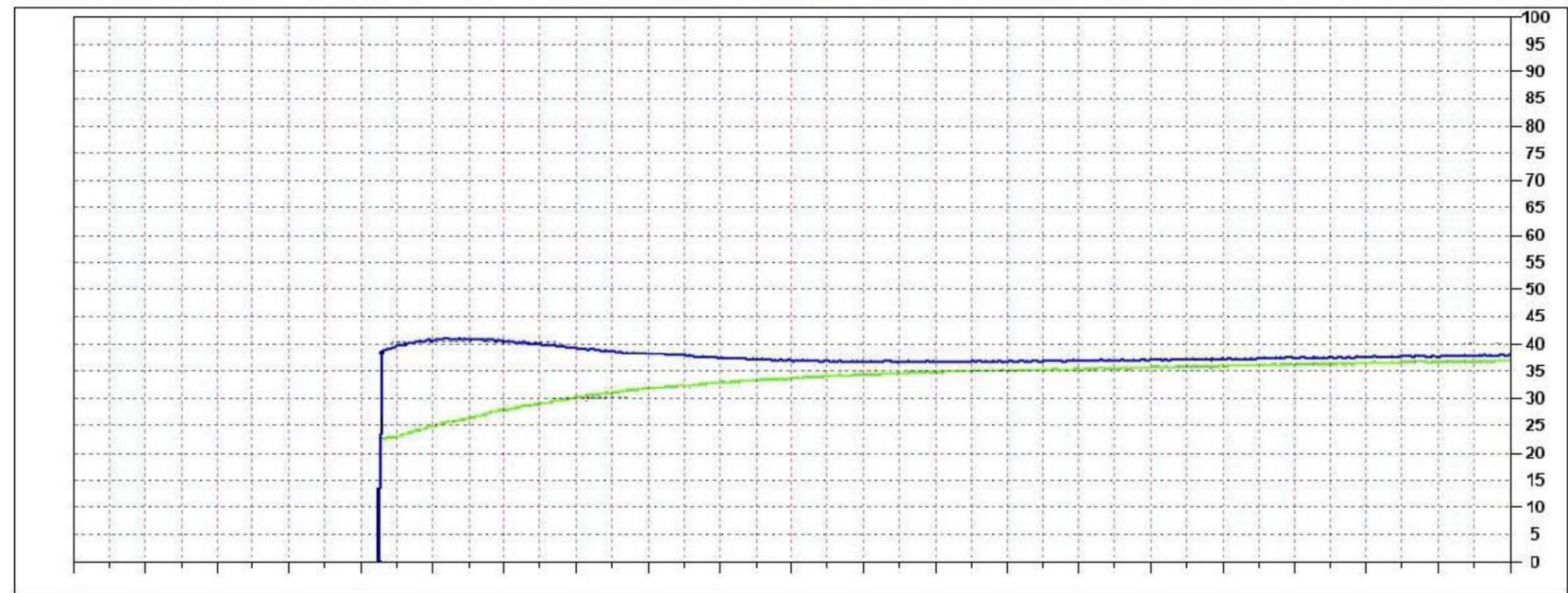
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

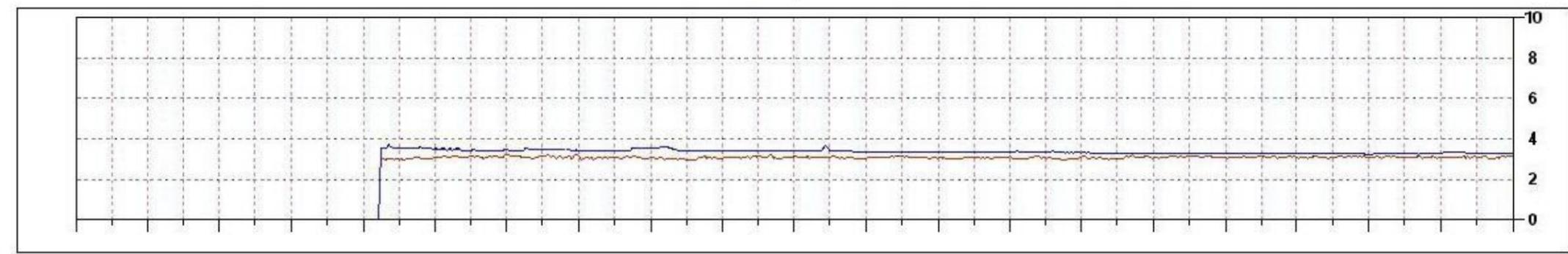
Подп. и дата

Инв. № подл.

### Температура



### Ток потребления



Насос 1 ■
 Насос 2 ■
 Насос 3 ■
 Насос 4 ■

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бутузов Д.В.		31.05.2016
Пров.		Тупов И.А.		
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.				

ФЮРА.425280.001.ЭП.09

Экранная форма

Лит.	Лист	Листов
У		1

ТПУИК Гр. 8Т21