

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Система автоматического регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой |

УДК 681.515:66.023.2:519.876:530.17

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 158Т82 | Хэ Цинчжоу | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР | Суходоев Михаил Сергеевич | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Былкова Татьяна Васильевна | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Авдеева Ирина Ивановна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**Запланированные результаты обучения по направлению
«Автоматизация технологических процессов и производств»**

| Код компетенции | Наименование компетенции |
|---|--|
| Универсальные компетенции | |
| УК(У)-1 | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач |
| УК(У)-2 | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений |
| УК(У)-3 | Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде |
| УК(У)-4 | Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах) |
| УК(У)-5 | Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально историческом, этическом и философском контекстах |
| УК(У)-6 | Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни |
| УК(У)-7 | Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности |
| УК(У)-8 | Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| ОПК(У)-1 | Способность применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования при проектировании и конструировании систем и комплексов автоматического управления, а также в инженерной деятельности, связанной с технологией производства |
| ОПК(У)-2 | Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов |
| ОПК(У)-3 | Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности |
| ОПК(У)-4 | Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения |
| ОПК(У)-5 | Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью |
| Профессиональные компетенции | |

| | |
|----------------|--|
| ПК(У)-1 | 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 |
| ПК(У)-2 | Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. |
| ПК(У)-3 | 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. |
| ПК(У)-4 | Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений. |
| ПК(У)-5 | Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам |
| ПК(У)-6 | Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств. |
| ПК(У)-7 | Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем |
| ПК(У)-8 | Уметь выбирать и использовать подходящее программно–техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств. |

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Уровень образования – Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения – осенний/весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| Бакалаврская работа |
|---------------------|

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 18.06.2022 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 15.06.2022 | Основная часть | 60 |
| 10.06.2022 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 20 |
| 10.06.2022 | Социальная ответственность | 20 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Суходоев Михаил Сергеевич | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

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

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------|
| 158Т82 | Хэ Цинчжоу |

Тема работы:

| |
|--|
| Система автоматического регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 18.06.2022 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Испытательная установка модели химического реактора с водяной рубашкой, используемая в качестве средства для исследования и апробирования методов управления, применяемых при регулировании температуры в химических реакторах.</p> <p>Цель работы: Разработать испытательную установку для модельного химического реактора с водяной рубашкой, получить математическую модель объекта управления, изучить и проанализировать алгоритмы управления на основе ПИД-регулятора.</p> |
|---|---|

| | |
|--|---|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Испытательная установка модели химического реактора с водяной рубашкой; 2. Математическая модель объекта; 3. ПИД-регулятор; Требования к качествам переходного процесса: минимально возможное время переходного процесса без перерегулирования 4. Результаты выполнения работы. |
|--|---|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Схема технологического процесса |
|--|--|

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

| Раздел | Консультант |
|----------------------------|---|
| Финансовый менеджмент | Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП |
| Социальная ответственность | Авдеева Ирина Ивановна, Старший преподаватель |
| | |
| | |

| |
|--|
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> |
| |
| |
| |

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Суходоев Михаил Сергеевич | к. т. н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 158T82 | Хэ Цинчжоу | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|------------|
| Группа | ФИО |
| 158Т82 | Хэ Цинчжоу |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|---|
| Школа | ИШИТР | Отделение школы (НОЦ) | ОАР |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | <i>15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств</i> |

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

| | |
|---|---|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Стоимость ресурсов определялась по средней рыночной стоимости, и в соответствии с окладами сотрудников организации. |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | 30% районный коэффициент, коэффициент дополнительной заработной платы 12%; накладные расходы 16%. |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | 30% отчисления во внебюджетные фонды |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | Представить оценку коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения |
| <i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | Разработать план научно-исследовательских работ и рассчитать затраты. |
| <i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | Определить интегральный показатель эффективности научного исследования |

Перечень графического материала :

| |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Анализ конкурентных технических решений</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. График проведения и бюджет НИ</i> <i>4. Оценка ресурсной, финансовой эффективности НИ</i> |
|---|

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСГН ШБИП | Былкова Татьяна Васильевна | канд.экон.наук | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 158Т82 | Хэ Цинчжоу | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|---|
| Группа 158Т82 | | ФИО Хэ Цинчжоу | |
| Школа | ИШИТР | Отделение (НОЦ) | ОАР |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 15.03.04. Автоматизация технологических процессов и производств |

Тема ВКР:

Система автоматического регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|----------------------|---|
| Введение — | <p><i>Объект исследования: химического реактора</i> <i>Область применения: рабочая зона: лаборатории, требующие контроля температуры, электроприборы с функциями контроля температуры.</i> <i>Размеры помещения: 8*10 м.</i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: в состав испытательного оборудования модели химического реактора с водяной рубашкой входит модель химического реактора с датчиками температуры и нагревательными элементами, модуль питания управления мощностью нагревательных элементов, плата обработки входных сигналов и выдачи выходных сигналов управления, персональный компьютер.</i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: основным устройством для выполнения работы, является персональный компьютер. Эта установка используется в качестве инструмента для изучения и проверки метода управления, используемого в контроле температуры химического реактора.</i></p> |
|----------------------|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения — | <p>1.ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя 2.ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора 3.ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего 4.ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. 5.ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности 6.СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение 7.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) 8.ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ).</p> |
|--|--|

| | |
|--|--|
| | <p>Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» 9.ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; 10.ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места</p> |
| <p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</p> | <p>Опасные факторы: 1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека; 2. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений; 3. Опасность поражения электрическим током 4. Короткое замыкание 5. Статическое электричество Вредные факторы: 1. Повышенный уровень локальной вибрации; 3. Повышенный уровень шума; 4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 5. Монотонность труда, вызывающая монотонию; 6. Длительное сосредоточенное наблюдение. 7. Микроклимат Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: тепловая изоляция трубопроводов, беруши, наушники, настройки регулировки, экран шумоизоляции, вывески, ограждения</p> |
| <p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p> | <p>Воздействие на селитебную зону: отсутствует. Воздействие на литосферу: в виде отходов, возникших при поломке персонального компьютера, люминесцентных ламп и других электроприборов. Также стоит учесть отходы макулатуры. Воздействие на гидросферу: продукты жизнедеятельности персонала. Воздействие на атмосферу: выделение газообразных элементов при работе хим.реактора</p> |
| <p>4. Безопасность в</p> | <p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения,</p> |

| | |
|---|--|
| чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения | цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (обрушение производственного здания или оборудования, пожар) Наиболее актуальная ЧС: возникновение пожара. Наиболее типичная ЧС: пожар вследствие короткого замыкания |
| | Дата выдачи задания для раздела по линейному графику |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Учен ая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Авдеева Ирина Ивановна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 158Т82 | Хэ Цинчжоу | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 69 страницы машинописного текста, 22 таблиц, 18 рисунков, 1 список использованных источников из 23 наименований, 1 альбом графической документации.

Цель работы – разработка системы управления температурой в рабочей камере макета химического реактора, получение математической модели объекта исследования и синтез регулятора, который позволяет достичь заданного значения температуры без перерегулирования и за минимальное время переходного процесса.

В данном проекте была разработана система управления температурой в рабочей камере химического ректора, была получена математическая модель объекта, выполнено моделирование переходных процессов в пакете прикладных программ MATLAB&Simulink для анализа динамики САР, настроен ПИД-регулятор.

Разработанная система управления температурой гарантирует, что переходный процесс в системе будет протекать без перерегулирования и за минимальное время.

Ниже представлен перечень ключевых слов:

ХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР, ВОДЯНАЯ РУБАШКА,
СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ, ПИД- РЕГУЛЯТОР,

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 15 |
| 1. Основная часть..... | 18 |
| 1.1. Описание технологического процесса..... | 18 |
| 1.2. Описание учебного стенда..... | 19 |
| 1.3. Математическая модель химического реактора..... | 20 |
| 1.4. Идентификация объекта управления..... | 26 |
| 1.5. Линеаризация объекта управления в рабочей точке..... | 27 |
| 1.6. Моделирование настройки параметров ПИД-регулятора..... | 27 |
| 1.6.1. Компенсация насыщения с помощью дополнительной обратной связи | 28 |
| 1.6.2. Метод CHR..... | 29 |
| 1.6.3. Алгоритм Particle Swarm Optimisation (PSO)..... | 31 |
| 1.6.4. Настройка параметров ПИД-регулятора химического реактора с водяной рубашкой на основе Matlab/Simulink..... | 35 |
| 1.7. Анализ результатов метода PSO и метода CHR..... | 38 |
| 2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 40 |
| 2.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 40 |
| 2.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2. Анализ конкурентных технических решений..... | 40 |
| 2.1.3. SWOT – анализ..... | 42 |
| 2.2. Планирование научно-исследовательских работ..... | 44 |
| 2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования..... | 44 |
| 2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ..... | 45 |
| 2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования..... | 46 |
| 2.3. Бюджет научно-технического исследования..... | 48 |
| 2.3.1. Материальные затраты..... | 48 |
| 2.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы..... | 48 |
| 2.3.3. Дополнительная заработная плата исполнительской..... | 49 |
| 2.3.4. Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..... | 49 |
| 2.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта..... | 50 |
| 2.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования..... | 50 |
| 3. Социальная ответственность..... | 52 |
| 3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности..... | 52 |
| 3.2. Производственная безопасность при эксплуатации..... | 53 |
| 3.2.1. Повышенный уровень шума на рабочем месте..... | 55 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света..... | 56 |
| 3.2.3. Отклонение показателей микроклимата..... | 57 |
| 3.2.4. Монотонность труда, вызывающая монотонию..... | 58 |
| 3.2.5. Длительное сосредоточенное наблюдение..... | 59 |
| 3.2.6. Электробезопасность..... | 59 |
| 3.2.7. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека..... | 61 |
| 3.3. Экологическая безопасность..... | 61 |
| 3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 63 |
| Заключение..... | 65 |
| Список используемых источников..... | 66 |
| Приложение А Функциональная схема технологического процесса.... | 69 |

ВВЕДЕНИЕ

ПИД-регулирование с момента появления до сегодняшнего дня пережило более полувека развития, благодаря собственной простой структуре, легко реализуется и имеет сильные характеристики стабильности, во всем поле управления почти 90% веса. Появление различных передовых идей управления не поколебало доминирующее положение ПИД-регуляторов, а скорее благодаря сочетанию ПИД-регулирования и различных передовых идей способствовало развитию ПИД-регулирования.

Ключевой технологией ПИД-регулирования является проектирование пропорциональных, дифференциальных и интегральных параметров регулятора. Выбор параметров регулятора напрямую влияет на отклик системы управления, поэтому существует множество методов настройки параметров ПИД-регулятора. Эти методы настройки различны и принимают разные формы, но конечная цель - сделать замкнутый контур управления стабильным, точным и быстрым.

В реальных промышленных процессах существует множество специальных процессов, которые имеют строгие требования к регулируемым параметрам и не допускают превышения установленных значений, поэтому управление процессом без перерегулирования очень важно. В данной работе разработан ПИД-регулятор без перерегулирования на основе метода Chien, Hrones и Reswick (CHR) после обзора существующих основных методов настройки параметров ПИД-регуляторов.

Во многих системах управления химическими процессами, такими как пропорционирование кислот и щелочей или смешивание других химических веществ, система управления обычно не позволяет регулируемым параметрам превышать заданные значения, иначе это может привести к необратимым процессам или трате материалов, или даже к непредсказуемым последствиям; процесс осахаривания пива является жизненно важной частью всего процесса производства пива, и результаты контроля показателей его процесса определяют стабильность и вкус пива. Поэтому данный процесс

требует контроля температуры без превышения заданного значения отслеживания; кроме того, существуют некоторые системы, такие как сосуды и трубы, которые не допускают более значительного превышения, поскольку находятся под давлением до определенного предела. Иногда превышение контролируемого параметра - например, температуры - также вызывает нежелательные побочные эффекты. Если вход управляемого объекта интегрирования ограничен положительным значением, восстановление регулируемой величины после перерегулирования невозможно. Существуют также некоторые небольшие промышленные предприятия, где для исполнительных частей системы контроля температуры используются только нагреватели и не применяются охладители. Это, конечно, снижает стоимость, но, с другой стороны, как только температура превышает заданное значение в процессе регулирования, система вынуждена полагаться на естественное охлаждение, что значительно увеличивает время регулирования системы. Вышеизложенное показывает, что важно контролировать перерегулирование отклика процесса системы управления.

Поскольку ПИД-регулятор имеет простую структуру, легко настраивается, прост в применении, имеет широкую применимость, хорошую робастность и другие характеристики, то может широко использоваться в металлургии, химической промышленности, нефтепереработке, производстве бумаги и других отраслях. Хотя быстрое развитие промышленной автоматизации управления, ПИД-регулирования технология по-прежнему является основой управления промышленными процессами. p (пропорциональный), i (интегральный) и d (дифференциальный) роль в ПИД-регулятор отражает текущее состояние отклонение между заданным значением и измеренным значением, исторические накопления и будущие тенденции, то есть содержит систему управления в прошлом, настоящем и будущем информации о процессе, чтобы удовлетворить общие требования качества, необходимые для общепромышленных процессов. На сегодняшний

день более 80% контуров управления в отрасли управления технологическими процессами во всем мире используют ПИД-регулирование.

1. Основная часть

1.1. Описание технологического процесса

Схема технологического процесса, происходящего в химическом реакторе (Приложение А), показана на рисунке 1. Управляемой переменной является температура внутри технологической камеры (ТК) химического реактора. Температура внутри технологической камеры должна поддерживаться на определенном уровне. Важным критерием является недопустимость чрезмерного перерегулирования в переходном процессе, так как все химические процессы требуют жестко заданной температуры с погрешностью. Несоблюдение этого критерия может привести к значительным экономическим потерям для производства, так как реакционные процессы при разных температурах могут привести к полной остановке производства и реактора из-за нежелательных продуктов химической реакции в рабочей камере.

Рабочая камера помещается в водяную рубашку (ВР). Внутри водяной рубашки находится вода, которая нагревается нагревателем (Н).

Равномерный нагрев жидкости обеспечивается циркуляционными насосами Н-2 и Н-3.

Насос Н-1 используется для быстрого нагнетания жидкости в реакционную камеру, а насос Н-4 - для быстрого откачивания. Этот насос можно использовать для моделирования возмущений без необходимости манипулировать моделируемым веществом.

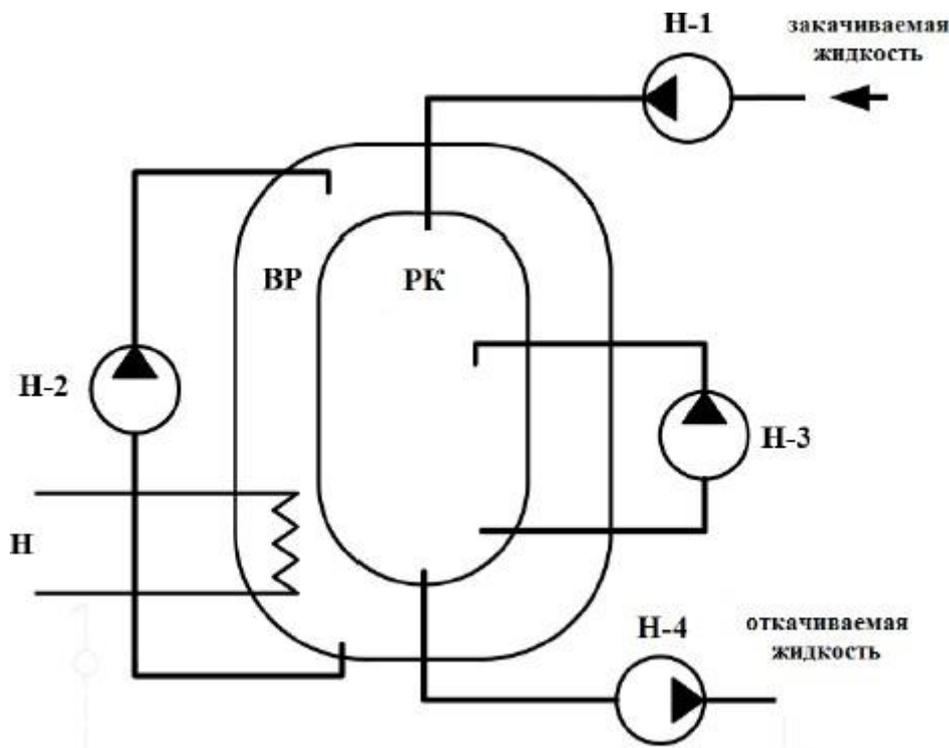


Рисунок 1 – Схема технологического процесса

1.2. Описание учебного стенда

Химический реактор – это устройство для проведения химических реакций объемом от нескольких миллилитров до нескольких сотен кубических метров и, как правило, является объектом повышенной опасности. Цель такого устройства - получение конечного продукта из исходного материала при сохранении стабильной схемы реакции для максимальной эффективности процесса.

Стенд физического подобию химического реактора представляет собой стеклянную банку, наполненную водой. Банку плотно закрывают крышкой, чтобы изолировать ее от прямого воздействия температуры окружающей среды. В крышке имеется отверстие для датчика температуры. Стеклянная банка помещается в пластиковый контейнер. Пластиковый контейнер действует как водяная рубашка. Контейнер, как и банка, плотно закрывается крышкой. По периметру в зазоре между банкой и контейнером укладывается

нагреватель, а на поверхности закрепляется датчик температуры. Блок резисторов будет использоваться в качестве нагревателя.

Дистиллированная вода используется в качестве нагревательной среды в сосудах, поскольку она является плохим проводником электричества. Этот выбор был сделан потому, что невозможно было полностью изолировать нагреватель от жидкости без нарушения герметичности установки.

Кроме того, в стенд включены два насоса, которые можно использовать для быстрого накачивания или откачивания воды. С помощью этих насосов можно обеспечить интерференционные эффекты (изменения теплоемкости продукта вследствие химических реакций, имитирующие изменения объема жидкости).

Система содержит сбор информации о процессе работы стенда, программируемый логический контроллер (ПЛК). Информация о процессе передается от датчиков к контроллеру. ПЛК также генерирует управляющие воздействия для электромагнитных реле, подключенных к нагревателям.

Таким образом, компоненты учебного стенда включают в себя:

1. Физическая модель химического реактора;
2. 2 температурных датчика;
3. Нагревательный элемент;
4. 2 циркуляционных насоса;
5. 2 насоса для опорожнения и закачки жидкости в мастерскую;
6. ПЛК.

1.3. Математическая модель химического реактора

Концептуальный проект химического реактора показан на рисунке 2.

Мы будем использовать его для построения математической модели.

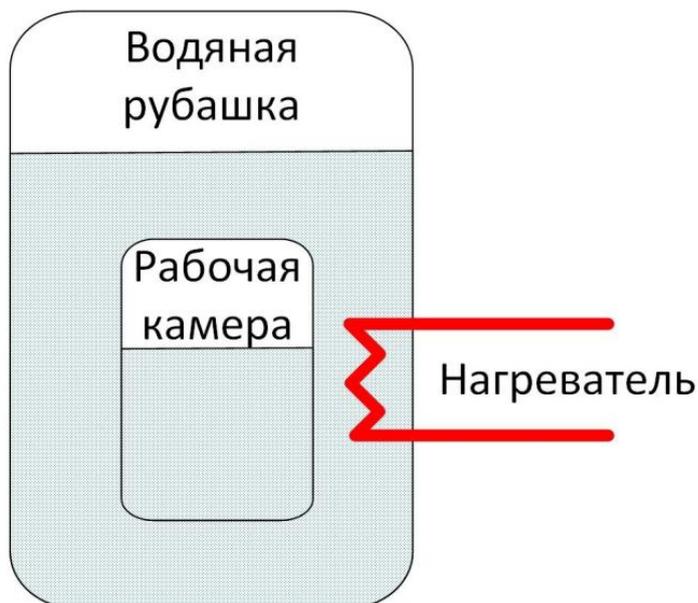


Рисунок 2 – Концептуальный проект химического реактора

Предположим, что в системе есть два аккумулятора - вода в рабочей камере и вода в водяной рубашке. Обмен энергией между водой в печи, водяной рубашкой, окружающей средой и нагревателем показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Обмен энергией в химическом ректоре

Согласно закону сохранения энергии, энергия нагревателя используется для нагрева жидкости в водяной рубашке. Однако часть энергии воды в рубашке отдается студии и окружающей среде. Тогда выражение (1) справедливо.

$$Q_n = Q_p - Q_{cp} - Q_{p.k.}$$

где,

Q_n – 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.

Мощность, рассеиваемая нагревателем в среде, равна.

$$P = Q_H = \frac{U^2}{R_{ЭKB}} = K_H$$

Зная это, мы можем вывести часть математической модели из уравнения (1), показанного на рисунке 4.

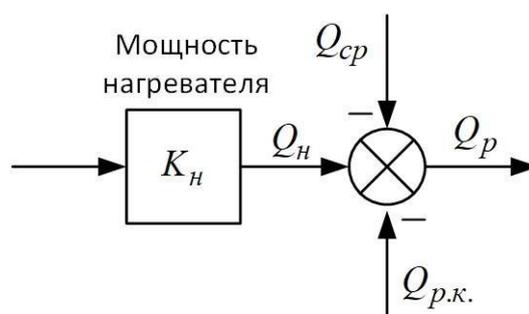


Рисунок 4 – Часть математической модели ОУ

Далее, тепло, переданное объекту при изменении его температуры на величину dT , рассчитывается по формуле:

$$dQ = mcdT,$$

Таким образом, получаем

$$Qdt = mcdT,$$

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 уравнения можно сделать вывод, что вода в рубашке нагревается до такой степени, что значение dT равно:

$$dT = \frac{Q_p dt}{m_p c},$$

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).

ее мгновенную температуру можно рассчитать по формуле:

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

где,

T_{p0} - начальная температура воды в рубашке.

Добавим математическую модель, описываемую уравнениями, к модели, показанной ранее (рисунок 5).

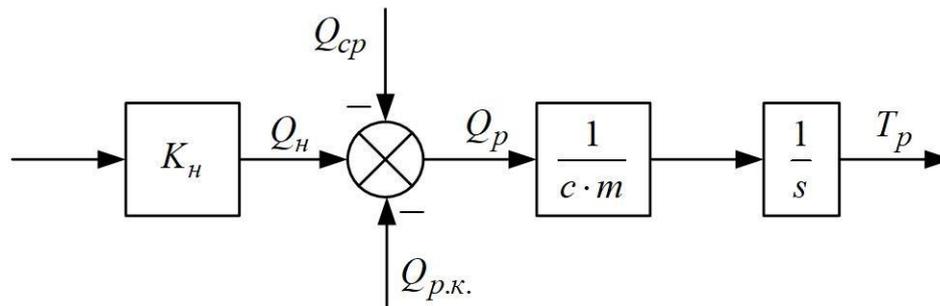


Рисунок 5 – Часть математической модели ОУ

Далее мы воспользуемся законом Ньютона-Рихмана:

$$Q_{cp} = K_1(T_p - T_{cp}),$$

$$Q_{p.k} = K_2 (T_p - T_{p.k}),$$

где,

T_p , T_{cp} , $T_{p.k}$ – температура воды в рубашке, окружающей среды и воды в рабочей камере реактора, соответственно;

K – коэффициент теплопередачи стенок между водяной рубашкой и окружающей средой и рабочей камерой реактора.

Добавим математическую модель, описываемую уравнениями, к модели, показанной ранее (рисунок 6).

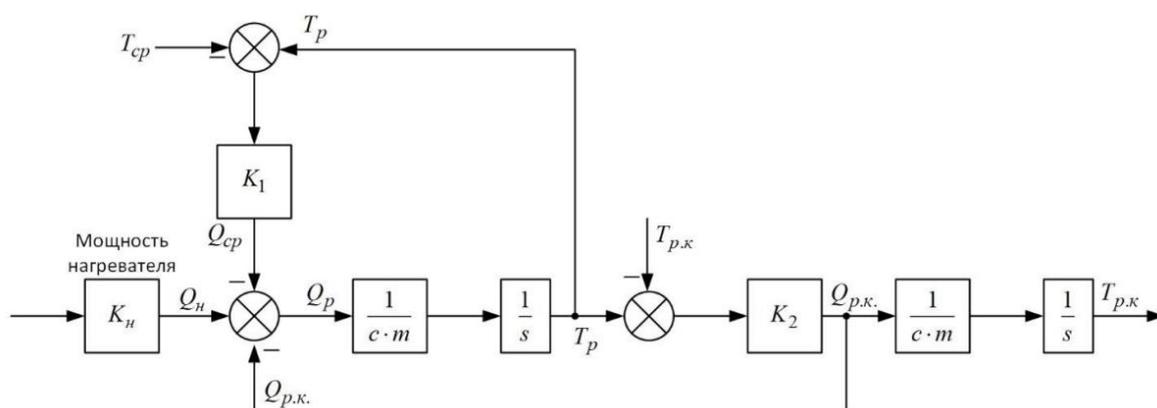


Рисунок 6 – Часть математической модели ОУ

Мгновенная температура воды в печи снова рассчитывается по формуле:

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

где,

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

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

В результате получается математическая модель объекта, показанная на рисунке 7.

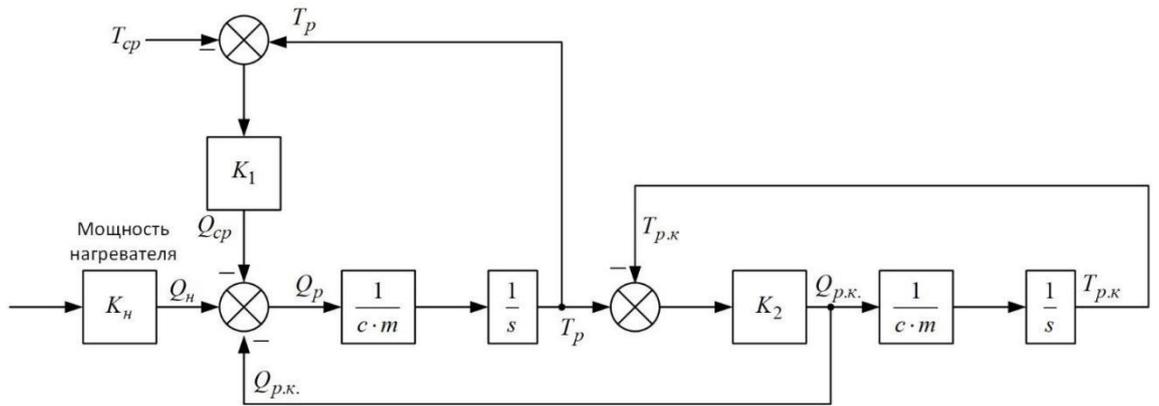


Рисунок 7 – Математическая модель ОУ

Поведение нагревателя может быть описано апериодическим звеном первого порядка:

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

где,

k – коэффициент усиления (мощность нагревателя);

T – постоянная времени.

Тогда математическая модель примет вид, показанный на рисунке 8.

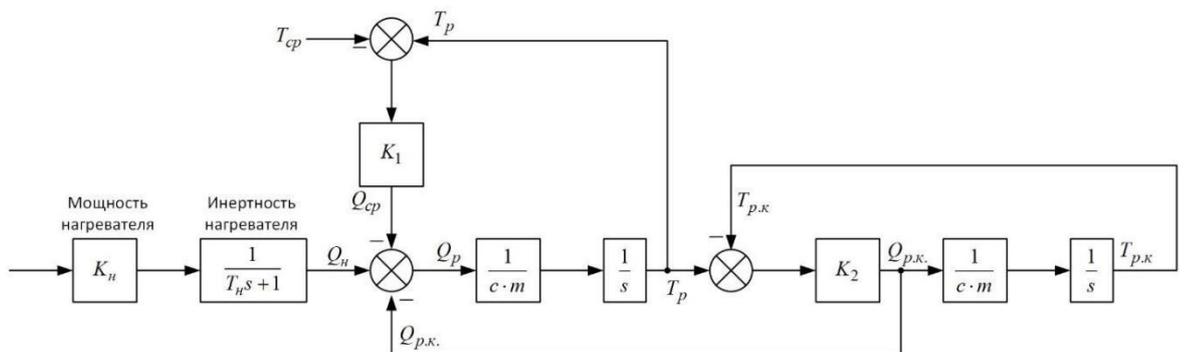


Рисунок 8 – Математическая модель ОУ

1.4. Идентификация объекта управления

Математическая модель объекта управления содержит неизвестные величины. Необходимо оценить неизвестные параметры, т.е. теплопроводность K_1 , K_2 , K_3 , массу воды в водяной рубашке m_p и массу реагентов в рабочей камере $m_{p.k}$. Также необходимо найти постоянную времени нагревателя T_H .

Массы воды в рабочей камере и водяной рубашке получаются путем вычисления объема жидкости внутри них:

$$V_{p.k} = 0.011 \text{ м}^3;$$

$$V_p = 0.192 \text{ м}^3.$$

Для оценки оставшихся параметров мы будем использовать инструментарий оценки параметров--Parameter Estimation Toolbox. Ранее был проведен эксперимент с объектом управления для получения выходных данных для различных управляющих воздействий на этот объект. Используя инструментарий оценки параметров, неизвестные параметры системы могут быть получены из набора экспериментальных данных.

Для того чтобы использовать этот инструмент, необходимо следующее

1. Определите параметры оцениваемой модели.
2. Задать параметры процесса оценки (установить начальные значения и границы поиска для каждого параметра) и провести саму оценку.

В итоге были выбраны следующие параметры:

$$K_1 = 0.5468;$$

$$K_2 = 1.0819;$$

$$K_3 = 3.8355 \cdot 10^{-4};$$

$$T_H = 2.9559 \text{ с.}$$

1.5. Линеаризация объекта управления в рабочей точке

Ограничивая входной сигнал на нагреватель, в систему вносится нелинейность. Все экспериментальные данные были получены при 30% мощности нагревателя, т.е. 592,2 Вт.

Передаточная функция модели химического реактора также выводится из процесса линеаризации ведущего устройства и возмущений.

Передаточная функция ОУ по задающему воздействию:

$$\frac{0.01555}{s^3 + 0.3638 \cdot s^2 + 0.008625 \cdot s + 5.374 \cdot 10^{-6}}$$

Передаточная функция ОУ по возмущающему воздействию:

$$\frac{10^{-4}(0.0898 \cdot s^2 + 0.1892 \cdot s + 0.0537)}{s^3 + 0.3638 \cdot s^2 + 0.008625 \cdot s + 5.374 \cdot 10^{-6}}$$

1.6. Моделирование настройки параметров ПИД-регулятора

Мы будем использовать передаточную функцию для настройки ПИД-регулятора в зависимости от возмущения. Принципиальная схема системы показана на рисунке 9.

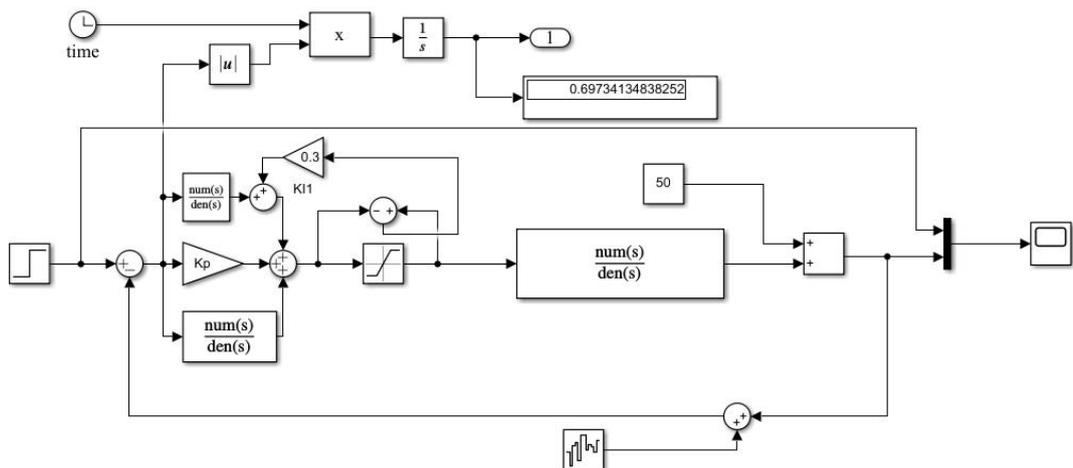


Рисунок 9 – Структурная схема в *MATLAB&Simulink*

1.6.1. Компенсация насыщения с помощью дополнительной обратной связи

Интегральное насыщение - это явление, которое может возникнуть в ПИД-регуляторах или других регуляторах с интеграторами.

Это часто происходит при большом изменении ошибки (например, большом увеличении), и интегратор имеет большую кумулятивную сумму из-за большого увеличения ошибки, так как выход интегратора удовлетворяет следующему уравнению:

$$K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Дискретизированная форма выражается как:

$$K_i \sum_{i=1}^k e(i) \Delta t$$

Таким образом, с увеличением времени каждый раз накапливается все большая ошибка $e(i)$, что может легко привести к насыщению интегрирования и образованию большого перерегулирования, а когда ошибка становится отрицательной, перерегулирование сохраняется в течение некоторого времени, прежде чем вернуться к норме.

Эффект насыщения интегратора может быть ослаблен путем мониторинга приводов, которые входят в насыщение, и компенсации сигналов, подаваемых на входы интегратора. Структура системы с таким компенсатором показана на рис. 10.

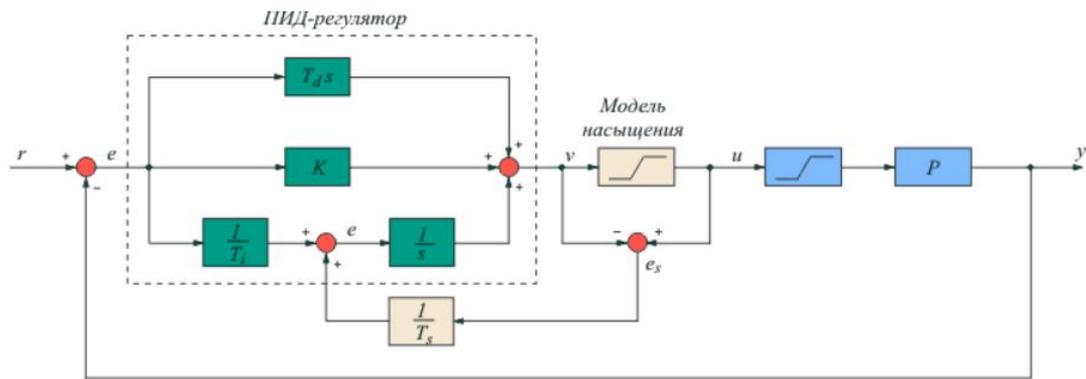


Рисунок 10: Антиинтегральное насыщение с помощью дополнительной обратной связи

1.6.2.Метод CHR

В практических приложениях традиционный алгоритм Циглера-Николса имеет различные варианты, и так называемый алгоритм Chien, Hrones and Reswick (CHR) является одним из усовершенствований. Использование критериев для метода CHR приведет к меньшему перерегулированию, что даст больший запас устойчивости.

График переходной характеристики с учетом параметров a и L показан на рисунке 11. Эти параметры были использованы для расчета коэффициентов для ПИД-регулятора.

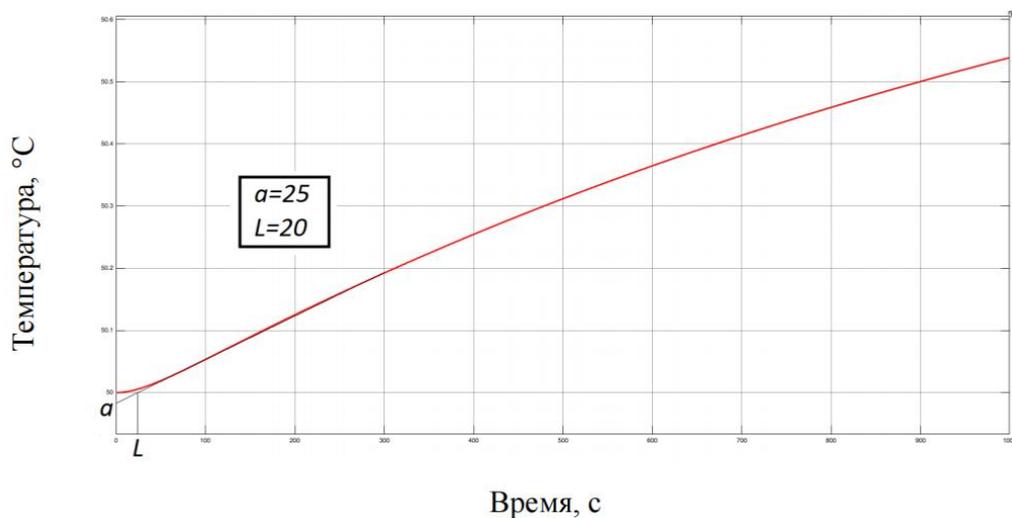


Рисунок 11 - Реакция на изменение возмущения

В таблице 1 показаны расчеты параметров ПИД-регулятора с использованием полученных параметров a и L в ответ на изменения уставки и возмущения, а также качество переходных процессов в системе.

Таблица 1 - Факторы регулятора и показатели качества

| Настройка по возмущающему воздействию | Коэффициенты регулятора | | |
|---------------------------------------|--|--------------------|---------------|
| | K_p | T_I | T_D |
| | $0,95 / a$ | $2,4L/K_p$ | $0,42L/K_p$ |
| | 0,038 | $1,263 \cdot 10^3$ | 221,053 |
| | Показатели качества при полученных коэффициентах | | |
| | t_{III}, c | $\sigma, \%$ | $e, ^\circ C$ |
| | 169,228 | 2,850 | 0 |

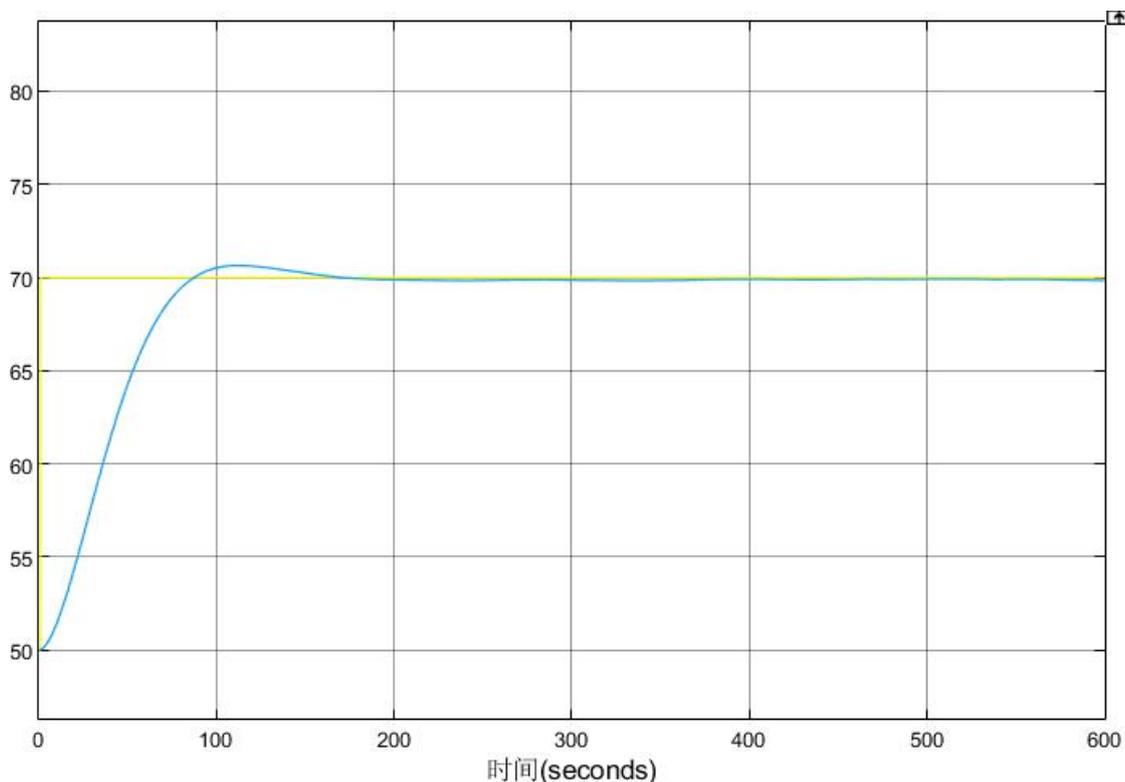


Рисунок 12 – Переходный процесс (синтез по возмущению)

1.6.3. Алгоритм Particle Swarm Optimisation (PSO)

Алгоритм Particle Swarm Optimisation (PSO) был предложен американским социальным психологом Джеймсом Кеннедом и инженером-электриком Расселом Эберхартом в 1995 году и с момента своего появления привлек большое внимание научного сообщества благодаря своей простой структуре, небольшому количеству параметров и легкости реализации.

Многие организмы в природе живут группами, и групповые живые организмы часто демонстрируют более разумное поведение, чем индивидуальные организмы. Например, муравьи работают вместе, чтобы находить и переносить пищу; гуси меняют форму полета, чтобы сэкономить энергию. Эти организмы демонстрируют мало индивидуального интеллекта и относительно простое поведение, и нет единого командования группой, но похоже, что при определенных ролях и законах, групповая жизнь организмов демонстрирует сложное и упорядоченное групповое разумное поведение. Роевое интеллектуальное поведение этих организмов привлекло большое

внимание и интерес со стороны научного сообщества, и некоторые научные исследователи начали изучать роевое интеллектуальное поведение организмов с точки зрения биологии, бионики, информатики и математического моделирования, пытаясь создать математическую модель роевой жизнедеятельности организмов, чтобы решить некоторые практические проблемы в производстве и жизни человека. В настоящее время алгоритмы роевого интеллекта в основном включают алгоритм муравьиной колонии, алгоритм косяка рыб и алгоритм оптимизации роя частиц.

Основная идея алгоритма PSO заключается в случайном инициализировании популяции частиц без объема и массы, каждая из которых является выполнимым решением оптимизационной задачи, при этом достоинства частиц оцениваются с помощью заранее определенной функции пригодности. Каждая частица летит в пространстве выполнимых решений, и ее направление и расстояние определяются переменной скорости. Текущая оптимальная частица будет отслеживаться по частицам и, наконец, после итерационного поиска будет найдено глобальное оптимальное решение. На каждой итерации частица будет отслеживать свое собственное оптимальное решение и оптимальное решение всей популяции.

О том, как работает метод и как он используется:

Предположим, что популяция из M частиц движется с определенной скоростью в D -мерном пространстве. Свойства состояния частицы I в момент t задаются следующим образом:

Местонахождение: $X_{i1}^t = (X_{i1}^t, X_{i2}^t, \dots, X_{id}^t)^T$

$x_{id}^t \in [L_d, U_d]$ L_d и U_d - верхняя и нижняя границы пространства поиска с

ответственно

Скорость: $v_i^t = (v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{id}^t)^T$

$v_{id}^t \in [v_{\min,d}, v_{\max,d}]$, $v_{\min,d}$ и $v_{\max,d}$ - минимальная и максимальная скорос

ти соответственно

Индивидуальная оптимальная позиция: $P_i^t = (P_{i1}^t, P_{i2}^t, \dots, P_{id}^t)^T$

Глобальное оптимальное положение: $P_g^t = (P_{g1}^t, P_{g2}^t, \dots, P_{gd}^t)^T$

где $1 \leq d \leq D$ и $1 \leq i \leq M$

Уравнение для положения частицы в момент $t+1$ обновляется следующим образом:

$$v_{id}^{t+1} = v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 (p_{gd}^t - x_{id}^t)$$
$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1}$$

В уравнении r_1 , r_2 - случайное число, равномерно распределенное в интервале $(0, 1)$; C_1 , C_2 называется коэффициентом обучения, обычно $C_1 = C_2 = 2$.

В формуле он в основном состоит из трех частей: первая часть — это предыдущая скорость частицы, которая указывает на уверенность частицы в своей предыдущей скорости и движении по инерции на основе ее предыдущей скорости; вторая часть — это «когнитивная» часть сама частица, которая представляет собой размышления частицы о своем положении. То есть всестороннее обдумывание своей предыдущей позиции для реализации следующего решения, что отражает самоусиливающийся процесс обучения; третья часть является «социальной» частью частицы, которая представляет собой взаимное сотрудничество и обмен информацией между частицами. В процессе поиска частицы учитывают собственный предыдущий опыт полета и опыт других частиц. Когда одна частица обнаруживает, что эмпирическое положение других частиц лучше, она адаптивно регулирует скорость своего полета. Блок-схема алгоритма оптимизации роя частиц показана на рисунке

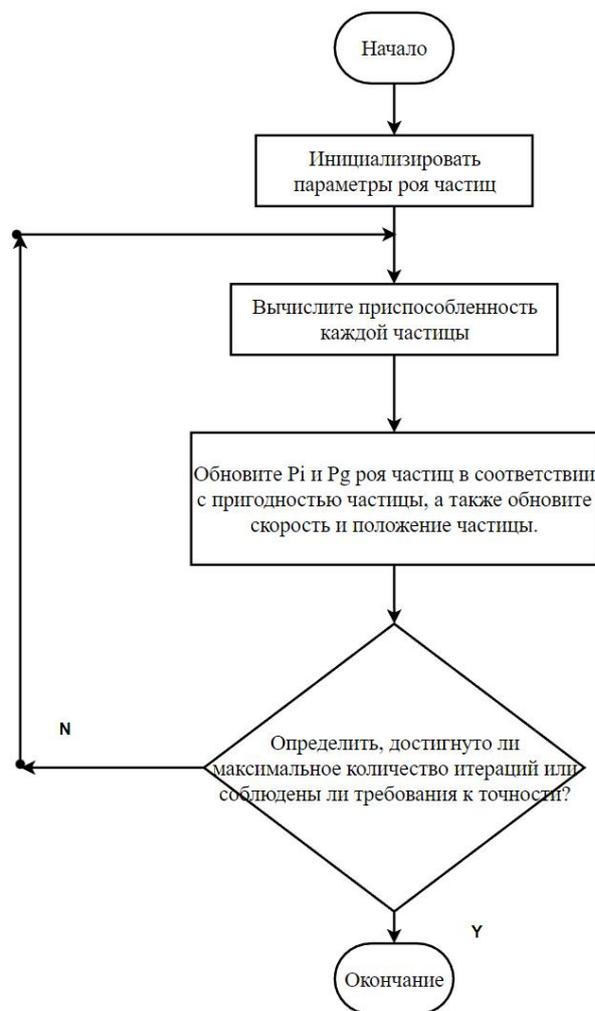


Рисунок 13 –Блок-схема базового алгоритма оптимизации роя частиц

Шаги реализации базового алгоритма PSO следующие: (1) Инициализация. Задайте параметры алгоритма PSO:

(1) верхний и нижний пределы пространства поиска L_d и U_d , коэффициенты обучения C_1 и C_2 , максимальное число итераций T_{max} или точность сходимости ζ , диапазон скоростей частиц V_{min} , $V_{max,d}$; затем инициализируем положение частицы X и частицу V . Задаем текущее оптимальное положение P_i самой частицы, а по ней узнаем оптимальное положение P_g всего роя частиц.

(2) Рассчитайте пригодность каждой частицы. Если положение частицы лучше, чем собственное предыдущее оптимальное положение частицы, замените P_i текущим соответствием частицы. Если положение

частицы лучше, чем предыдущее оптимальное положение роя частиц, P_g заменяется пригодностью частицы.

(3) Обновить состояние частицы. Обновите скорость и положение частицы, если $V_i > V_{\max}$ или $V_i < V_{\min}$, замените V_i на V_{\max} или V_{\min} , если $X_i > U_d$ или $X_i < L_d$, замените X_i на U_d или L_d

(4) Оценивается, достигнуто ли конечное условие. При достижении максимального числа итераций или выполнении требований к точности выдается оптимальное положение оптимальной частицы, в противном случае выполняется процедура (2).

1.6.4. Настройка параметров ПИД-регулятора химического реактора с водяной рубашкой на основе Matlab/Simulink

Настройка параметров ПИД-регулятора является распространенной проблемой в процессе промышленного управления, в основном для трех параметров K_p , K_i , K_d . число, чтобы найти оптимальные параметры. В «Системе автоматического регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой», которую мы обсуждаем, точная и быстрая настройка трех ПИД-параметров играет ключевую роль в действии регулятора. В этой главе в основном изучается настройка параметров PID с помощью алгоритма оптимизации роя частиц.

Суть использования оптимизации роя частиц для оптимизации параметров ПИД заключается в задаче оптимизации параметров на основе определенной целевой функции, то есть в поиске оптимального значения в пространстве параметров K_p , K_i и K_d для оптимизации характеристик управления системой. . Блок-схема его управления показана на рис.14.

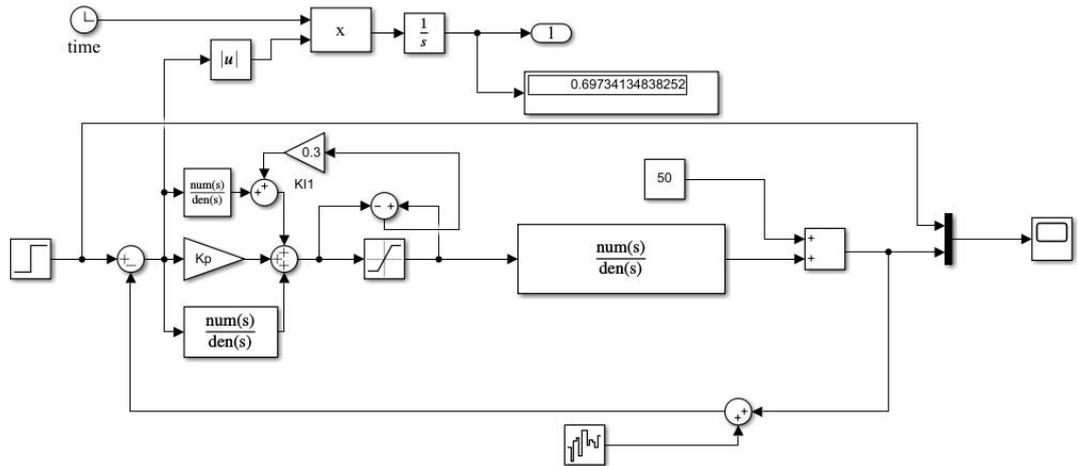


Рис. 14 Блок-схема алгоритма оптимизации роя частиц Настройка параметров PID

Программа на основе Matlab и ее объяснение показаны на рисунке 15:

```

1  %% чистая среда
2  %clear
3  %clc
4
5  %% настройки параметров
6  w = 0.6; % инерционный коэффициент
7  c1 = 2; % константа ускорения
8  c2 = 2; % константа ускорения
9
10 Dim = 3; % измерение
11 SwarmSize = 100; % размер роя частиц
12 ObjFun = @PSO_PID; % Deskриптор функции, которую нужно оптимизировать
13
14 MaxIter = 50; % Максимальное количество итераций
15 MinFit = 0.00000001; % минимальная пригодность
16
17 Vmax = 1;
18 Vmin = -1;
19 Ub = [1e5 1e3 3e6];
20 Lb = [0 0 0];
21
22 %% инициализация роя частиц
23 Range = ones(SwarmSize,1)*(Ub-Lb);
24 Swarm = rand(SwarmSize,Dim).*Range + ones(SwarmSize,1)*Lb % Инициализировать рой частиц
25 VStep = rand(SwarmSize,Dim)*(Vmax-Vmin) + Vmin % Скорость инициализации
26 fSwarm = zeros(SwarmSize,1);
27 for i=1:SwarmSize
28     fSwarm(i,:) = feval(ObjFun,Swarm(i,:)); % Значение пригодности роя частиц
29 end
30
31 %% Индивидуальный экстремум и групповой экстремум
32 [bestf bestindex]=min(fSwarm);
33 zbest=Swarm(bestindex,:); % лучший в мире
34 gbest=Swarm; % индивидуальный лучший
35 fgbest=fSwarm; % индивидуальный лучший фитнес
36 fzbest=bestf; % лучший фитнес в мире
37

```

```

39 iter = 0;
40 y_fitness = zeros(1,MaxIter); % Заранее сгенерируйте 4 пустые матрицы
41 K_p = zeros(1,MaxIter);
42 K_i = zeros(1,MaxIter);
43 K_d = zeros(1,MaxIter);
44 while( (iter < MaxIter) && (fzbest > MinFit) )
45     for j=1:SwarmSize
46         % обновление скорости
47         VStep(j,:) = w*VStep(j,:) + c1*rand*(gbest(j,:) - Swarm(j,:)) + c2*rand*(zbest - Swarm(j,:));
48         if VStep(j,1)>Vmax, VStep(j,1)=Vmax; end
49         if VStep(j,2)<Vmin, VStep(j,2)=Vmin; end
50         % обновление местоположения
51         Swarm(j,:)=Swarm(j,:)+VStep(j,:);
52         for k=1:Dim
53             if Swarm(j,k)>Ub(k), Swarm(j,k)=Ub(k); end
54             if Swarm(j,k)<Lb(k), Swarm(j,k)=Lb(k); end
55         end
56         % значение пригодности
57         fSwarm(j,:) = feval(ObjFun,Swarm(j,:));
58         % индивидуальное оптимальное обновление
59         if fSwarm(j) < fgbest(j)
60             gbest(j,:) = Swarm(j,:);
61             fgbest(j) = fSwarm(j);
62         end
63         % групповое оптимальное обновление
64         if fSwarm(j) < fzbest
65             zbest = Swarm(j,:);
66             fzbest = fSwarm(j);
67         end
68     end
69     iter = iter+1; % Обновление счетчика итераций
70     y_fitness(1,iter) = fzbest; % подготовиться к рисованию
71     K_p(1,iter) = zbest(1);
72     K_i(1,iter) = zbest(2);
73     K_d(1,iter) = zbest(3);
74     iter
75 end
76 % вывод графика
77 figure(1) % Нарисуйте кривую изменения индекса эффективности ITAE
78 plot(y_fitness,'LineWidth',2)
79 title('最优个体适应值','fontsize',18);
80 xlabel('迭代次数','fontsize',18);ylabel('适应值','fontsize',18);
81 set(gca,'FontSize',18);
82
83 figure(2) % Нарисуйте кривую изменения параметров ПИД-регулятора.
84 plot(K_p)
85 hold on
86 plot(K_i,'k','LineWidth',3)
87 plot(K_d,'--r')
88 title('Kp、Ki、Kd 优化曲线','fontsize',18);
89 xlabel('迭代次数','fontsize',18);ylabel('参数值','fontsize',18);
90 set(gca,'FontSize',18);
91 legend('Kp','Ki','Kd');
92

```

Рис. 15 Программа и интерпретация метода PSO на Matlab

В таблице 2 показан расчет параметров ПИД для переходной массы в системе, а также качества переходных процессов в системе (Рисунок 16).

Таблица 2 – Коэффициенты регулятора и показатели качества

| Коэффициенты регулятора | | | |
|--|-------|--------------|----------|
| K_P | T_I | T_D | K_{IS} |
| 81165.43 | 0 | 3.0E+6 | 0.3 |
| Показатели качества при полученных коэффициентах | | | |
| t_{III}, c | | $\sigma, \%$ | |
| 2.077c | | 0 | |

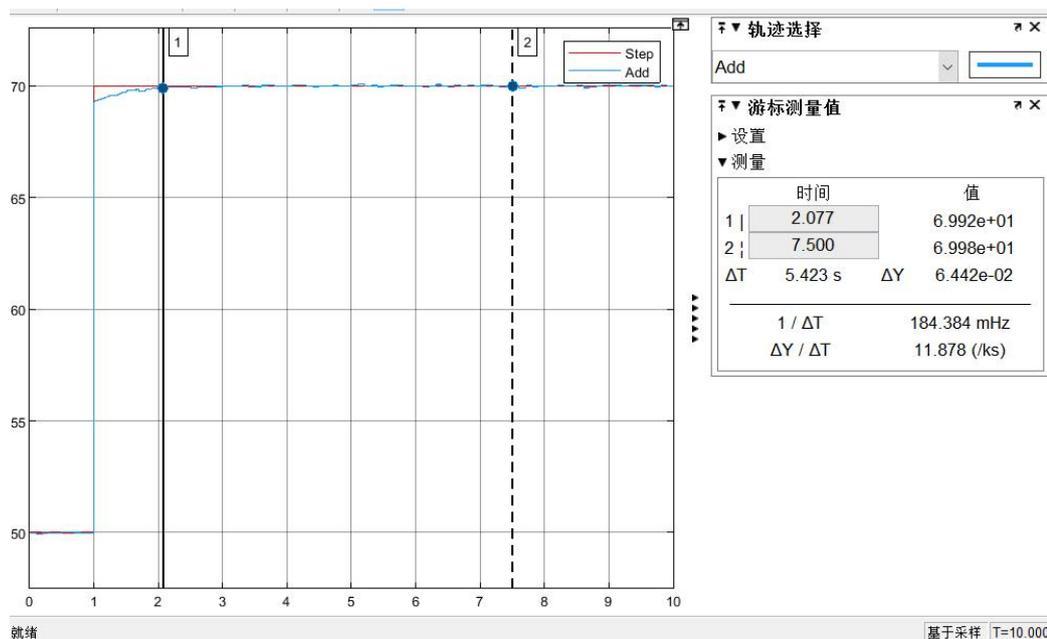


Рисунок 16 – Переходный процесс

Система, синтезированная по методу Алгоритм Particle Swarm Optimisation (PSO) дает показатели качества, которые пригодны для применения управления процессами, протекающими в химическом реакторе

1.7. Анализ результатов метода PSO и метода CHR

Для синтеза ПИД-регулятора используются два метода.

1. Синтез ПИД-регулятора с использованием метода CHR
2. синтез ПИД-регулятора с помощью метода PSO

К качеству переходных процессов предъявлялись высокие требования: требовалось, чтобы в системе было менее 4% перерегулирования и минимальное время переходного процесса.

Результаты синтеза ПИД-регулятора обобщены в таблице 3. (Результаты переходных процессов показаны на рисунке 17)

Таблица 3 - Результаты синтеза ПИД-регулятора

| Название метода | Показатели качества | |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| | Время | Перерегулирование |
| | t_{III}, c | $\sigma, \%$ |
| CHR | 169,228 | 2,850 |
| PSO | 2,077 | 0 |

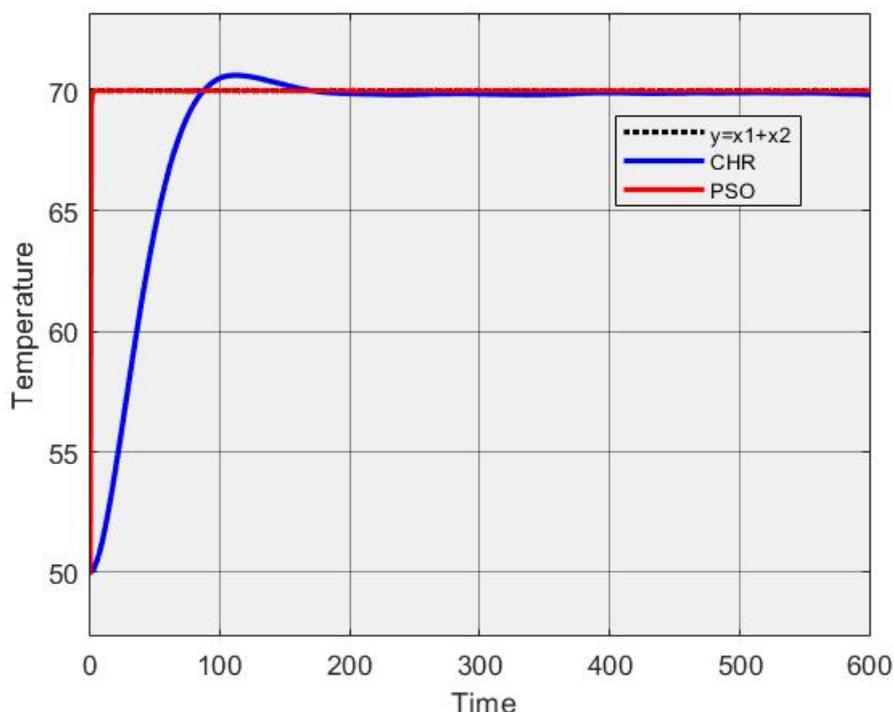


Рисунок 17 – Переходный процесс CHR и PSO

Преимущества алгоритма PSO заключаются в высокой скорости сходимости, простоте алгоритма и простоте его программирования. Как видно из переходных графиков, метод PSO обеспечивает наилучшее качество и удовлетворяет требованию отсутствия перерегулирования. Этот метод дал самое короткое время установления (2 секунды).

Таким образом, можно сделать вывод, что использование метода PSO для настройки ПИД-регулятора наиболее подходит для системы химического реактора с водяной рубашкой, поскольку он не имеет перерегулирования и обеспечивает кратчайшее время установления.

2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

2.1.1. 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 4 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 4 – 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.

2.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, приведенной в таблице 5. В качестве конкурентов выбраны ПАО "Нижнекамскнефтехим" и ОАО "Тольяттиазот".

Таблица 5 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| | | Разрабатываемая САР | 1 Конкурентная система управления | 2 Конкурентная САР | Разрабатываемая САР | 1 Конкурентная система управления | 2 Конкурентная САР |
| Техническое критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| Повышение производительности | 0,1 | 5 | 3 | 4 | 0,50 | 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 в эксплуатации | 0,08 | 4 | 4 | 4 | 0,32 | 0,32 | 0,32 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| Конкурентоспособность | 0,1 | 4 | 3 | 3 | 0,2 | 0,15 | 0,15 |
| Уровень проникновения на рынок | 0,04 | 4 | 3 | 3 | 0,2 | 0,15 | 0,15 |
| Цена | 0,04 | 5 | 2 | 1 | 1 | 0,4 | 0,2 |
| Предполагаемый срок эксплуатации | 0,04 | 5 | 2 | 4 | 0,5 | 0,2 | 0,4 |
| Условия проникновения на рынок | 0,05 | 4 | 3 | 5 | 0,24 | 0,18 | 0,3 |
| Итого | 1 | 52 | 38 | 39 | 4,5 | 2,96 | 4,05 |

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.

2.1.3 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) [15]. 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 (таблицы 6-9).

Таблица 6. Интерактивная матрица для сильных сторон и возможностей

| Сильные стороны проекта | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 |
| | V1 | + | - | + | 0 |
| | V2 | + | 0 | - | - |
| | V3 | + | + | - | + |

Таблица 7. Интерактивная матрица для слабых сторон и возможностей

| Слабые стороны проекта | | | | |
|------------------------|----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 |
| | V1 | + | - | + |
| | V2 | - | 0 | - |
| | V3 | 0 | + | + |

Таблица 8. Интерактивная матрица для сильных сторон и угроз

| Сильные стороны проекта | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 |
| | У1 | + | + | + | - |
| | У2 | + | + | + | - |

| | | | | | |
|--|----|---|---|---|---|
| | У3 | + | + | + | - |
|--|----|---|---|---|---|

Таблица 9. Интерактивная матрица для слабых сторон и угроз

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

Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 10.

Таблица 10. SWOT-анализ

| | | |
|---|---|---|
| | Сильные стороны: С1. Низкая стоимость. С2. Научная новизна. С3.Современные технологии. С4. Высокий спрос. | Слабые стороны: Сл1.Высокие начальные затраты. Сл2.Отсутствие клиентской базы. Сл3. Узкая направленность |
| Возможности: 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. |
| Угрозы: У1. Отсутствие потребности на новые технологии. У2. Увеличение конкуренции. У3. Нестабильность экономической ситуации в стране. | Низкая стоимость и научная новизна с применение современных технологий улучшит конкурентную позицию, потребительскую способность и сгладит экономический кризис. | Высокие начальные затраты, увеличение конкуренции и нестабильная экономическая ситуация может ослабить интерес покупателей. |

2.2. Планирование научно-исследовательских работ

2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Перечень работ и этапов научного исследования представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | Содержание работы | Исполнитель |
|--|--|---------------------------|
| Разработка технического задания | Составление и утверждение технического задания | Руководитель, Инженер |
| | Календарное планирование | Руководитель, Инженер |
| Выбор направления исследования | Выбор материалов по теме и их изучение | Руководитель, Инженер |
| | Поиск похожих решений | Инженер |
| Теоретическое экспериментальное исследование | Теоретические расчеты и их обоснование | Инженер |
| | Построение моделей проведения экспериментов | Инженер |
| | Анализ и сопоставление теоретических и экспериментальных данных | Инженер |
| Обобщение и оценка результатов | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель, Инженер |
| | Оценка целесообразности проведения дальнейших исследований по теме | Руководитель, Исполнитель |
| Разработка технической документации и проектирование | Разработка функциональной схемы автоматизации | Инженер |
| | Составление перечня вход/выходных сигналов | Инженер |
| | Составление схемы информационных потоков | Инженер |
| | Разработка схемы внешних проводок | Инженер |
| | Разработка алгоритмов сбора данных | Инженер |
| | Разработка алгоритмов управления АС | Инженер |
| | Разработка структурной схемы автоматического регулирования | Инженер |
| Оформление отчета | Оформление расчетно-пояснительной записки | Инженер |

2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов [16].

Таблица 12. Расчет трудозатрат

| Название работы | Трудоемкость работ | | | Исполнители | Длительность работ в рабочих днях | Длительность работ в календарных днях |
|---|--------------------|------------|-----------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| | t_{\min} | t_{\max} | $t_{\text{ож}}$ | | | |
| Составление и утверждение технического задания | 1 | 2 | 1,4 | 1 | 1,4 | 2 |
| Календарное планирование | 2 | 5 | 3,2 | 1 | 3,2 | 5 |
| Выбор материалов по теме и их изучение | 2 | 5 | 3,2 | 1 | 3,2 | 5 |
| Поиск похожих решений | 0,5 | 1 | 0,7 | 2 | 0,35 | 1 |
| Теоретические расчеты и их обоснование | 1 | 3 | 1,8 | 1 | 1,8 | 3 |
| Построение моделей и проведение экспериментов | 2 | 4 | 2,8 | 1 | 2,8 | 4 |
| Анализ и сопоставление теоретических и экспериментальных данных | 0,5 | 1 | 0,7 | 1 | 0,7 | 1 |
| Оценка эффективности результатов | 0,5 | 1 | 0,7 | 2 | 0,35 | 1 |
| Определение целесообразности проведения ОКР | 0,5 | 1 | 0,7 | 2 | 0,35 | 1 |
| Разработка функциональной схемы автоматизации | 1 | 2 | 1,4 | 1 | 1,4 | 2 |
| Составление перечня вход/выходных сигналов | 0,5 | 1 | 0,7 | 1 | 0,7 | 1 |
| Составление схемы информационных потоков | 0,5 | 1 | 0,7 | 1 | 0,7 | 1 |
| Разработка схемы внешних проводок | 1 | 3 | 1,8 | 1 | 1,8 | 3 |
| Разработка алгоритмов сбора данных | 1 | 3 | 1,8 | 1 | 1,8 | 3 |
| Разработка алгоритмов управления АС | 0,5 | 1 | 0,7 | 1 | 0,7 | 1 |
| Разработка структурной схемы автоматического | 2 | 4 | 2,8 | 1 | 2,8 | 4 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|-----|---|-------|----|--|
| регулирования | | | | | | | |
| Проектирование SCADA-системы | 2 | 5 | 3,2 | 1 | 3,2 | 5 | |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | 1 | 3 | 1,8 | 1 | 1,8 | 3 | |
| ИТОГО: руководитель | | | | | 1,05 | 3 | |
| ИТОГО: инженер | | | | | 29,05 | 46 | |

2.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} \approx 1,48$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году (365 дней);

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

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году ($T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}} = 118$).

График проведения научного исследования представлен рисунке 18.

| Название работы | Исполнитель | Продолжительность работ | | | | | | | |
|---|-----------------------|-------------------------|---|-----|---|---|---|---|---|
| | | Апрель | | Май | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| Составление и утверждение технического задания | Инженер | 2 | | | | | | | |
| Календарное планирование | Инженер | | 5 | | | | | | |
| Выбор материалов по теме и их изучение | Инженер | | | 5 | | | | | |
| Поиск похожих решений | Инженер, Руководитель | | | 1 | | | | | |
| Теоретические расчеты и их обоснование | Инженер | | | 3 | | | | | |
| Построение моделей и проведение экспериментов | Инженер | | | | 4 | | | | |
| Анализ и сопоставление теоретических и экспериментальных данных | Инженер | | | | | 1 | | | |
| Оценка эффективности результатов | Инженер, Руководитель | | | | | | 1 | | |
| Определение целесообразности проведения ОКР | Инженер, Руководитель | | | | | | | 1 | |
| Разработка функциональной схемы автоматизации | Инженер | | | | | | 2 | | |
| Составление перечня вход/выходных сигналов | Инженер | | | | | | | 1 | |
| Составление схемы информационных потоков | Инженер | | | | | | | | 1 |
| Разработка схемы внешних проводов | Инженер | | | | | | | | 3 |
| Разработка алгоритмов сбора данных | Инженер | | | | | | | | 3 |
| Разработка алгоритмов управления АС | Инженер | | | | | | | | 1 |
| Разработка структурной схемы автоматического регулирования | Инженер | | | | | | | | 4 |
| Проектирование SCADA-системы | Инженер | | | | | | | | 5 |
| Оформление расчетно-пояснительной записки | Инженер | | | | | | | | 3 |

Рисунок 18 – График научного

2.3. Бюджет научно-технического исследования

2.3.1. Материальные затраты

Материальные ресурсы приведены в таблице 13.

Таблица 13. Материальные затраты

| Наименование | Цена за ед., руб. | Количество, шт | Затраты на Материалы |
|--------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| Датчик температуры ОВЕН ДТС094 | 3500 | 2 | 8400 |
| Датчик тока АМЕ-8821-5 | 1750 | 4 | 8400 |
| ОВЕН ПЛК160 | 31860 | 1 | 38233,2 |
| Нагреватель, 1538 Вт | 300 | 1 | 360 |
| Насос омывателя стекол, 12 В | 150 | 4 | 720 |
| Трубка ПВХ, 20 см | 20 | 5 | 120 |
| Э/м реле, 5 А | 250 | 5 | 1500 |
| DIN-рейка, 1 м | 120 | 1 | 144 |
| Итого: | | | 57877,2 |

2.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 14.

При расчете учитывалось, что в 2022 году 247 рабочих дней.

Таблица 14. Расчёт основной ЗП

| Исполнители | Тарифная заработная плата, руб. | Премимальный коэффициент, % | Коэффициент доплат, % | Районный коэффициент, | Месячный должностной оклад работника, руб. | Среднедневная заработная плата, руб. | Продолжительность работ, дней | Заработная плата основная, руб |
|-------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|---|----------------------------------|-----------------------------------|
|-------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|---|----------------------------------|-----------------------------------|

| | | | | | | | | |
|--------------|-------|----|----|----|-------|---------|-------|-----------|
| Руководитель | 31000 | 30 | 30 | 30 | 64480 | 2803,48 | 1,05 | 2943,654 |
| Инженер | 25000 | 30 | 30 | 30 | 58500 | 2543,48 | 29,05 | 73888,094 |
| Итого: | | | | | | | | 76831,748 |

2.3.3. Дополнительная заработная плата исполнительской

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (0,12);

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата.

Получим:

$$Z_{\text{доп Р}} = 0,12 * 2943,654 = 1093,68 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп И}} = 0,12 * 73888,094 = 8866,57 \text{ руб.}$$

2.3.4. Отчисление во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

Таблица 15. Расчет отчислений во внебюджетного фонды

| Исполнитель | Основная ЗП, руб. | Дополнительная ЗП, руб. | Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | $Z_{\text{внеб}}$, руб. |
|--------------|-------------------|-------------------------|--|--------------------------|
| Руководитель | 2943,654 | 1093,68 | 30% | 1211,2 |
| Инженер | 73888,094 | 8866,57 | 30% | 24826,4 |
| Итого: | | | | 26037,6 |

Получили, что всего будет перечислено 26037,6 руб. во внебюджетные фонды.

2.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 16.

Таблица 16. Бюджет затрат НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | | |
|---|-------------|-----------|-----------|
| | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Материальные затраты НТИ и прочие расходы | 57 877,2 | 107911,95 | 57877,2 |
| Затраты по основной заработной плате исполнителей | 76 831,74 | 76 831,74 | 181880,65 |
| Затраты по дополнительной заработной плате | 9 960,25 | 9 960,25 | 0 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 26 037,6 | 26 037,6 | 54564,19 |
| Бюджет затрат НТИ | 170 706,79 | 220741,54 | 294322,05 |

2.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой 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.

Таблица 17. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии | Весовой коэффициент параметра | | | |
|------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| | | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Материалоёмкость | 0,05 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | |
|-------------------------|------|---|---|---|
| Надёжность | 0,1 | 4 | 3 | 2 |
| Производительность | 0,25 | 5 | 3 | 4 |
| Удобство в эксплуатации | 0,15 | 4 | 5 | 3 |
| Энергосбережение | 0,25 | 5 | 4 | 3 |
| Безопасность | 0,2 | 5 | 3 | 4 |
| Итого: | 1 | | | |

На основании полученных показателей выполним сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки (таблица 18).

Таблица 18. Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
|-------|---|--------|--------|--------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,58 | 0,75 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,65 | 3,60 | 3,45 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 8,00 | 4,80 | 3,45 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | | 1,6 | 2,3 |

Таким образом, текущая разработка с позиции сравнительной эффективности выгодна за счет экономии ресурсов.

3 Социальная ответственность

Введение

В представленной работе разработана система автоматического регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой

В процессе трудовой деятельности специалиста, осуществляющего работу за учебным стендом «Система автоматического регулирования температуры химического реактора 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.

Целью дипломной части этой степени бакалавра является анализ опасных и вредных факторов на производстве, анализ степени их воздействия на людей и определение потенциальных мер по сбалансированию их воздействия на инженеров. Кроме того, также рассматриваются вопросы охраны окружающей среды, пожарной безопасности, а также организационные и правовые вопросы.

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с 94 статьей ТК РФ длительность рабочей смены для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать:

- 1) при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов;

2) 2) при 30-часовой рабочей неделе и менее – 6 часов [13].

3) В течение рабочего дня (смены) работник должен получить перерыв на отдых и обед продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, которые не включаются в рабочее время.

4) Согласно ГОСТ 12.2.032-78 [14], конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы.

Основными элементами на рабочем месте являются стол и кресло. главное место работы - сидеть. Поэтому, чтобы исключить возникновение заболеваний, связанных с низкой текучестью кадров, необходимо иметь возможность свободно менять позы. Необходимо также наблюдать за работой и 74 отдыхом в системе, заполненной "отвлекающими" мышечной нагрузкой на те части мышечной кости, которые не включены в основные рабочие позы. рабочее кресло должно быть оборудовано подъемно - поворотным механизмом. высота сиденья должна быть установлена в пределах (400 - 500) мм, глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. высота опоры спинки должна быть не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм, угол наклона спинки стула к плоскости кресла должен изменяться (90° - 110°).

3.2. Производственная безопасность при эксплуатации

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке и эксплуатации учебного стенда. В таблице 19 приведены опасные и вредные факторы при выполнении работ за учебным стендом «Система автоматического регулирования температуры химического реактора с водяной рубашкой».

Таблица 19. Возможные опасности и вредные факторы

| Факторы ГОСТ 12.0.003-2015 | Нормативные документы |
|---|--|
| 1.Повышенный уровень шума на рабочем месте; | ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. |

| | |
|---|--|
| 2.Недостаточная освещенность рабочей зоны; | ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. |
| 3.Отклонение показателей микроклимата | СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. |
| 4.Монотонность труда, вызывающая монотонию; | ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места Файл |
| 5.Длительное сосредоточенное наблюдение | ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация |
| 6.Электробезопасность – Статическое электричество – Короткое замыкание | ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; |
| 7.Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека; | ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация Файл ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация |

3.2.1. Повышенный уровень шума на рабочем месте.

При выполнении работ, 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.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [21]. Выполняемые работы можно отнести к конструированию, проектированию и программированию, рабочее место при этом располагается в лаборатории для теоретических работ и обработки данных. Исходя из этого, уровень звука должен находиться в пределах 50 дБА, согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [21]. Уровень шума исправного современного компьютера находится в пределах от 33 до 47 дБА. Рабочее место удовлетворяет нормативным требованиям.

Таблица 20. Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука

| 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, программы, 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 [22].

В качестве индивидуальных средств защиты от шума специалистом могут быть использованы специальные противошумные наушники, которые обезопасят пользователя от вредного воздействия шумов и помогут сделать условия работы более комфортными [22].

3.2.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света

Освещение рабочего места специалиста, работающего за учебным стендом «Система автоматического регулирования температуры химического реактора 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 [22].

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 [22].

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

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК согласно СНиП 23-05-95 [17]. Данные требования представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК

| | |
|---|------------------------------|
| Освещенность на рабочем столе | (300 – 500) лк |
| Освещенность на экране ПК | не выше 300 лк |
| Блики на экране | не выше 40 кд/м ² |
| Прямая блескость источника света | 200 кд/м ² |
| Показатель ослеплённости | не более 20 |
| Показатель дискомфорта | не более 15 |
| Отношение яркости: | |
| – между рабочими поверхностями | 3:1–5:1 |
| между поверхностями стен и оборудования | 10:1 |
| Коэффициент пульсации: | не более 5% |

В случае недостатка освещения можно предложить к исполнению следующие мероприятия: введение дополнительных источников искусственного света, помещения для отдыха, регламентация времени работы, сокращение рабочего дня и т.д.

3.2.3. Отклонение показателей микроклимата

Требования к параметрам микроклимата определяются согласно СанПиН 1.2.3685-21 [15]. Показатель микроклимата должен обеспечивать поддержание теплового баланса между людьми и окружающей средой и поддерживать оптимальное или допустимое теплое состояние организма, обеспечивая тем самым высокий уровень эффективности.

Отклонение от микроклиматических показателей может быть вызвано особенностями конструкции производственных объектов, функциями производственного оборудования и климатическими условиями окружающей среды.

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

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

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата и поддержания его оптимальных условий должны быть использованы защитные мероприятия: введение системы местного кондиционирования воздуха, регламентация времени работы и т.д.

3.2.4. Монотонность труда, вызывающая монотонию

Монотония — это специфическое функциональное состояние, характеризующееся снижением уровня жизнедеятельности в результате воздействия однообразных раздражителей, то есть снижением внешней стимуляции. Монотония чаще всего возникает как следствие рабочей ситуации, но может быть и результатом индивидуального стиля жизни или следствием сложившихся жизненных обстоятельств, которые вызывают скуку и «голод чувств». Проявлением рабочей монотонии является притупление остроты внимания, ослабление способности к его переключению, снижение бдительности, сообразительности, ослабление воли, появление сонливости. Для состояния характерны сонливость, безразличие или негативное отношение к работе, сниженное внимание, психогенная усталость, которая формируется уже в начале рабочего дня. При этом возникает неприятное эмоциональное переживание, заключающееся в стремлении выйти из этой обстановки. Все эти явления быстро исчезают при вхождении человека в нормальную внешнюю среду [18].

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции и регламентированные перерывы.

3.2.5. Длительное сосредоточенное наблюдение

Длительное сосредоточенное наблюдение необходимо на рабочих местах, где состояние наблюдаемого объекта все время изменяется, и деятельность работника заключается в периодическом решении ряда задач, непрерывно следующих друг за другом, на основе получаемой и постоянно меняющейся информации.

в моей работе нужно внимательно следить за переходом системы. Поэтому для уменьшения усталости от длительного сосредоточенного наблюдения, согласно ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. К рабочему месту исследователя можно предъявить следующие основные требования: конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должны обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейноплечевой области и спины, обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы.

Также очень важно поддерживать оптимальный режим труда и отдыха, для профилактики и предотвращения психического и физического переутомления.

3.2.6. Электробезопасность

Помещение, где расположены персональные вычислительные машины, относится к помещениям без повышенной опасности [23]. Однако, опасное и вредное воздействия на людей электрического тока и электрической дуги проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний [22]. 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 [23].

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 приэкранный фильтра.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения электрическим током увеличивается или уменьшается. Не подключайтесь к земле при высокой влажности (с относительной влажностью более 75% в течение длительного времени), высокой температуре (более 35°C), электропроводной пыли, электропроводности пола и металлических элементов при возможности одновременного контакта. Максимальное допустимое напряжение прикосновения и ток в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 [13]. В качестве мер защиты от прямого контакта с проводниками тока, согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [20], необходимо применять следующие защитные меры:

Основная изоляция;

Защитные оболочки;

Безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями.

Все вышеперечисленные меры защиты соблюдены на рабочем месте.

3.2.7. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

Термические ожоги — это ожоги, вызванные теплом от жидкостей, открытым огнем, горячими предметами и взрывами. Наиболее важным приоритетом при термических ожогах является контроль и остановка процесса горения.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Во время работы дистилляционного резервуара температура корпуса резервуара повышается из-за нагрева. В процессе нагрева снаружи корпуса резервуара не происходит очевидных изменений. Работник не может определить температуру, что может привести к ожогам от прикосновения.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. К средствам защиты от пониженных или повышенных температур поверхностей оборудования, используя оградительное ограждение по периметру дистилляционного бака, чтобы рабочие не прикасались к нему с соответствующими предупреждающими вывесками.

3.3. Экологическая безопасность

Воздействие на селитебную зону не происходит.

Воздействие на атмосферу – эти выбросы делят на газовые и аэрозольные, выбрасываемые в атмосферу через трубу, и жидкие сбросы, в которых вредные примеси присутствуют в виде растворов или мелкодисперсных смесей, попадающие в водоемы.

Воздействие на гидросферу – продукты жизнедеятельности персонала

Воздействие на литосферу могут быть бытовые отходы (электронные устройства), утилизация люминесцентных ламп, макулатуры, в результате чего загрязнение почвы или загрязняющие вещества, двуокись углерода, попадают в атмосферу в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, их можно отнести к отходам электронной промышленности. Пластмассовые части ПК утилизируются при

высокотемпературном нагреве без доступа воздуха. Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

В конце срока службы ПК они могут быть отнесены на счет отходов электронной промышленности. Пластмассовые компоненты РС обрабатываются при высокой температуре нагрева, без доступа воздуха. Компьютерные компоненты, печатные платы, содержащие тяжелые металлы, и огнезащитные составы при сгорании выделяют опасный углекислый газ. Таким образом, в отношении опасных отходов существуют специальные печи, в которых допускается использование теплоты для сжигания. Однако такой способ удаления является дорогостоящим и не должен исключать возможности образования токсичных выбросов

При неправильной утилизации люминесцентных ламп ртуть попадает в почву, воду, воздух. Через них она питает животных или растения, попадая после этого в организм человека в виде пищи. Прямое попадание может привести к смерти человека.

Следовательно, необходимо утилизировать люминесцентные лампы с помощью специализированных организаций, имеющих лицензию на данный вид деятельности

3.4. 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. [23].

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 [23].

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 наличие 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 [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье анализируются характеристики "системы автоматического регулирования температуры на основе водяной рубашки" и создается математическая модель. Выбирается схема ПИД-регулирования, изучается принцип управления, характеристики системы и методы проектирования этого метода управления.

ПИД-регулятор широко используется в процессе промышленного управления, и настройка параметров ПИД-регулятора также является актуальной темой, изучаемой большинством ученых-исследователей. Люди всегда хотят найти быстрый, эффективный и точный метод настройки, не требующий глубоких знаний динамических параметров процесса управления.

Алгоритм оптимизации роя частиц, после десятилетий разработки, многие эксперты и ученые улучшили его, повысив точность сходимости и скорость алгоритма, и он широко используется в оптимизации функций, обучении нейронных сетей, оптимизации параметров управления промышленными процессами, решении задачи математической оптимизации и достигли хороших результатов.

В этой статье улучшенный алгоритм оптимизации роя частиц применяется для настройки параметров PID, и получены удовлетворительные результаты оптимизации.

ПИД-регулятор был разработан и смоделирован с помощью Simulink. Анализируя кривую реакции системы, можно увидеть, что система не имеет ошибки в установившемся режиме при использовании метода выпрямления PSO, и соответствует характеристикам менее 4% перерегулирования и быстрого времени стабилизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ 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
5. Программируемое реле с дисплеем ОВЕН ПР200 URRL: http://www.owen.ru/catalog/programmiruемое_rele_pr200/77396741
6. Спецификация датчика температуры ОВЕН ДТС015-И. URRL: http://www.owen.ru/catalog/termopreobrazovateli_soprotivleniya_dts_tipa_tsp_tsm/87380592
7. Спецификация датчика тока АМЕ-8821-5. URRL: http://www.aktakom.ru/kio/index.php?SECTION_ID=13700&ELEMENT_ID=6467389
8. Спецификация насоса. URRL: <http://www.gruppa-omega.ru/price-list/16-jelektronasos-omyvatelja-stekol.html>

9. Закон Ньютона-Рихмана. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ньютон-Рихман>
10. Линеаризация моделей Simulink
URL:
<https://matlab.ru/solutions/application/control-systems/linearization>
11. Методы настройки ПИД-регулятора.
URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_5.aspx
12. Модификации ПИД-регуляторов
URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_3.aspx
13. Особенности реальных регуляторов
URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_4.aspx
14. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
15. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
16. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175с.
17. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
18. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>.
19. Безопасность жизнедеятельности. Учебник. Под ред. Э.А. Арустамова / 10-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во «Дашков и К°», 2006. — 476 с.
20. 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

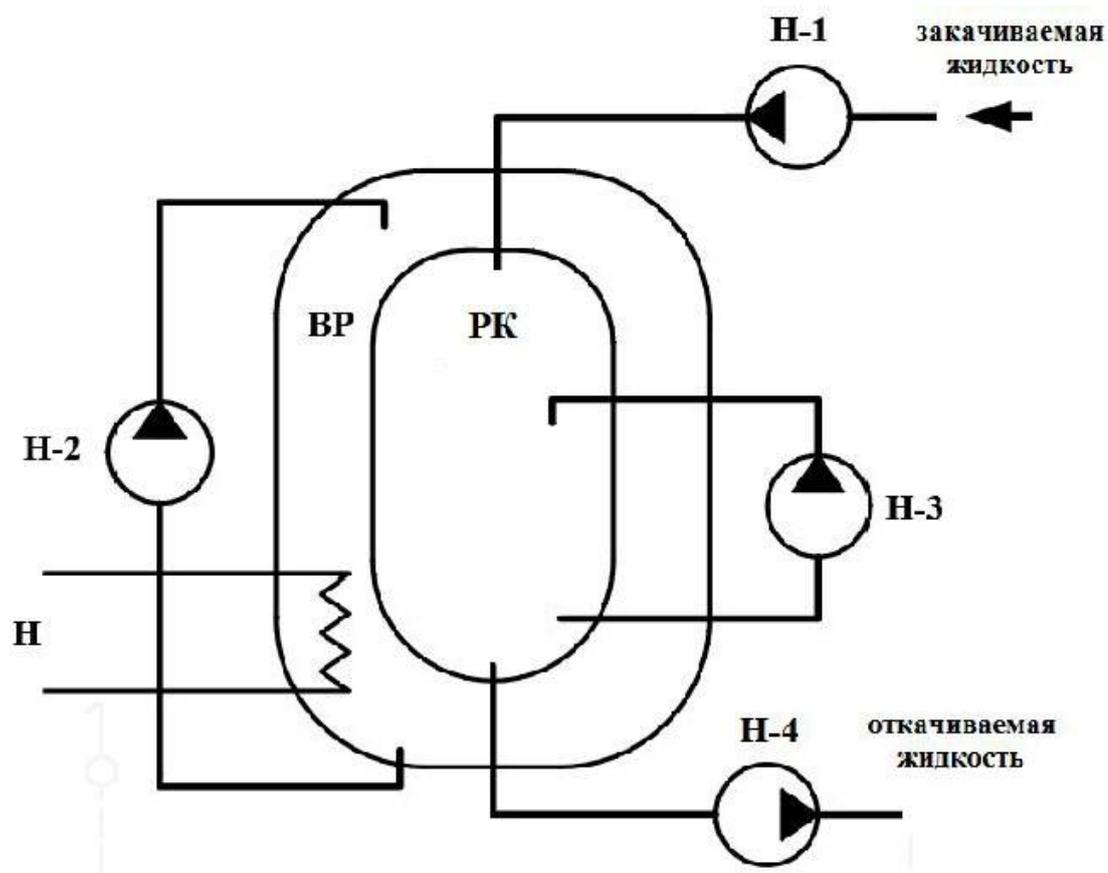
21. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в
производственных условиях»

22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к
персональным

23. Системы автоматического контроля и сбора информации (SCADA)

URLL:<https://bourabai.ru/dbt/scada.htm>

Приложение А Функциональная схема технологического процесса



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