

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  
 ООП – Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

|   |
|---|
| Тема работы   |
| <b>Разработка системы управления на основе ПИД–регулятора</b> |

УДК:681.51:62–551.454

Обучающийся

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 158T92 | Цинь Мэньюань |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность                       | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ОАР ИШИТР | Беляев А.С. |                           |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность        | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Былкова Т.В. | К.Э.Н                     |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность          | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ООД ШБИП | Сечин А.И. | Д.Т.Н.                    |         |      |

Нормоконтроль (при наличии)

| Должность           | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ОАР ИШИТР | Кучман А.В. |                           |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП, должность | ФИО                | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОАР ИШИТР            | Скороспешкин М. В. | К.Т.Н                     |         |      |

Томск – 2023 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

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

|                |   |
|----------------|---|
|                | тики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования   |
| <b>ПК(У)–2</b> | способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико–механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий  |
| <b>ПК(У)–3</b> | готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств  |
| <b>ПК(У)–4</b> | способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования |
| <b>ПК(У)–5</b> | 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  |
| <b>ПК(У)–6</b> | способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа  |
| <b>ПК(У)–7</b> | 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  |
| <b>ПК(У)–8</b> | способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ПК(У)–9</b>  | способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления   |
| <b>ПК(У)–10</b> | способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления  |
| <b>ПК(У)–11</b> | способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования |
| <b>ПК(У)–18</b> | способен аккумулировать научно–техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством   |
| <b>ПК(У)–19</b> | способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами   |
| <b>ПК(У)–20</b> | способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций   |
| <b>ПК(У)–21</b> | способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ПК(У)–22</b> | способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно–методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения |
|-----------------|--|

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – Шифр «Наименование направления»  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

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

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

| Группа | ФИО           |
|--------|---------------|
| 158Т92 | Цинь Мэньюань |

Тема работы:

|  |                         |
|--|-------------------------|
| Разработка системы управления на основе ПИД–регулятора |                         |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)            | № 33–43/с от 02.02.2023 |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи обучающимся выполненной работы: | 01.06.2023 |
|--|------------|

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|  |   |
|--|---|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>                              | <p>Объектом исследования (разработки) является двигатель постоянного тока.</p> <p>Целью данной работы является разработка автоматической системы посредством ПИД–регулирования для более стабильного и быстрого управления объектом для достижения желаемого эффекта.</p> |
| <p><b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1: Расскажите о знаниях, связанных с PID.</li> <li>2: Изучение объектов управления.</li> <li>3: Оптимизируйте объект управления.</li> <li>4: Сравните результаты и сделайте выводы.</li> </ol>                                     |

|   |  |
|---|--|
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i> |  |
|---|--|

|  |  |
|--|--|
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |  |
| <b>Раздел</b>  | <b>Консультант</b>                                   |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                    | Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. |
| Социальная ответственность   | Сечин Александр Иванович, профессор ООД ШБИП, д.т.н. |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>                       |  |
|  |  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 02.02.2023 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

| Должность                       | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|---------------------------------|-------------|------------------------|---------|------------|
| Старший преподаватель ОАР ИШИТР | Беляев А.С. |                        |         | 02.02.2023 |

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата       |
|--------|---------------|---------|------------|
| 158Т92 | Цинь Мэньюань |         | 02.02.2023 |

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Уровень образования – Бакалавриат  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

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

Обучающийся:

| Группа | ФИО           |
|--------|---------------|
| 158Т92 | Цинь Мэньюань |

Тема работы:

|  |
|--|
| Разработка системы управления на основе ПИД–регулятора |
|--|

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи обучающимся выполненной работы: | 01.06.2023 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                    | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--|------------------------------------|
| 29.05.2023 г. | Основная часть ВКР   | 60                                 |
| 30.05.2023 г. | Раздел «Социальная ответственность»                                      | 20                                 |
| 30.05.2023 г. | Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | 20                                 |

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

| Должность                       | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ОАР ИШИТР | Беляев А.С. |                        |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

**Обучающийся**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата |
|--------|---------------|---------|------|
| 158Т92 | Цинь Мэньюань |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 71 с, 21 рис, 15 табл, 3 источника  
в.

Ключевые слова: система автоматического управления, PID– регулятор.  
Объектом исследования (разработки) является двигатель постоянного тока.

Целью данной работы является разработка автоматической системы посредством ПИД–регулирования для более стабильного и быстрого управления объектом для достижения желаемого эффекта.

В процессе исследования проводилось: Найдите передаточную функцию объекта управления, используйте результат оптимизации PID, используйте метод CHR для оптимизации и уменьшите перерегулирование изображения объекта управления.

Контроллер сравнивает собранные данные с эталонным значением и использует эту разницу для расчета нового входного значения, которое предназначено для приведения данных системы к эталонному значению или его поддержания.

Область применения: PID–регуляторы могут в разной степени применяться в различных промышленных средах.

В будущем интеллектуальные методы управления могут быть интегрированы с традиционными методами PID–регулирования для создания множества форм интеллектуальных PID–регуляторов.

## Содержание

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Обзор типовых систем управления .....  | 13 |
| 1.1   | Настройка параметров алгоритма управления .....  | 15 |
| 1.2   | Стабильность .....   | 16 |
| 1.3   | Оптимальная производительность .....   | 16 |
| 1.4   | Программное обеспечение для ввода в эксплуатацию PID .....   | 17 |
| 1.5   | Ограничения PID –регулирования .....   | 17 |
| 1.6   | Линейный .....   | 18 |
| 1.7   | Влияние шума на дифференциатор .....   | 19 |
| 1.8   | Модификация алгоритма PID .....  | 19 |
| 1.9   | Интегральное насыщение .....   | 19 |
| 1.10  | ПИ–контроллеры .....   | 20 |
| 1.11  | Последовательный PID –регулятор .....  | 21 |
| 2     | Разработка системы управления .....  | 22 |
| 2.1   | Описание объекта контроля .....  | 22 |
| 2.2   | Передаточная функция и оптимизация ПИД .....   | 25 |
| 2.3   | Anti–Windup Control используя блок ПИД–регулятора .....  | 29 |
| 2.4   | Более оптимизирован .....  | 33 |
| 3     | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....  | 38 |
| 3.1   | Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ..... | 38 |
| 3.1.1 | Потенциальные потребители результатов исследования .....   | 38 |
| 3.1.2 | Анализ конкурентных технических решений .....  | 38 |
| 3.2   | Определение возможных альтернатив проведения научных исследований .....  | 39 |
| 3.3   | Планирование научно–исследовательских работ .....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....  | 40 |
| 3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....   | 41 |
| 3.4 Бюджет научно–технического исследования (НТИ) .....   | 42 |
| 3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой<br>эффективности исследования .....  | 44 |
| 4 Социальная ответственность .....  | 48 |
| 4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения<br>безопасности .....  | 48 |
| 4.1.1 Производственная безопасность .....   | 49 |
| 4.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.<br>Повышенная загазованность воздуха рабочей среды .....                                  | 50 |
| 4.2.1 Неблагоприятные условия микроклимата .....  | 52 |
| 4.2.2 Повышенный уровень шума .....   | 53 |
| 4.2.3 Отсутствие или недостаток необходимого<br>искусственного освещения .....  | 53 |
| 4.2.4 Монотонность труда, вызывающая монотонию .....  | 54 |
| 4.2.5 Анализ опасных факторов .....   | 54 |
| 4.2.6 Производственные факторы, связанные с повышенным<br>образованием электростатических зарядов на корпусе<br>разрабатываемого устройства ..... | 55 |
| 4.2.7 Поражение электрическим током .....   | 56 |
| 4.2.8 Работа с сосудами под давлением .....   | 57 |
| 4.3 Экологическая безопасность при эксплуатации .....   | 57 |
| 4.3.1 Воздействие на селитебную зону .....  | 57 |
| 4.3.2 Воздействие на атмосферу .....  | 58 |
| 4.3.3 Методы защиты .....   | 59 |
| 4.3.4 Воздействие на гидросферу .....   | 60 |
| 4.3.5 Воздействие на литосферу .....  | 60 |
| 4.4 Экологическая безопасность .....  | 61 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.4.1 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях Анализ<br>возможных ЧС газовой котельной ..... | 61 |
| 4.4.2 | Наиболее вероятная ЧС газовой котельной. Пожар в<br>котельной .....                  | 61 |
| 4.4.3 | Меры по предупреждению .....   | 61 |
| 4.4.4 | План действий в случае ЧС .....  | 62 |
| 4.5   | Выводы по разделу .....  | 63 |
|       | Заключение .....   | 65 |
|       | Список используемых источников .....   | 66 |
|       | Приложение А .....   | 68 |
|       | Приложение Б .....   | 69 |
|       | Приложение В .....   | 70 |
|       | Приложение Г .....   | 71 |

## 1 Обзор типовых систем управления

ПИД–регуляторы, состоящие из пропорционального, интегрального и деривативного блоков, могут быть настроены путем регулировки коэффициента усиления этих трех блоков. ПИД–регуляторы в основном подходят для систем, которые являются по существу линейными и динамические характеристики которых не изменяются со временем.

ПИД–регулятор является распространенным компонентом контура обратной связи в промышленных системах управления. Контроллер сравнивает собранные данные с эталонным значением и использует эту разницу для расчета нового входного значения, которое предназначено для приведения данных системы к эталонному значению или его поддержания. ПИД–регулятор может регулировать входное значение на основе исторических данных и скорости появления разницы, чтобы сделать систему более точной и стабильной.

Пропорциональная единица (P), интегральная единица (I) и дифференциальная единица (D) ПИД–регулятора соответствуют текущей ошибке, накопленной прошлой ошибке и будущей ошибке соответственно. Если характеристики управляемой системы неизвестны, ПИД–регулятор обычно считается наиболее подходящим регулятором. Регулируя три параметра ПИД–регулятора, можно настроить систему управления, чтобы попытаться удовлетворить требования проекта. Реакция регулятора может быть выражена в терминах скорости и реакции регулятора на ошибки, степени перерегулирования регулятора и степени колебания системы. Однако использование ПИД–регулятора не обязательно гарантирует оптимальное управление системой, равно как и стабильность системы.

В некоторых приложениях требуются только некоторые из единиц ПИД–регулятора, и параметры ненужных единиц можно установить на ноль. Поэтому ПИД–регуляторы могут быть преобразованы в ПИ–регуляторы, ПД–регуляторы, P–регуляторы или I–регуляторы. Из них чаще всего используется ПИ–регулятор, поскольку D–регулятор очень чувствителен к шуму обратного обу

чения, а без I-регулятора система не вернется к опорному значению и будет существовать величина ошибки.

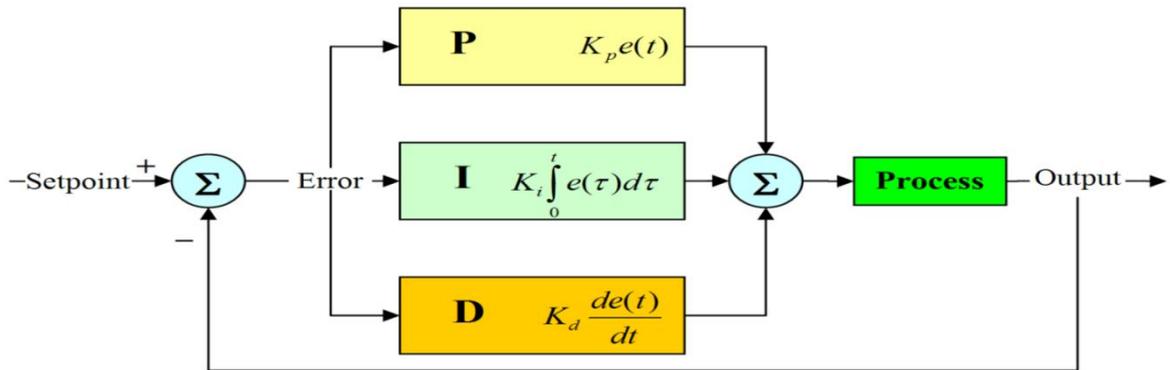


Рисунок 1 – Структура ПИД регулятора

Название PID происходит от трех алгоритмов коррекции. Управляемая переменная является результатом суммирования трех алгоритмов (пропорционального, интегрального и дифференциального), что является ее выходом, а ее входом является либо значение ошибки (заданное значение минус измеренное значение), либо сигнал, полученный из значения ошибки. Если  $u(t)$  определяется как управляющий выход, алгоритм ПИД может быть представлен следующим уравнением.

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

Где:

$K\{p\}$  – пропорциональный коэффициент усиления, который является параметром настройки;

$K\{i\}$  – интегральный коэффициент усиления, также является параметром настройки;

$K\{d\}$  – дифференциальный коэффициент усиления, также является параметром настройки;

$e$  – ошибка = заданное значение (SP) – возвращаемое значение (PV);

$t$  – текущее время,

$\Pi$  – Интегральная переменная, значение от 0 до текущего времени  $t$ .

В более технических терминах ПИД–регулятор можно представить как фильтр для системы в частотной области. Это свойство полезно при расчете того, достигнет ли контроллер в конечном итоге стабильного результата. Если значения выбраны неправильно, входные значения для системы управления могут многократно колебаться, что может привести к тому, что система никогда не достигнет заданных значений.

Общими передаточными функциями для ПИД–регуляторов являются:

$$H(s) = \frac{K_d s^2 + K_d s + K_i}{s + C}, \quad (2)$$

где  $C$  : константа, зависящая от пропускной способности системы.

### 1.1 Настройка параметров алгоритма управления

Настройка параметров ПИД означает регулировку параметров управления (пропорциональный коэффициент усиления, интегральный коэффициент усиления/время, дифференциальный коэффициент усиления/время) для достижения наилучшего управления системой. Стабильность (отсутствие расходящихся колебаний) является главным условием. Кроме того, различные системы имеют различное поведение, а различные приложения имеют различные потребности, которые также могут противоречить друг другу.

Имея всего три параметра, ПИД–регуляторы в принципе легко проиллюстрировать, но настройка параметров ПИД–регулятора является сложной задачей, поскольку существуют определенные критерии, которым необходимо соответствовать, и ПИД–регулирование имеет свои ограничения. В истории существует множество различных способов настройки параметров ПИД–регулятора, включая метод Циглера–Николса и другие, некоторые из которых были запатентованы.

Проектирование и ввод в эксплуатацию ПИД–регуляторов концептуально интуитивно понятны, но трудновыполнимы на практике, если необходимо достичь нескольких (и противоречивых) целей (например, высокой стабильности

и и быстрых переходных процессов). Параметры ПИД-регулятора могут быть очень эффективными при тщательной настройке, и наоборот, могут быть очень неэффективными при неправильной адаптации. Первоначальная конструкция часто требует непрерывного компьютерного моделирования и изменения параметров до тех пор, пока не будет достигнута желаемая производительность или приемлемый компромисс.

Некоторые системы имеют нелинейные характеристики, и, если параметры, настроенные при отсутствии нагрузки, могут не работать при полной нагрузке, их можно скорректировать с помощью планирования усиления (используя разные значения для разных условий).

## **1.2 Стабильность**

Если параметры ПИД-регулятора выбраны неправильно, выход регулятора может быть нестабильным, т.е. его выход может быть рассеянным, с колебаниями процесса или без них, и его выход может быть ограничен только насыщением или механическим повреждением. Нестабильность обычно вызывается чрезмерным усилением, особенно в системах с большими задержками.

В целом, ПИД-регуляторы требуют стабильного отклика, без больших колебаний, независимо от комбинации программных условий и заданных значений, хотя иногда допустима критическая стабильность.

## **1.3 Оптимальная производительность**

Оптимальная производительность ПИД-регулятора может быть связана с изменением процесса или изменением уставки и зависит от конкретного применения.

Два основных требования: регулирование (отклонение помех для поддержания системы на заданном уровне) и выполнение команды (как быстро выход контроллера следует за заданным значением при его изменении). Некоторые из критериев выполнения команды включают время нарастания и время у

становления. В некоторых случаях по соображениям безопасности не допускается превышение заданного значения выходного сигнала, в то время как в других случаях требуется, чтобы энергия, используемая для достижения заданного значения, была минимальной.

#### **1.4 Программное обеспечение для ввода в эксплуатацию PID**

Большинство современного промышленного оборудования больше не настраивается с помощью описанных выше ручных расчетов, вместо этого для достижения стабильных результатов используется программное обеспечение для настройки и оптимизации ПИД-регуляторов. Программное обеспечение будет собирать информацию, строить модели и обеспечивать наилучшие результаты ввода в эксплуатацию, некоторые программы могут даже использовать вариации эталонных команд для ввода в эксплуатацию.

Математическая настройка ПИД добавляет импульсы в систему и использует частотную характеристику управляемой системы для проектирования параметров ПИД. Для систем с временем отклика в несколько минут рекомендуется математический ввод в эксплуатацию ПИД-регулятора, поскольку поиск параметров, которые стабилизируют систему, методом проб и ошибок может занять несколько дней. Оптимальные решения найти нелегко, некоторые цифровые контроллеры контуров имеют программы самонастройки, которые используют крошечные опорные команды для расчета наилучших значений настройки.

Существуют также другие формулы отладки, которые создаются на основе различных критериев производительности. Многие запатентованные формулы встроены в программные и аппаратные модули отладки ПИД-регулятора.

#### **1.5 Ограничения PID –регулирования**

ПИД–регулирование может применяться для решения многих задач управления, чаще всего с хорошими результатами, когда параметры настраиваются в Онтарии, хотя в некоторых приложениях оно может иметь плохие результаты и в целом не обеспечивает оптимального управления. В отсутствие модели управляемой системы ПИД–регулирование является наилучшим регулятором, но в сочетании с моделью системы можно добиться дальнейших улучшений.

К недостаткам ПИД–регуляторов относятся неспособность справиться с нелинейностью управляемой системы, необходимость компромисса между временем реакции и скоростью настройки, неспособность реагировать на изменение параметров (например, изменение характеристик системы после прогрева) и запаздывание формы сигнала при больших возмущениях.

Наиболее значительным усовершенствованием ПИД–регуляторов является работа с feed–forward control, добавление информации о системе и использование только ПИД–регулятора для контроля ошибок. Существуют также некоторые небольшие усовершенствования ПИД–регуляторов, такие как настройка параметров (планирование усиления или адаптация к производительности), улучшение характеристик (увеличение частоты дискретизации, точности и аккуратности, добавление фильтров низкой волны, если требуется) или использование нескольких ПИД–регуляторов последовательно.

## **1.6 Линейный**

Общая проблема с ПИД–регуляторами заключается в том, что они линейны и симметричны по своей природе, что может меняться при применении к некоторым нелинейным системам. В случае регулирования температуры, что является обычным в HVAC, может использоваться активный нагрев (нагрев с помощью нагревателя), но охлаждение осуществляется с помощью пассивного охлаждения (без нагрева, естественное охлаждение), скорость охлаждения намного медленнее, чем скорость нагрева, и если на выходе происходит пере

регулирование, скорость снижения очень медленная, поэтому ПИД-регулирование должно быть настроено на перерегулирование без демпфирования, чтобы уменьшить или избежать перерегулирования, но это также увеличивает время выпрямления и ухудшает производительность.

### **1.7 Влияние шума на дифференциатор**

Проблема с дифференциатором заключается в том, что он оказывает усиливающее воздействие на высокочастотный шум, возникающий при измерениях или процедурах, и поэтому вызывает большие колебания на выходе. Поэтому реальный контроллер не будет иметь идеального дифференциатора, а только дифференциатор с ограниченной полосой пропускания или фильтр высоких частот. Как правило, для удаления высокочастотного шума к измерению добавляется фильтр низких частот, но, если фильтр низких частот и дифференциатор отменяются, эффект фильтрации ограничен, поэтому важно иметь малошумное измерительное устройство. На практике медианный фильтр может быть использован для настройки эффективности фильтрации и действительно производительности. Иногда дифференциатор может быть отключен с незначительным влиянием на эффективность управления, в этом случае он называется ПИ-регулятором.

### **1.8 Модификация алгоритма PID**

Базовый алгоритм PID несколько неадекватен условиям некоторых приложений управления и требует незначительных модификаций.

### **1.9 Интегральное насыщение**

Насыщение интеграла является общей проблемой при реализации идеальных ПИД-алгоритмов. При большом изменении заданного значения величина интегрирования резко изменится, настолько, что выходное значение будет насыщено верхним и нижним пределами, поэтому система будет проскакивать

ь, и даже если знак величины ошибки изменится и величина интегрирования станет меньше, выходное значение все равно будет ограничено верхним и нижним пределами и останется на верхнем (или нижнем) пределе, поэтому выход не будет казаться изменившимся, и система будет продолжать проскакивать, пока выходное значение не попадет в верхний и нижний пределы и возвращение системы пока выходное значение не попадет в верхний и нижний пределы, тогда объем возврата системы начнет уменьшаться. Эта проблема может быть решена следующим образом.

Приостановить интегрирование, когда переменные программы выходят из контролируемого диапазона.

Позволяет ограничить значение интегрирования небольшим верхним и нижним диапазоном.

Пересчитайте член интегрирования таким образом, чтобы выход контроллера оставался в диапазоне между верхним и нижним пределами.

### 1.10 ПИ–контроллеры

ПИ–регуляторы (пропорционально–интегральные регуляторы) – это ПИД–регуляторы, в которых не используются дифференциальные единицы.

Выход контроллера составляет:

$$K_p \Delta + K_i \int \Delta dt \quad (3)$$

где  $\Delta$  – ошибка между заданным значением SP и измеренным значением PV.

$$\Delta = SP - PV \quad (4)$$

ПИ–регулятор можно смоделировать с помощью программного обеспечения, такого как Simulink или Xcos, используя каркас "блок–схемы" со следующими операторами Раша.

Выбор значения G – это компромисс между уменьшением перерегулирования и увеличением времени установления.

Дифференциальные блоки особенно чувствительны к высокочастотным сигналам на входе, а ПИИ–регуляторы более стабильны в устойчивом состоянии и при зашумленном сигнале, поскольку в них нет дифференциального блока. Однако реакция на быстрые изменения состояния происходит медленнее, поэтому по сравнению с ПИД–регулятором, адаптированным к оптимальному значению, ПИИ–регулятор будет медленнее достигать заданного значения, после возмущения также медленнее возвращаться к нормальным значениям.

Управление PDF (псевдодеривативное управление с обратной связью) можно рассматривать как вариант ПИИ–регулятора, вход пропорционального регулятора от значения ошибки до возвращаемого значения.

### **1.11 Последовательный PID –регулятор**

Два ПИД–регулятора могут быть объединены для получения лучших результатов, это называется тандемным ПИД–регулированием. Один из ПИД–регуляторов находится во внешнем контуре и управляет основными физическими величинами, такими как уровень жидкости или скорость, а другой ПИД–регулятор находится во внутреннем контуре и использует выход ПИД–регулятора внешнего контура в качестве целевого значения, обычно для более быстроменяющихся параметров, таких как расход или ускорение. Если используется последовательное ПИД–регулирование, рабочая частота регулятора может быть увеличена, а его постоянная времени уменьшена.

Например, ванна с циркулирующей водой с регулируемой температурой имеет два последовательных ПИД–регулятора, каждый со своим датчиком температуры с термопарой. Контроллер внешнего контура управляет температурой воды, датчик находится далеко от нагревателя и измеряет общую температуру воды напрямую, ошибка – это разница между идеальной температурой воды и общей температурой воды. Выход ПИД–регулятора внешнего контура является целевым значением для регулятора внутреннего контура, регулятор внутреннего контура управляет нагревателем, датчик находится на нагреват

еле, ошибка – это разница между идеальной температурой нагревателя и измеренной температурой, выход будет поддерживать нагреватель вблизи заданного значения.

Параметры регуляторов внутреннего и внешнего контуров могут значительно отличаться, ПИД–регулятор внешнего контура имеет большую постоянную времени, которая соответствует времени, необходимому для того, чтобы вся вода нагрелась или остыла. ПИД–регулятор внутреннего контура будет более отзывчивым. Каждый контроллер может быть настроен в соответствии с системой, которой он управляет, например, всей водой в баке или самим нагревателем.

## 2 Разработка систему управления

### 2.1 Описание объекта контроля

Двигатели постоянного тока имеют следующие механические характеристики:

$$n = \frac{U_d - I_d R_a}{C_e}, \quad (5)$$

Где:

$n$  – скорость вращения;

$U_d$  – напряжение якоря;

$I_d$  – ток якоря ;

$R_a$  – сопротивление якоря;

$C_e$ – коэффициент электрического потенциала при номинальном потоке.

Также для тока якоря как функции электромагнитного момента существует следующая зависимость:

$$T_e = C_m I_d . \quad (6)$$

Где:

$T_e$  – электромагнитный крутящий момент;

$C_m$  – коэффициент крутящего момента при номинальном магнитном потоке.

А противоэлектродвижущая сила двигателя связана со скоростью двигателя следующим образом:

$$E = C_e n . \quad (7)$$

При уравнивании цепи общее сопротивление приравнивается к одному сопротивлению, общая индуктивность – к одной индуктивности, а противодействующая электродвижущая сила – к скорости при возбуждении.

Эквивалентная схема показана на диаграмме ниже (рисунок 2).

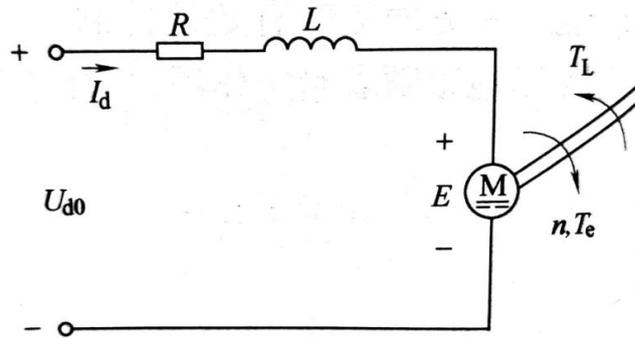


Рисунок 2 – Эквивалентная схема двигателя постоянного тока

Уравнение динамического напряжения имеет вид:

$$U_{d0} = R I_d + l \frac{dI_d}{dt} + E. \quad (8)$$

Если пренебречь моментом вязкого трения и упругим моментом, уравнение динамики для вала двигателя имеет вид:

$$T_e - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (9)$$

Замените некоторые константы модели следующим образом:

$$T_m = \frac{GD^2 R}{375 C_e C_m}, \quad (10)$$

$$T_l = \frac{L}{R}, \quad (11)$$

Где :

$T_l$  – электромагнитная постоянная времени для цепей якоря;

$T_m$  – электромеханическая постоянная времени для систем тяги мощности.

Уравнение напряжения эквивалентной схемы вычитается из противодействующей электродвижущей силы двигателя, чтобы найти напряжение на эквивалентном резисторе и индукторе:

$$U_d - E = R \left( I_d + T_l \frac{dI_d}{dt} \right) \quad (12)$$

$$I_d - I_L = \frac{T_m}{R} \frac{dE}{dt} \quad (13)$$

$I_L$  – ток нагрузки, рассчитываемый по формуле:

$$I_L = \frac{T_L}{C_m} \quad (14)$$

После выполнения преобразования Лапласа для обеих сторон двух вышеприведенных уравнений, передаточная функция напряжения и тока получается следующим образом:

$$\frac{I_d(s)}{U_{d0}(s) - E_d(s)} = \frac{1/R}{T_l s + 1} \quad (15)$$

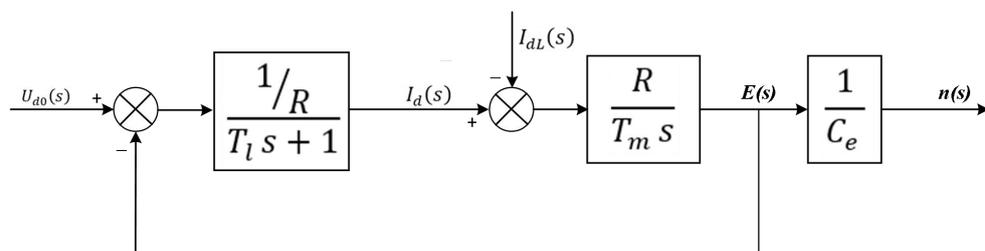
Передаточные функции тока и электрического потенциала:

$$\frac{E(s)}{I_d(s) - I_L(s)} = \frac{R}{T_m s} \quad (16)$$

Согласно уравнению электрического потенциала и скорости, существует передаточная функция электрического потенциала и скорости:

$$\frac{n(s)}{E(s)} = \frac{1}{C_e} \quad (17)$$

Приведенные выше передаточные функции объединяются для получения модели передаточной функции системы (рисунок 3):



### Рисунок 3 – Передаточная функция двигателя постоянного тока

Для моделирования используется двигатель постоянного тока Z4–132–1 (10 кВт) со следующими параметрами:

Таблица 1–Основная информация об устройстве

| Параметр                 | Значение              |
|--------------------------|-----------------------|
| Номинальная мощность     | 10kW                  |
| Номинальное напряжение   | 400V                  |
| Номинальный ток          | 30.1A                 |
| Номинальная скорость     | 1300r/min             |
| Сопротивление якоря      | 1.309Ω                |
| Индуктивность цепи якоря | 18.9mH                |
| Момент инерции           | 0.32kg/m <sup>2</sup> |

После расчета передаточной функции была разработана следующая модель (см. рисунок 4):

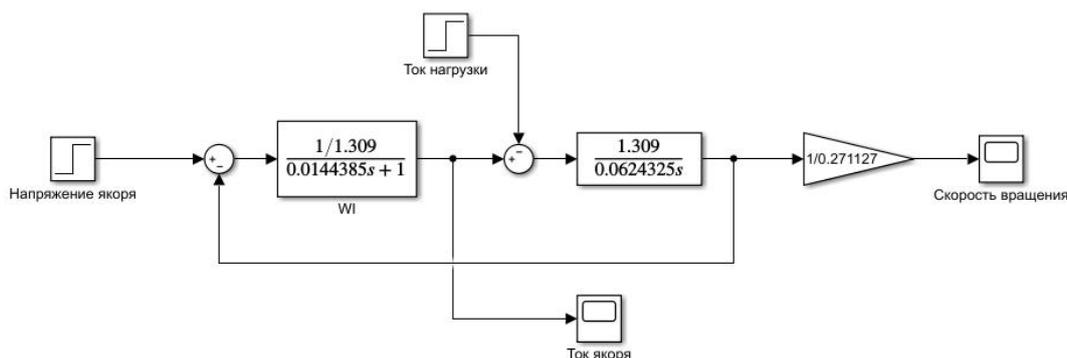


Рисунок 4 – Модель передаточной функции

## 2.2 Передаточная функция и оптимизация ПИД

Согласно графику, его передаточная функция рассчитывается как:

$$\frac{-77.33s - 5356}{s^2 + 69.26s + 1109} \quad (18)$$

$$\frac{4092}{s^2 + 69.26s + 1109} \quad (19)$$

Постройте модель и затем проверьте правильность передаточной функции и (рисунок 5, 6)

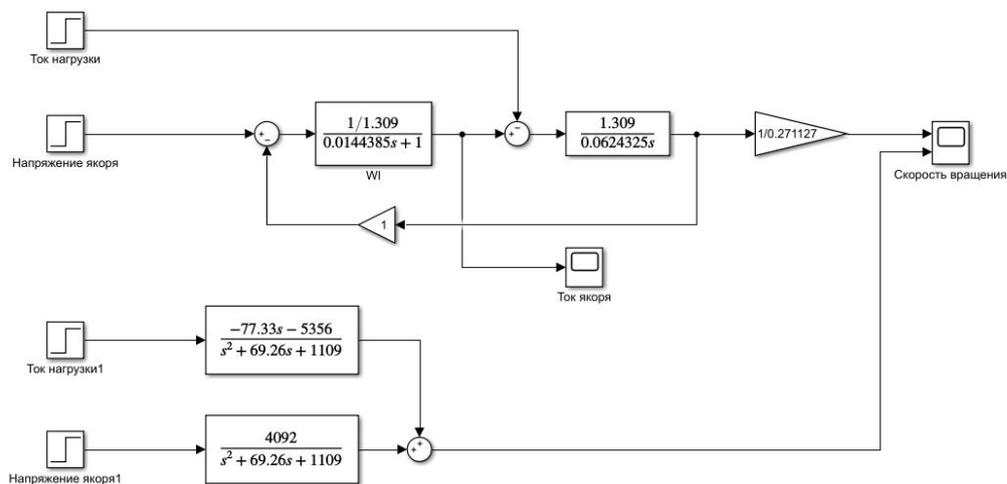


Рисунок 5 – Структурная схема

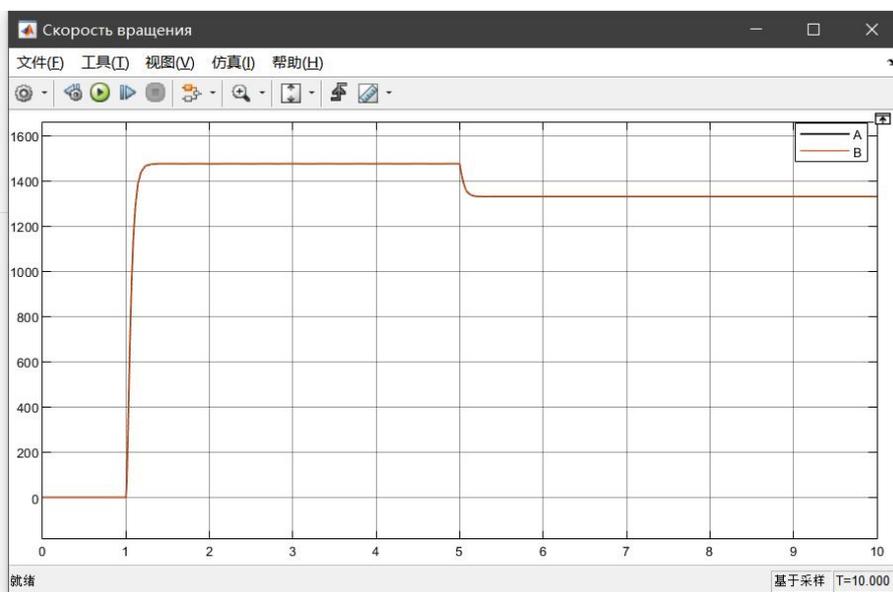


Рисунок 6 – График результатов сравнения

Из рисунка видно, что две линии совпадают, значит передаточная функция правильная.

Далее мы выбираем передаточную функцию двигателя, а затем оптимизируем ее.

Сначала нам нужно рассчитать различные параметры PID, то есть  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  (приложение А)

Используйте TF функцию в MATLAB, чтобы записать параметры передаточной функции. Найдите пиковое значение кривой переходного процесса. Используйте функцию SPLINE, чтобы найти касательную к точке, где находится пиковое значение кривой отклика на переход. Затем запишите полученный параметр K L T в функцию CHR(PID).

Расчетный результат:  $L = 0.0083$ ,  $T = 0.0838$ ,  $a = 0.3656$ .

Как показано, можно увидеть касательную кривой переходного процесса к точке максимального наклона ( см. рисунок 7)

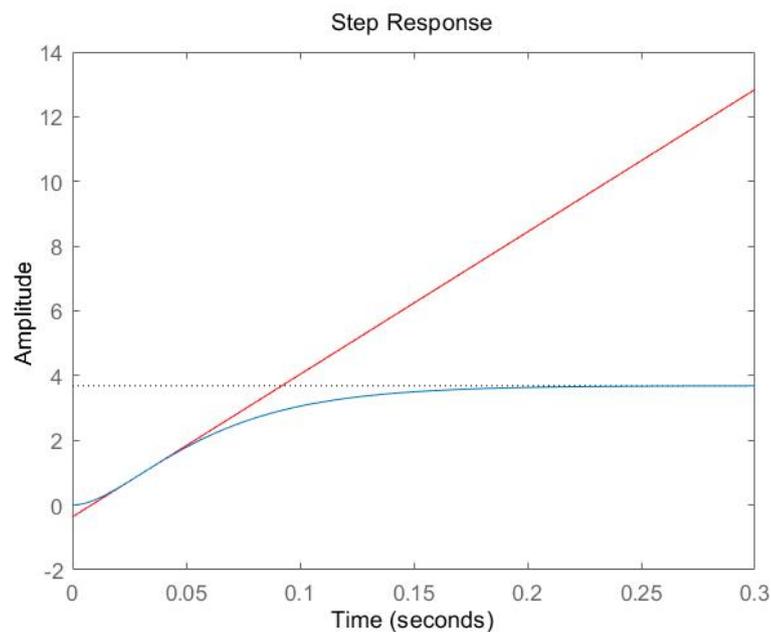


Рисунок 7 – График переходного процесса

Рассчитайте параметры PID в соответствии с методом CHR, код функции CHR выглядит следующим образом (приложение Б)

Результат, который мы получаем (рисунок 8):

ans =

$$K_p * \left( 1 + \frac{1}{T_i} * \frac{1}{s} + T_d * \frac{s}{(T_d/N)*s+1} \right)$$

with  $K_p = 1.64$ ,  $T_i = 0.0838$ ,  $T_d = 0.00415$ ,  $N = 10$

Continuous-time PIDF controller in standard form

Рисунок 8 – Результат параметра для PID

То есть:  $K_p=1.64$ ,  $K_i=11.933$ ,  $K_d=0.00415$ .

Затем мы вносим параметры PID в изображение Matlab и сравниваем результаты, оптимизированные с помощью PID, с неоптимизированными результатами (рисунок 9, 10)

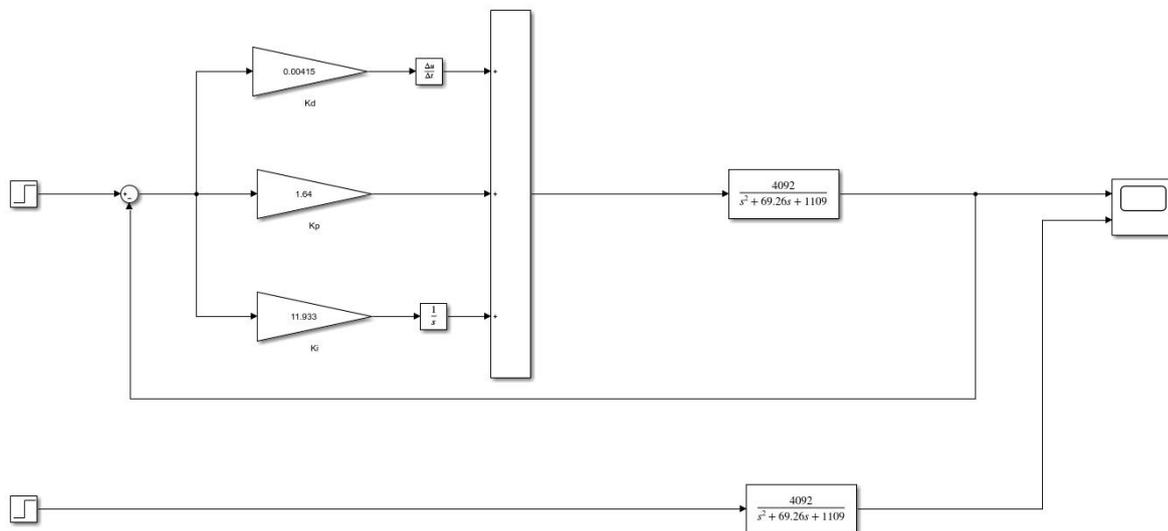


Рисунок 9 – Структурная схема Matlab

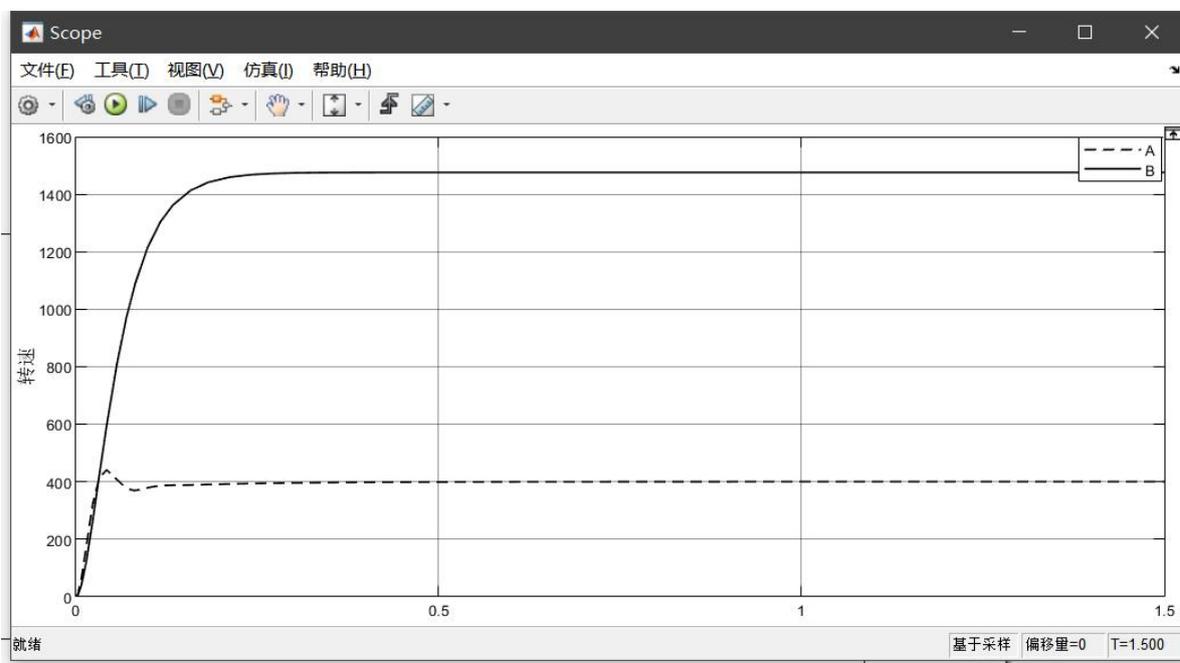


Рисунок 10 – Сравнительный рисунок

Здесь А – график с оптимизацией PID; В – график без оптимизации PID.

Из рисунка видно, что после ПИД–оптимизации система может выйти на установившийся режим за кратчайшее время.

### 2.3 Anti–Windup Control используя блок ПИД–регулятора

В этом примере показано, как использовать схемы антизавершения, чтобы предотвратить завершение интеграции в ПИД–контроллерах, когда приводы насыщены. Блок ПИД–регулятора в Simulink® имеет два встроенных антизаключительных метода, обратный расчет и фиксацию, а также режим отслеживания для обработки более сложных промышленных сценариев. Блок PID Controller поддерживает несколько функций, которые позволяют ему справляться с проблемами запуска контроллера в часто встречающихся промышленных сценариях.

Управляемый объект представляет собой насыщенный процесс первого порядка с мертвым временем (рисунок 11)

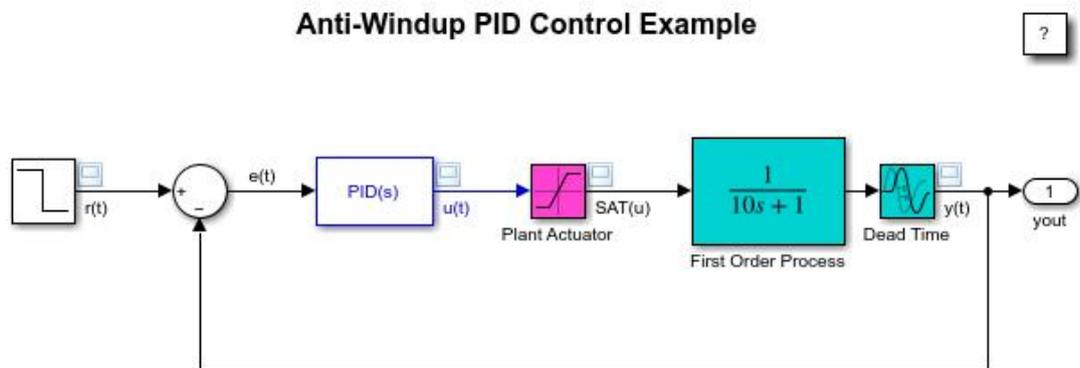


Рисунок 11 – Название графика

Блок PID Controller был настроен с игнорированием насыщения с помощью тюнера Simulink® Control Design™ PID.

Управляемый объект представляет собой процесс первого порядка с мертвым временем, описываемым уравнением:

$$P(s) = \frac{1}{10s + 1} e^{-2s}$$

Объект имеет известные входные пределы насыщения  $[-10, 10]$ , которые учитываются в блоке Saturation, помеченном Plant Actuator. Блок PID Controller в Simulink имеет два встроенных антизаклочительных метода, которые позволяют ему учитывать доступную информацию о входном насыщении объекта.

Создайте модель simulink (рисунок 12).

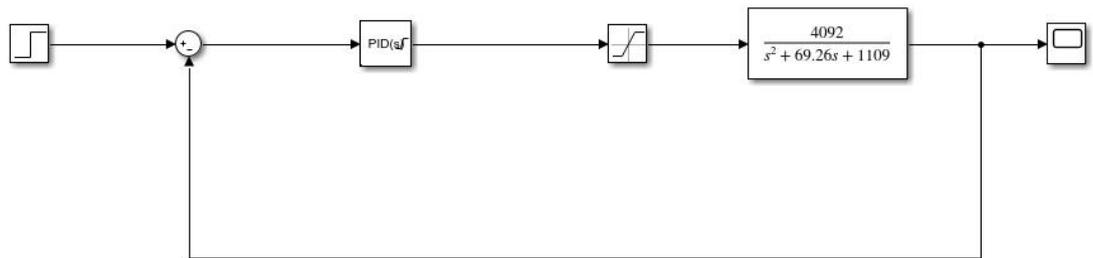


Рисунок 12 – Системная модель для антизаклочительного управления с помощью блока ПИД-регулятора.

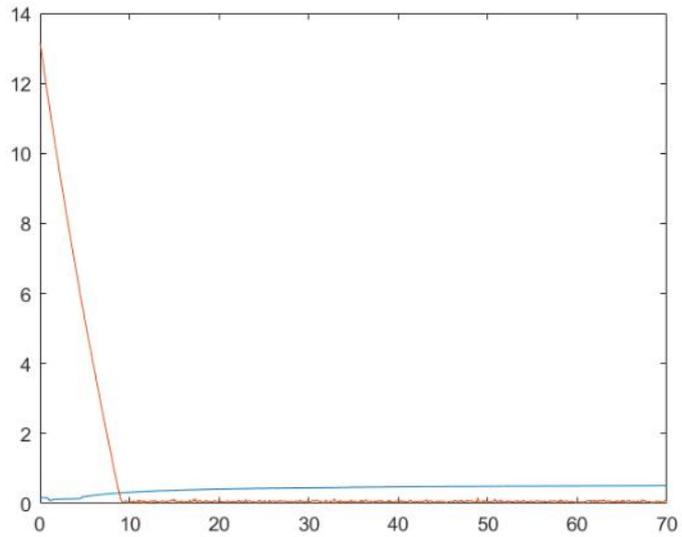
Минимальное время перехода при антизаклочительном интегральном управлении определяется вычислением параметра  $K_b$ .

Рассчитайте значение  $K_b$  при минимальном времени перехода в соответствии с кодом.

Сначала инициализируйте параметр  $K_b$  равным 0, а затем определите диапазон параметра  $K_S$ . Затем вызовите модель simulink через цикл for и функцию sim и получите характеристики кривой переходного процесса модели системы через функцию stepinfo. Наконец, рассчитайте значение  $K_S$  кратчайшего времени перехода (приложение В).

После расчета получается (рисунок 13):

$$q=0.093503135574400, tt=14, K_b=1.3$$



q =  
 0.093503135574400  
 tt =  
 14  
 Kb =  
 1.300000000000000

Рисунок 13 – График результата

Затем введите параметры в настройку PID (см. рисунок 14 и 15):

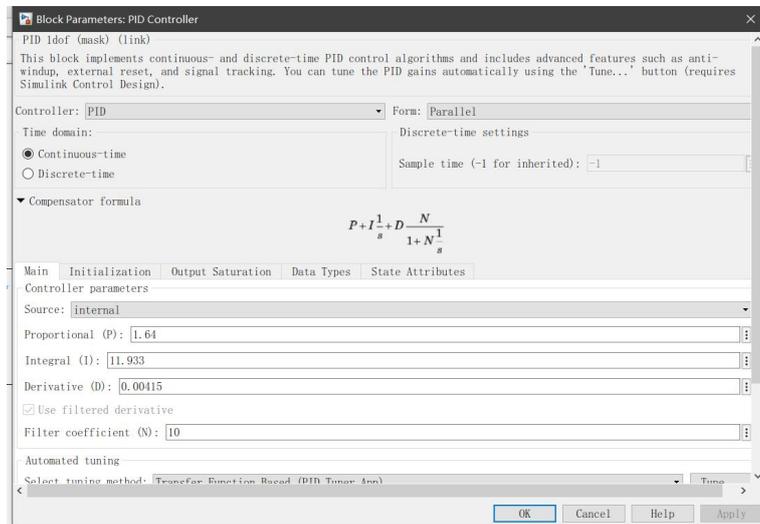


Рисунок 14 – ПИД-регулятор

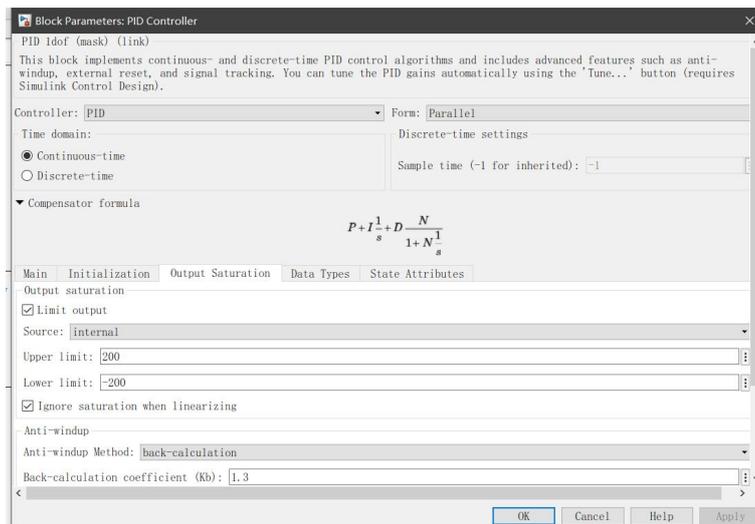


Рисунок 15 – ПИД-регулятор

Затем нажмите на Score (рисунок 16):

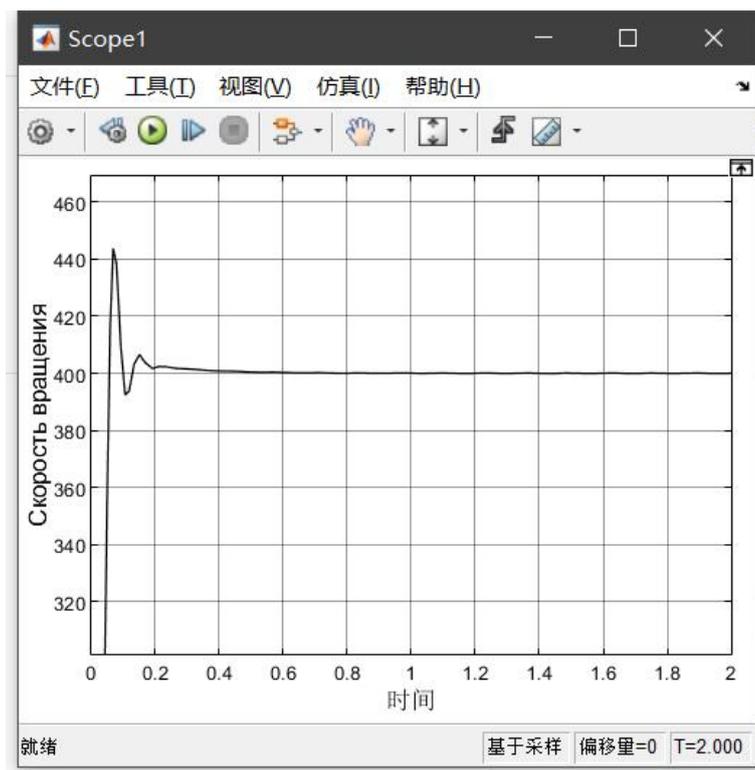


Рисунок 16 – График результата

В настоящее время перехода сокращено, что доказывает эффективность метода.

## 2.4 Более оптимизирован

На предыдущем шаге мы обнаружили, что его выброс слишком велик. Путем дальнейшего ограничения объема четырех параметров  $K_p$   $K_i$   $K_d$   $K_b$  можно получить более оптимизированные результаты.

Результат получается по следующему коду (приложение D).

Инициализируйте параметры, а затем установите диапазон четырех параметров в 0,5–1,5 раза больше их исходных значений. Затем выполните четыре слоя циклов `for` и, наконец, получите  $K_p$   $K_i$   $K_d$   $K_b$  при кратчайшем времени перехода.

После расчета получаем (см. рисунок 17):

$q=0.093457893634987$ ,  $tt=1$ ,  $K_p=0.82$ ,  $K_i=5.9665$ ,  $K_d=0.000016$ ,  $K_b=0.65$ .

```
q =  
  0.093457893634987  
tt =  
  1  
ans =  
  0.8200000000000000  
ans =  
  5.9665000000000000  
ans =  
  1.6000000000000000e-05  
ans =  
  0.6500000000000000
```

Рисунок 17 – График результата

Затем введите новое значение параметра ПИД в ПИД-регулятор и сравните скорректированные результаты двух ПИД-регуляторов до и после:

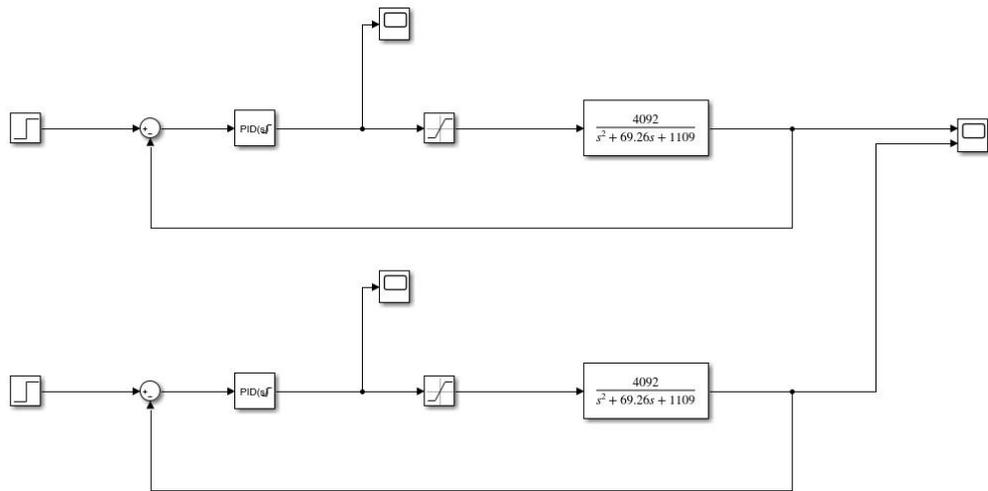


Рисунок 18 – Структурная схема Matlab

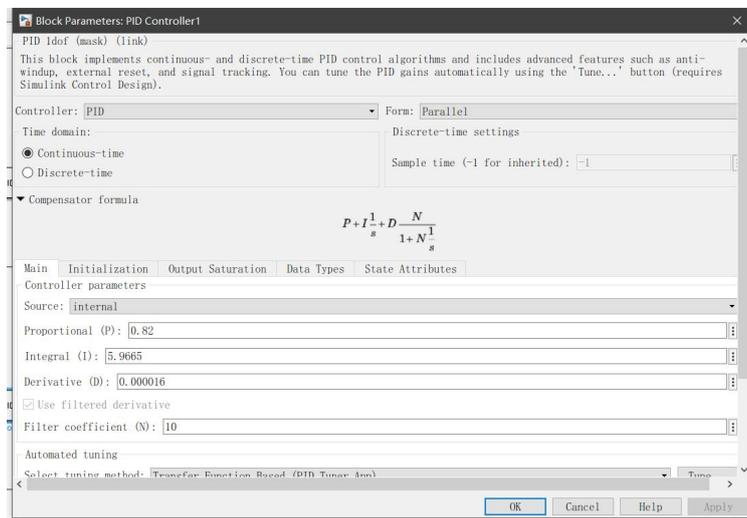


Рисунок 19 – ПИД-регулятор

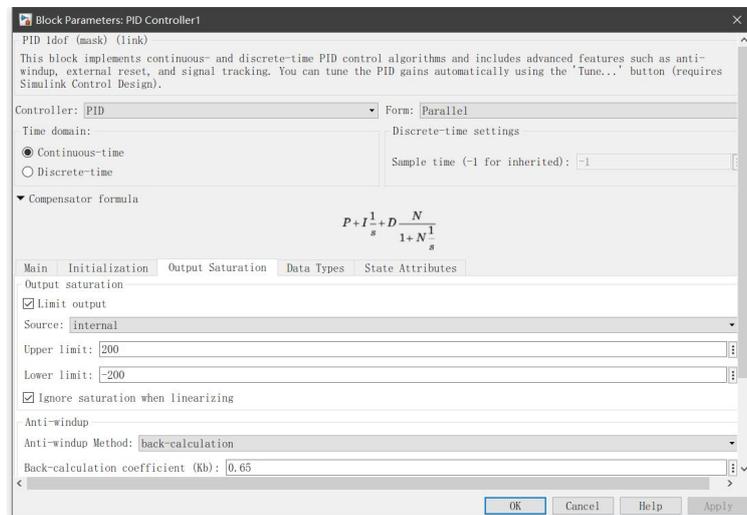


Рисунок 20 – Окно настроек блока ПИД-регулятор а

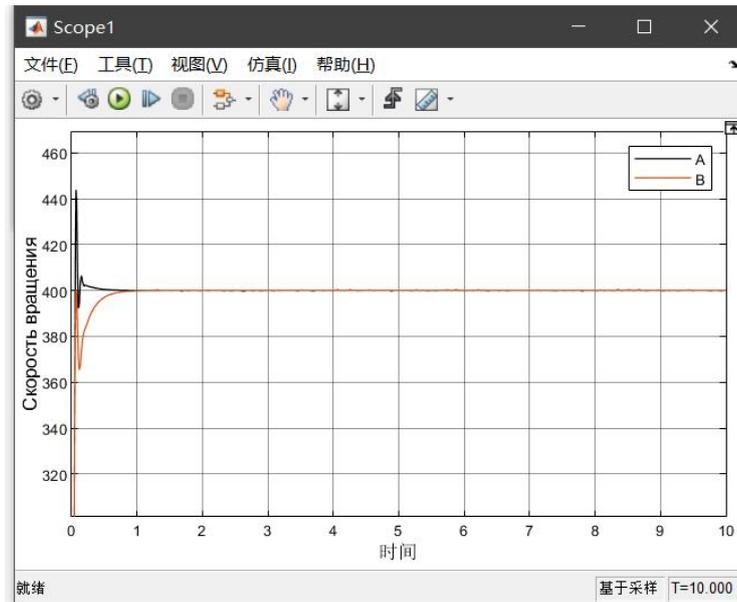


Рисунок 21 – Переходные характеристики

Здесь А – PID-регулятор предыдущего шага; В – PID-регулятор для этого шага.

Мы видим, что по сравнению с предыдущим шагом перерегулирование уменьшается и достигается ожидаемый эффект.

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

Студенту:

|               |               |
|---------------|---------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>    |
| 158Т92        | Цинь Мэньюань |

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

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

|   |  |
|---|--|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Среднерыночные цены РФ для определения стоимости материальных ресурсов. Нормативные документы НИ ТПУ, ФЗ «О минимальном размере оплаты труда» для определения оплата труда исполнителей проекта. |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | Районный коэффициент 30 %.   |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30 %.   |

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

|   |   |
|---|---|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | Оценить потенциальных потребителей исследования, проанализировать конкурентных решений. Предложить возможные альтернативы проведения НИ.      |
| <i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>  | Представить план этапов работ, определить трудоёмкость, сформировать бюджет НИ.   |
| <i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>        | Определить интегральные показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности разработки. Рассчитать сравнительную эффективность проекта. |

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

|   |
|---|
| 1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений. 2. Морфологическая матрица 3. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей 4. Временные показатели проведения НИ 5. Бюджет НИ 6. Оценка характеристик вариантов исполнения 7. Сравнительная эффективность разработки. |
|---|

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 01.03.2023.г |
|---|--------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность            | ФИО                           | Ученая<br>степень, звание | Подпись | Дата             |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------------------|
| доцент ОСГН,<br>ШБИП | Былкова<br>Татьяна Васильевна | канд<br>.экон.наук        |         | 01.03.<br>2023.г |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата             |
|--------|---------------|---------|------------------|
| 158Т92 | Цинь Мэньюань |         | 01.03.<br>2023.г |

### 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

##### 3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными клиентами для использования PID являются компании в различных отраслях, которые имеют процессы управления, контроля и регулирования, такие как производство, нефтехимическая промышленность, энергетика, автомобильный и металлургический секторы, а также здравоохранение и образование. Использование PID может существенно улучшить эффективность работы систем и снизить расход ресурсов, что особенно актуально в условиях растущих цен на энергоресурсы и суровых требований к экологической безопасности.

##### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Таблица 2–Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки                                  | Вескритерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|  |             | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| 1  | 2           | 3              | 4               | 5               | 6                     | 7               | 8               |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности |             |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| Надежность                                       | 0,35        | 9              | 8               | 8               | 1,35                  | 1,05            | 1,2             |
| Производительность                               | 0,2         | 7              | 9               | 7               | 1,5                   | 1,8             | 1,4             |
| Энергоэффективность                              | 0,2         | 9              | 6               | 5               | 0,7                   | 0,4             | 0,5             |
| Инновационность                                  | 0,05        | 6              | 5               | 5               | 0,5                   | 0,75            | 1,5             |
| Удовлетворение потребностей клиента              | 0,2         | 8              | 6               | 7               | 2,4                   | 1,8             | 1,6             |

Из оценочной карты можно сделать следующие выводы.

Высокая точность регулирования – ПИД–регулятор обладает широким диапазоном стабилизации и позволяет достичь высокой точности управления.

Простота настройки – ПИД–регулятор имеет всего три параметра, которые могут быть настроены опытным путем или автоматически.

Универсальность – ПИД–регулятор может быть использован во многих различных областях, таких как промышленный контроль процессов, управление двигателями и т.д.

Быстродействие – ПИД–регулятор может быстро реагировать на изменения входных данных и перераспределять выходной сигнал для достижения требуемой точности регулирования.

Устойчивость – ПИД–регулятор способен компенсировать внешние возмущения и сохранять стабильность управления в сложных условиях.

Экономичность – ПИД–регуляторы являются относительно дешевыми и простыми в производстве и установке.

Легкость модификации – ПИД–регуляторы могут быть легко модифицированы для адаптации к различным процессам управления.

### 3.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 3 – Морфологическая матрица для авторучки

| Технически<br>е<br>компоненты | Вариант 1                                       | Вариант 2  | Вариант 3                                    | Вариант 4   |
|-------------------------------|---|--|--|---|
| Входной порт                  | Входной интерфейс VGA                           | Датчики уровня                                   | Входной интерфейс DVI                        | Стандартный интерфейс видеовхода (RCA)                                  |
| PID                           | Пропорциональная единица и интегральная единица | Пропорциональная единица и Дифференциальный блок | Интегральная единица и Дифференциальный блок | Пропорциональная единица и интегральная единица и Дифференциальный блок |
| Осциллограф                   | Обычный осциллограф                             | Многоцелевой осциллограф                         | Многолинейный осциллограф                    | Многоканальный осциллограф  |
| Контрольная цель              | Машина  | Самолет  | Корабль                                      | Поезд   |

### 3.3 Планирование научно–исследовательских работ

#### 3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                 | № раб | Содержание работ  | Должность исполнителя |
|--|-------|---|-----------------------|
| Разработка технического задания                | 1     | Составление и утверждение технического задания                          | Руководитель темы     |
| Выбор направления исследований                 | 2     | Подбор и изучение материалов по теме                                    | Инженер               |
|  | 3     | Проведение патентных исследований                                       | Инженер               |
|  | 4     | Выбор направления исследований  | Руководитель, инженер |
|  | 5     | Календарное планирование работ по теме                                  | Инженер               |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 6     | Проведение теоретических расчетов и обоснований                         | Инженер               |
|  | 7     | Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов                 | Инженер               |
|  | 8     | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | Руководитель, инженер |
|  | 9     | Заполняется дипломником самостоятельно                                  | Инженер               |
| Обобщение и оценка результатов                 | 10    | Оценка эффективности полученных результатов.                            | Руководитель, инженер |
|  | 11    | Определение целесообразности проведения ОКР                             | Инженер               |
| Проведение ОКР                                 |       |   |                       |

Продолжение таблицы 4

|  |    |  |                       |
|--|----|--|-----------------------|
| Разработка технической документации и проектирование     | 12 | Разработка блок–схемы, принципиальной схемы                                  | Инженер               |
|  | 13 | Выбор и расчет конструкции   | Инженер               |
|  | 14 | Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия        | Руководитель, инженер |
|  | 15 | Заполняется дипломником самостоятельно                                       | Инженер               |
| Изготовление и испытание макета (опытного образца)       | 16 | Конструирование и изготовление макета (опытного образца)                     | Инженер               |
|  | 17 |  |                       |
|  |    | Лабораторные испытания макета  | Инженер               |
| Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР) | 18 | Составление пояснительной записки (эксплуатационно–технической документации) | Инженер               |

### 3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Цель использования ПИД–регулятора: анализировать его эффективность, строить математические модели и определять границы области применения.

Шаги, необходимые для создания ПИД–регулятора: анализ существующей технической документации, проектирование PFD для системы управления процессом, инженерная подготовка, разработка ПИД–регулятора, проведение тестов и контроль качества.

Персонал, необходимый для создания ПИД–регулятора: специалисты в области автоматизации технологических процессов, регулирования, электротехники и программирования.

Время, необходимое для создания ПИД–регулятора: оно будет зависеть от сложности системы управления процессом и специальных требований к ПИД–регулятору.

Время, необходимое для каждой части работы:

- разработка технического задания: 10 часов;
- выбор направления исследований: 5 часов;
- теоретические и экспериментальные исследования: 48 часов;
- обобщение и оценка результатов: 5 часов;
- разработка технической документации и проектирование: 20 часов;
- изготовление и испытание макета (опытного образца): 20 часов;
- оформление отчета по НИР (комплекта документации по окр): 10

часов.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

| <b>Название работы</b>             | <b>Трудоемкость работ</b> | <b>Исполнители</b> |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Разработка плана исследования      | 10                        | Инженер            |
| Поиск и анализ литературы          | 5                         | Инженер            |
| Определение методики исследования  | 48                        | Инженер            |
| Сбор и анализ данных               | 5                         | Инженер            |
| Обработка результатов исследования | 20                        | Инженер            |
| Написание текста работы            | 20                        | Инженер            |
| Редактирование и оформление работы | 10                        | Инженер            |

### **3.4 Бюджет научно–технического исследования (НТИ)**

Таблица 6 – Материальные затраты

| Наименование          | Единица измерения | Количество |        |        | Цена за ед., руб. |        |        | Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб. |        |        |
|-----------------------|-------------------|------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|---|--------|--------|
|                       |                   | Исп. 1     | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1            | Исп. 2 | Исп. 3 | Исп. 1  | Исп. 2 | Исп. 3 |
| Электрическая энергия | кВт               | 20         | 50     | 50     | 3,5               | 3.5    | 3.5    | 70  | 175    | 175    |
| Итого                 |                   |            |        |        |                   |        |        | 70  | 175    | 175    |

Таблица 7 – Расчет затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

| №      | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования |       |       | Цена единицы оборудования, тыс. руб. |       |       | Общая стоимость оборудования руб. |       |        |
|--------|---------------------------|----------------------------|-------|-------|--------------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|-------|--------|
|        |                           | Исп.1                      | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                                | Исп.2 | Исп.3 | Исп.1                             | Исп.2 | Исп.3  |
| 1.     | Компьютер                 | 2                          | 1     | 3     | 70                                   | 70    | 70    | 140000                            | 70000 | 210000 |
| Итого: |                           |                            |       |       |                                      |       |       | 140000                            | 70000 | 210000 |

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы и отчислений в социальные внебюджетные фонды

| Исполнители       | З <sub>тс</sub> ,руб | к <sub>р</sub> | З <sub>м</sub> | З <sub>дн</sub> | Т <sub>р</sub> | З <sub>осн</sub> | Отчисления в социальные внебюджетные фонды 30% |
|-------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|--|
| Руководитель      | 39300                | 1,3            | 51090          | 206,84          | 19             | 3930,00          | 1179,00  |
| Инженер (студент) | 16242                | 1,3            | 21114,6        | 85,48           | 118            | 10087,14         | 3026,14  |
| ИТОГО             |                      |                |                |                 |                | 14017,14         | 4205,14  |

Таблица 9–Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи Сумма | Сумма, руб |       |       |
|---------------------------|------------|-------|-------|
|                           | Исп.1      | Исп.2 | Исп.3 |
|                           |            |       |       |

Продолжение таблицы 9

|   |                  |                 |                  |
|---|------------------|-----------------|------------------|
| 1. Материальные затраты НТИ   | 70               | 175             | 175              |
| 2. Затраты на специальное оборудование для научных(экспериментальных) работ | 140000           | 70000           | 210000           |
| 3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы                   | 14017,14         | 14017,14        | 14017,14         |
| 4. Отчисления в социальные внебюджетные фонды                               | 4205,14          | 4205,14         | 4205,14          |
| <b>ИТОГО</b>  | <b>158292,28</b> | <b>88397,28</b> | <b>228397,28</b> |

### 3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой эффективности исследования

Таблица 10–Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии  | Объект исследования | Весовой коэффициент параметра | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
|---|---------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| 1. Способствует росту производительности пользователя             | росту труда         | 0.1                           | 5      | 3      | 5      |
| 2. Удобство эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | в                   | 0.15                          | 4      | 4      | 5      |
| 3. Помехоустойчивость   |                     | 0.15                          | 5      | 4      | 3      |
| 4. Энергосбережение   |                     | 0.2                           | 4      | 5      | 4      |
| 5. Надежность   |                     | 0.25                          | 5      | 4      | 5      |
| 6. Материалоемкость   |                     | 0.15                          | 4      | 2      | 3      |
| <b>ИТОГО</b>  |                     | <b>1</b>                      |        |        |        |

Таблица 11–Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели                                    | Исп. 1 | Исп. 2 | Исп. 3 |
|-------|---|--------|--------|--------|
| 1     | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,7    | 0,4    | 1,0    |

Продолжение таблицы 11

|   |   |     |     |     |
|---|---|-----|-----|-----|
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,5 | 3,8 | 4,2 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности                   | 6,5 | 9,8 | 4,2 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        |     | 0,7 | 1,5 |

Сравнивая значения общих показателей эффективности, мы пришли к выводу, что общие показатели эффективности исполнения 1 выше, чем у исполнения 3 на 50%, но ниже, чем у исполнения 2 на 30%.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

|               |               |
|---------------|---------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>    |
| 158Т92        | Цинь Мэньюань |

|                            |                    |                                  |                            |
|----------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------|
| <b>ШКОЛА</b>               | <b>ИШИТР</b>       | <b>Отделение</b>                 | <b>ОАР</b>                 |
| <b>Уровень образования</b> | <b>Бакалавриат</b> | <b>Направление/специальность</b> | <b>Шифр и наименование</b> |

| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>                  |   |
|---|---|
| <b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>              | <p>Объект исследования: система управления котлом<br/>                     Область применения: производство электроэнергии, промышленное производство, отопление<br/>                     Рабочая зона: производственное помещение<br/>                     Размеры помещения (климатическая зона*): 8*10 м<br/>                     Количество и наименование оборудования рабочей зоны: Очаг, горелка и контроллер<br/>                     Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: Контроллер, регулирует расход топлива и воздуха, топливо сжигается в горелке, вырабатываемое тепло передается воде в котле и производится пар.<br/>                     Глава 34 ТК РФ. Государственное управление охраной труда и требования охраны труда; технологических процессов. Общие требования. Методы контроля";<br/>                     СП 52.13330.2016 Котельные установки;<br/>                     ГОСТ Р 55173–2012 Установки котельные. Общие технические требования;<br/>                     Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116–ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов".</p> |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b> |   |
| <b>1. Производственная безопасность</b>   | <p>ГОСТ 12.0.003–2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»<br/> <b>Опасные факторы:</b><br/>                     Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;<br/>                     Производственные факторы, связанные с повышенным образованием электростатических зарядов на корпусе разрабатываемого устройства;<br/>                     Поражение электрическим током;<br/>                     Работа с сосудами под давлением.<br/> <b>Вредные факторы:</b><br/>                     Повышенная загазованность воздуха рабочей среды;<br/>                     Неблагоприятные условия микроклимата;<br/>                     Повышенный уровень шума;<br/>                     Монотонность труда, вызывающая монотонию;<br/>                     Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.</p>  |

|   |  |
|---|--|
| <p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>            | <p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> Выброс загрязняющих газов (СЗЗ требуется, класс опасности газовой котельной II класс опасности получают объекты с давлением природного газа свыше 1,2 МПа, ориентировочная СЗЗ для них составляет 500 м);</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> Металлолом; твердые отходы;</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> При сжигании природного газа в атмосферу будут выделяться продукты сгорания газа (окись углерода, углеводороды, оксиды азота, двуокись серы, сероводород).</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> Котел потребляет много воды при работе; Сточные Воды (большое количество взвешенных веществ, сульфатов, сульфитов и тяжелых металлов).</p> |
| <p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> | <p>Возможные ЧС:</p> <p>Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.);</p> <p>Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.);</p> <p>Техногенные аварии (взрыв топлива, снижение уровня воды, слишком высокое давление топлива)</p> <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <p>Пожар в котельной.</p>   |

|  |            |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 26.02.2023 |
|--|------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность          | ФИО       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата        |
|--------------------|-----------|------------------------|---------|-------------|
| Профессор ООД ШБИП | Сечин А.И | д.т.н.                 |         | 26.02.2023. |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО           | Подпись | Дата        |
|--------|---------------|---------|-------------|
| 158Т92 | Цинь Мэньюань |         | 26.02.2023. |

## **4 Социальная ответственность**

Социальная ответственность – широкое понятие, охватывающее и такие проблемы, как экология, социальная справедливость, равноправие. Газовый котел включает в себя две системы газогорелочного оборудования и корпус котла. Оборудование для сжигания газа в основном относится к печи и горелке, а также включает в себя другое оборудование, связанное с процессом сжигания. Его основная функция заключается в том, чтобы ввести определенное количество горючего газа и воздуха в оборудование для сжигания и преобразовать химическую энергию в тепловую энергию через сжигание горючего газа., для непрерывного обеспечения тепловой энергией корпуса котла. Корпус котла преобразует воду в пар с помощью тепловой энергии, вырабатываемой топочным оборудованием, создавая определенное количество и качество (давление и влажность) пара. Весь процесс производства котла заключается в отправке определенного количества горючего газа и соответствующего количества воздуха в топку для сжигания, а тепло, выделяемое при сгорании, передается воде, так что вода испаряется под постоянным давлением с образованием вода определенного давления и температуры. В ходе данной работы разработка газовым котлом. Необходимо рассмотреть производственную безопасность, Экологическую безопасность экологическую безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации.

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

Согласно Глава 34 ТК РФ каждый работник имеет право на: – рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда; – режим труда и отдыха в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового бб права; – обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом; – отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие

нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности; – обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя Нормы безопасности при эксплуатации котельных регулируются следующими документами: ГОСТ Р 55173–2012 Установки котельные. Общие технические требования; Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116–ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"; Нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения в котельных регулируются следующими документами: СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.

#### 4.1.1 Производственная безопасность

Оборудование газовой котельной требует особого контроля со стороны обслуживающего персонала. В работе отопительного оборудования имеется определенная опасность, поскольку в ней принимает активное участие теплоноситель, разогревающийся до высокой температуры, и определенного типа горючее, обладающее своими физико–химическими особенностями. Кроме того, особого внимания требует высокое давление, которое также является неотъемлемой частью нагревательных приборов.

Таблица 12 – Перечень опасных и вредных факторов газовой котельной

| № | Факторы (по ГОСТ 12.0.003– 2015)   | Нормативные документы   |
|---|--|---|
|   | <b>Опасные</b>   |   |
| 1 | Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека | СП 89.13330.2016 Котельные установки  |
| 2 | Производственные факторы, связанные с повышенным образованием электростатических зарядов на корпусе разрабатываемого устройства                                    | ГОСТ 12.1.018–93 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования |

Продолжение таблицы 12

| № | Факторы (по ГОСТ 12.0.003– 2015)                                | Нормативные документы  |
|---|---|--|
| 3 | Поражение электрическим током                                   | ГОСТ 12.1.030–81<br>«Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»  |
| 4 | Работа с сосудами под давлением                                 | ГОСТ Р 55173–2012<br>Установки котельные. Общие технические требования   |
|   | <b>Вредные</b>  |  |
| 5 | Повышенная загазованность воздуха рабочей среды                 | ГОСТ 12.1.005–88 общие санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны  |
| 6 | Неблагоприятные условия микроклимата                            | СНиП П–35–76 котельные установки   |
| 7 | Повышенный уровень шума   | СП 51.13330.2011 Защита от шума  |
| 8 | Монотонность труда, вызывающая монотонию                        | Глава 34 ТК РФ. Государственное управление охраной труда и требования охраны труда. МР 2.2.9.2311 – 07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности |
| 9 | Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения | СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»  |

#### 4.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды

При работе котлов, использующих газообразное топливо в воздухе производственных помещений, может возникнуть избыточная концентрация оксида углерода.

Основные причины повышенной концентрации вредных газов следующие: регулятор соотношения «газ–воздух» настроен неправильно; горелочное оборудование работает с нарушениями; стенка котла дает течь; сварные или

резьбовые соединения газопровода негерметичные; повреждены уплотнения газовой запорно–регулирующей арматуры.

Токсическое действие окиси углерода обусловлено образованием карбоксигемоглобина, который не способен к связыванию кислорода, в результате чего наступает кислородное голодание (гипоксия, аноксия). Симптомы острого отравления окисью углерода: головная боль, тошнота, рвота, нарушение цветоощущения, поражение центральной нервной систем (дрожание, клонические и тонические судороги, потеря сознания, кома); нарушение сердечной деятельности, расстройство дыхания, функции почек, эндокринных желез, изменение морфологического состава периферической крови со значительным содержанием карбоксигемоглобина. Температура тела обычно повышается. Возможны последствия, чаще всего связанные с нарушением нервной и психической деятельности. Возможно развитие хронического отравления окисью углерода.

К коллективным средствам защиты от загазованности воздуха являются средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест. Они включают устройства вентиляции и очистки воздуха; кондиционирования воздуха; автоматического контроля и сигнализации. Котельные должны быть оснащены средствами индивидуальной защиты, к которым относятся: противогазы, спасательные пояса и веревки к ним, диэлектрические перчатки и галоши.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 предельно допустимые концентрации (пдк) вредных веществ в воздухе рабочей зоны указаны в таблице 2. Таблица 2 – предельно допустимые концентрации (пдк) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Таблица 13 – предельно допустимые концентрации (пдк) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

| Наименование вещества                 | Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup> | Преимущество агрегатное состояние в условиях производства | Класс опасности | Особенности действия на организм |
|---------------------------------------|---------------------------------|---|-----------------|----------------------------------|
| Азота диоксид                         | 2                               | п   | III             | О                                |
| Азота оксиды                          | 5                               | п   | III             | О                                |
| Углерода оксид*                       | 20                              | п   | IV              | О                                |
| Углеводороды алифатические предельные | 300                             | п   | IV              | –                                |

При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч, предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м<sup>3</sup>, при длительности работы не более 30 мин – до 100 мг/м<sup>3</sup>, при длительности работы не более 15 мин – 200 мг/м<sup>3</sup>. Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут производиться с перерывом не менее чем в 2 ч.

#### 4.2.1 Неблагоприятные условия микроклимата

Причиной повышенной температуры воздуха, повышенной или пониженной влажности воздуха в газовой котельной, являются нагретые поверхности котельных агрегатов, трубопроводов пара и горячей воды. В соответствии с СНиП II–35–76 участки элементов котлов, водоподогревателей и трубопроводов с повышенной температурой поверхности, доступные для обслуживающего персонала, температура наружной поверхности должна быть не выше 55°С, при температуре окружающей среды не выше 25°С. Участки элементов котлов, котельно–вспомогательного оборудования, газоходов, арматуры и трубопроводов с температурой выше 55°С должны быть покрыты тепловой изоляцией.

#### **4.2.2 Повышенный уровень шума**

В котельной при работе машины будет возникать шум, а шум с высоким уровнем децибел будет иметь неблагоприятное воздействие на организм человека, поэтому в соответствии с СП 51.13330.2011: допустимые уровни звука на рабочем месте оператора газовой котельной до 80 дБ . Шумы в котельной имеют два типа: воздушные и корпусные. Корпусный является механическими вибрацией, которые возникают при работе оборудования. Воздушный шум – это звуки, неизменно возникающие при сжигании газа. Для минимизации шума котельной при работе, в неё ставятся виброкомпенсаторы. При проектировании нужно учитывать уровень шума блочной котельной и снижать его. Если такой возможности нет, котельная оборудуется специализированными механизмами для глушения шума: звукопоглощающие подставки, глушители шума дымовых газов и кожухи для горелок.

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

В производственном помещении газовой котельной в дневное время применяется естественное освещение, а в вечернее и ночное время – искусственное. Естественное освещение котельной осуществляется через боковые окна. Искусственное освещение осуществляется комбинацией общего освещения помещения с местным освещением рабочих мест. Возникает недостаточное освещение вследствие плохой работы осветительных приборов и затененностью оборудования, конструкций. Недостаточное освещение в помещении котельной может привести к повышению травматизма ремонтного и эксплуатационного персонала, а в помещении щитовой – к ухудшению остроты зрения, нервному напряжению. Действующим нормативным документом является СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Согласно норме уровень освещения в помещениях котельных не должен быть ниже 50 люкс и не выше 100 люкс.

#### **4.2.4 Монотонность труда, вызывающая монотонию**

Причиной монотонности труда в котельной является монотонность производственной среды и выполнение большого количества повторяющихся операций. Работники котельной выполняют повторяющуюся техническую работу. Котельное оборудование работает автоматически, и рабочим необходимо только следить за приборами и обеспечивать безопасную работу оборудования. Необходимы регламентированные перерывы для отдыха и минимизации возникновения этого фактора.

#### **4.2.5 Анализ опасных факторов**

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

Рабочие, которые постоянно подвергаются воздействию тепла, будь то пламя или пар, рискуют получить ожоги. Это является серьезным риском и может быть опасно для жизни.

В котельной ожоги и термические повреждения могут быть вызваны различными способами: работа с раскаленными металлами; проскальзывание на полу и падение на горячие предметы; воздействие огня, брызг масла и пара; работа с использованием едких химикатов; использование слишком горячей воды; выброс пар или брызг от оборудования; использование разогретых инструментов.

Рабочие больше всего рискуют получить ожоги при прикосновении к котельному оборудованию. В соответствии с СП 89.13330.2016 “Котельные установки”, для защиты обслуживающего персонала от ожогов при срабатывании клапанов, Предохранительные клапаны должны иметь устройства (отводные трубы).

Во избежание ожогов котельное оборудование будет иметь маркировку «Не касаться» и «Пожароопасно» .

#### **4.2.6 Производственные факторы, связанные с повышенным образованием электростатических зарядов на корпусе разрабатываемого устройства**

Статическое электричество возникает вследствие сохранения зарядов электростатического поля на диэлектрических материалах. Оно отрицательно влияет на эксплуатацию электрических устройств. Образование искр от статического электричества способствует пожарам и взрывам. Мощности энергии вполне хватит для возгорания газозвдушных смесей и пыли. Работники, на которых постоянно воздействует статическое электричество, чаще болеют сердечно–сосудистыми заболеваниями и болезнями нервной системы.

В котельных часто встречается образование статических зарядов в случаях: попадания и продвижения пылинок в воздухопроводах с большой скоростью; прохождении сжиженного газа (особенно содержащего суспензии или пыль) по трубопроводам; перемещения тележек с прорезиненными шинами по изолирующему половому покрытию.

Для уменьшения вред, причиняемый статическим электричеством, можно принять следующие меры:

- повышение проводящих свойств материалов и окружающей рабочей среды, что приводит к рассеиванию в пространстве периодически появляющихся электростатических зарядов;
- снижение скоростей обработки и перемещения материалов, что значительно уменьшает возможности генерирования статических электростатических зарядов;
- полномасштабное применение грамотно устроенного заземления, что помогает исключить накопление опасных потенциалов;

– повышение устойчивости самих машин и механизмов к действию статистических разрядов; – недопущение проникновения электрического тока в рабочую зону.

– Увеличьте влажность воздуха, чтобы избежать сухости воздуха и увеличить поверхностный заряд прибора.

#### **4.2.7 Поражение электрическим током**

В котельной применяют различные электрические установки. Статистические данные показывают, что 1–3% от всех несчастных случаев приходится на поражения током.

В котельных причинами электротравм могут являться: случайное прикосновение или приближение к частям под напряжением; появления напряжения на металлических конструкциях из-за пробоя; ошибочные действия персонала; шаговые напряжения.

Для предотвращения поражения током на все электросиловое оборудование в котельной предусмотрено заземление в соответствии с ГОСТ 12.1.030–81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» .

Заземлители применяются искусственные в виде труб диаметром 30 мм и длиной 3 м. Защитному заземлению подлежат металлические токоведущие части электрооборудования, которые могут из-за неисправности изоляции оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей.

Защитное зануление предусмотрено на нулевом проводе питающей сети электрооборудования и других металлических конструктивных частей корпусов, которые нормально не находятся под напряжением, но вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением.

В качестве защиты от перегрузки используются плавкие предохранители.

Средства коллективной защиты включают оградительные, автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства

защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения. Обязательны инструктажи по электробезопасности на местах.

Для предотвращения поражения током на все электросиловое оборудование в котельной предусмотрен знак предупреждения о поражении электрическим током.

#### **4.2.8 Работа с сосудами под давлением**

При эксплуатации котла внутренности котла заполняются большим количеством пара, что может привести к взрывоопасности:

- взрыв котла с вероятностью пожара (из-за перегрева и избыточного давления, отказа структурных компонентов вследствие усталости металла и др.);
- травмы, вызванные действием взрывной волны, летящими осколками, пламенем, паром и др.;
- возгорание и взрыв топлива;
- возгорание ветоши, пропитанной топливом;
- взрывы газо-воздушных смесей внутри котла.

Средства коллективной защиты: автоматического контроля и сигнализации, предохранительные, дистанционного управления. Перед началом работ необходимо получить допуск к работам .

Котел, работающий под давлением, должен иметь предупреждающую вывеску, на поверхности оборудования.

### **4.3 Экологическая безопасность при эксплуатации**

#### **4.3.1 Воздействие на селитебную зону**

Газовая котельная по признаку использования, хранения горючих веществ является опасным производственным объектом (ОПО), согласно 116 – ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Котельные являются источниками выделения загрязняющих окружающую среду веществ, обязательно должна проектироваться санитарнозащитная зона котельной (СЗЗ котельной) :

К II классу опасности относят районные котельные, мощность которых 200 Гкал и более, функционирующие на угольном и мазутном топливе – ориентировочная СЗЗ для них составляет 500 м [9].

К III классу относят котельные, мощность которых 200 Гкал и более, функционирующие на газовом и газомазутном топливе – ориентировочная СЗЗ для них – 300 м.

По периметру СЗЗ должны быть обязательно огорожены забором и оснащены предупреждающими вывесками об опасности.

#### 4.3.2 Воздействие на атмосферу

Загрязнителями газа, образующимися при сжигании топлива в газовых котлах, являются в основном окись углерода, углеводороды, оксиды азота, а также двуокись серы, сероводород. При температуре горения природного газа выше 1500 °С, азот в воздухе будет соединяться с кислородом с образованием оксидов азота.

В соответствии с ГОСТ Р 55173–2012 нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов азота и оксидов серы для котельных установок представлен в таблице 3 и 4.

Таблица 14 – Нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов азота для котельных установок

| Тепловая мощность котлов, МВт (паропроизводительность котла D, т/ч) | Вид топлива | Массовый выброс NOx на единицу тепловой энергии, г/МДж | Массовый выброс NOx, кг/т уг | Массовая концентрация NOx в дымовых газах при $\alpha=1,4$ , мг/м <sup>3</sup> |
|---|-------------|--|------------------------------|--|
| До 299 (до 420)   | Газ         | 0,043  | 1,26                         | 125  |
| 300 и более (420 и более)   | Газ         | 0,043  | 1,26                         | 125  |

Таблица 15 – Нормативы удельных выбросов в атмосферу оксидов серы для котельных установок

| Тепловая мощность котлов, Q МВт (паропроизводительность котла D, т/ч) | Приведенное содержание золы спр, %·кг/МДж | Массовый выброс SOx на единицу тепловой энергии, г/МДж | Массовый выброс NOx, кг/т ут | Массовая концентрация SOx в дымовых газах при α=1,4, мг/м <sup>3</sup> |
|---|---|--|------------------------------|--|
| До 199 (до 320)   | 0,045 и менее<br>0,045 и более            | 0,5 0,6  | 14,7 17,6                    | 1200<br>1400   |
| 200–249 (320–400)   | 0,045 и менее<br>0,045 и более            | 0,4 0,45   | 11,7 13,1                    | 950 1050   |
| 250–299 (400–420)   | 0,045 и менее<br>0,045 и более            | 0,3 0,3  | 8,8 8,8                      | 700 700  |
| 300 и более (420 и более)   |   | 0,3  | 8,8                          | 700  |

Норматив удельных выбросов в атмосферу окиси углерода от котельных установок при коэффициенте избытка воздуха 1,4 не должен превышать 300 мг/м<sup>3</sup> при нормальных условиях (температура 0 °С и давление 101,3 кПа).

### 4.3.3 Методы защиты

Распределение температуры пламени горения в газовом котле фактически неравномерно. Обычно температура на некотором расстоянии от выхода из горелки до и после него ниже, то есть имеется локальная область повышенной температуры. Поскольку температура в этой зоне намного выше среднего уровня температуры в печи, она оказывает сильное влияние на образование NOx: чем выше температура, тем больше NOx образуется. Поэтому для подавления образования оксидов азота, помимо снижения средней температуры в печи, необходимо также стараться сделать распределение температуры в печи равномерным, чтобы избежать чрезмерной локальной температуры.

#### **4.3.4 Воздействие на гидросферу**

Сточная вода котла – вода, которая использована в технологических процессах и непригодная по своему качеству для дальнейшего использования на предприятии. Сточные воды, которые сбрасывались в водоемы, загрязняют их, содержат вредные вещества.

Уменьшить выброс вредных веществ со сточными водами в природные водоемы можно за счет уменьшения количества сточных вод или их очистки. Уменьшение количества сточных вод водоочистных сооружений должно осуществляться за счет рационализации методов и схем водоочистных сооружений. Основным направлением совершенствования водоочистных сооружений является снижение расхода реагентов и воды на собственные нужды, а также повторное использование сточных вод в технологическом цикле котельной. Для снижения расходов воды наиболее перспективны: метод непрерывной ионизации воды, ступенчато–противоточная ионизация, термическая регенерация ионитов.

#### **4.3.5 Воздействие на литосферу**

Котельное оборудование в основном включает металлическое оборудование и электронное оборудование. Материалами для изготовления котлов в основном являются металлы, такие как сталь, алюминий и цинк. При утилизации котла отходы металла нарушат кислотно–щелочной баланс почвы и повлияют на качество почвы. Металл проникнет в почву, и накопленное загрязнение нанесет серьезный вред экологической среде. Электронные компоненты содержат большое количество марганца, никеля, кадмия, хрома, германия, мышьяка, фосфора и других токсичных и вредных тяжелых металлов, неметаллов и соединений, некоторые из которых очень ядовиты и серьезно загрязняют грунтовые воды и почву.

В целях предотвращения воздействия металлолома и электронного оборудования на литосферу, металлолом и электронное оборудование могут быть переработаны и использованы повторно.

#### **4.4 Экологическая безопасность**

##### **4.4.1 Безопасность в чрезвычайных ситуациях Анализ возможных ЧС газовой котельной**

Возможными ЧС в газовых котельных являются взрыв топлива, снижение уровня воды и слишком высокое давление топлива. Причины возникновения ЧС в газовых котельных являются разгерметизация газопровода в результате механических повреждений; отказов запорной, регулирующей и предохранительной арматуры; дефектов сварных и фланцевых соединений; коррозия, усталость металла.

##### **4.4.2 Наиболее вероятная ЧС газовой котельной. Пожар в котельной**

По разным причинам в газовых котлах часто возникают пожары, которые не только наносят большой экономический ущерб, но и серьезно угрожают физическому и психическому здоровью людей и даже их жизни. Поэтому крайне необходимо изучить пожароопасность газового котла и меры ее профилактики.

Причиной пожара в котельной может быть неправильное соотношение топливного газа и воздуха, слишком большая нагрузка котла, слишком большое разрежение камеры сгорания или халатность рабочих в своей работе.

##### **4.4.3 Меры по предупреждению**

При эксплуатации котельных и других теплопроизводящих установок запрещается:

а) допускать к работе лиц, не прошедших специального обучения и не получивших соответствующих квалификационных удостоверений;

б) применять в качестве топлива отходы нефтепродуктов и другие легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, которые не предусмотрены техническими условиями на эксплуатацию оборудования;

в) эксплуатировать теплопроизводящие установки при подтекании жидкого топлива (утечке газа) из систем топливоподачи, а также вентилях у топки и у емкости с топливом;

г) подавать топливо при потухших форсунках или газовых горелках;

д) разжигать установки без предварительной их продувки;

е) работать при неисправных или отключенных приборах контроля и регулирования, предусмотренных предприятием–изготовителем;

ж) сушить какие–либо горючие материалы на котлах и паропроводах;

з) эксплуатировать котельные установки, работающие на твердом топливе, дымовые трубы которых не оборудованы искрогасителями и не очищены от сажи.

#### **4.4.4 План действий в случае ЧС**

В случае возникновения пожара в котельной немедленно известить пожарную часть и диспетчера предприятия по телефону, принять меры к 79 немедленной ликвидации очага возгорания, обеспечить встречу и выход на установку боевых расчетов пожарной части.

Произвести аварийное отключение котлов в случае возникновения пожара, угрожающего обслуживающему персоналу и работе котлов.

Горящее электрооборудование перед тушением должно быть обесточено. Отключение дымососов и вентиляторов осуществляется кнопкой «Стоп» непосредственно на агрегате или на щите управления в операторной.

Крышные вентиляторы выключаются кнопкой на каждом вентиляторе и возле входа в котельную.

Система вентиляции в венткамере выключается на панели в венткамере. Насосы выключаются выключателями, расположенными на агрегатах и в помещении КТП.

Погасить горящее электрооборудование порошковым огнетушителем.

При пожаре на газопроводах котельной установки давление газа снижают до минимума, затем гасят пламя и после этого полностью перекрывают газ.

#### **4.5 Выводы по разделу**

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам. Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности». Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током. Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685–21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) 80 безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением). Помещение лаборатории категории помещения группы А, возможный класс пожара В. Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении: горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное

избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа. Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории.

## Заключение

В этом исследовании я в основном узнал, как использовать MATLAB и применять технологию регулирования PID и анти-насыщения. Во время учебы я изучил основной принцип и традиционную реализацию ПИД-регулирования. В то же время я узнал о проблемах, с которыми можно столкнуться в практических приложениях, таких как задержка и насыщение сигнала обратной связи.

Во время учебы я получил глубокое понимание процесса реализации и эффекта ПИД-регулирования с помощью экспериментов и программирования, а также научился реализовывать соответствующее программирование в MATLAB. Я изучал, как настраивать параметры и отлаживать производительность в режиме реального времени, а также проверял эффективность и точность ПИД-регулирования с помощью экспериментов и анализа данных.

Кроме того, во время учебы я также узнал о применении и реализации технологии антинасыщения. В конкретном эксперименте я решил проблему отклонения настройки, вызванную насыщением, путем применения технологии предотвращения насыщения и повысил надежность и стабильность системы.

В процессе обучения я постоянно углублял свое понимание и овладение технологиями MATLAB и ПИД-регулирования посредством теоретических исследований, экспериментальных исследований и анализа данных. В своей будущей учебе и работе я продолжу углубленно изучать знания и применять их в этой области, чтобы заложить прочную основу для повышения своих профессиональных способностей.

## Список используемых источников

1. ПИД-регуляторы: вопросы реализации – URL: <https://www.cta.ru/cms/f/374303.pdf> – Текст: Электронный (дата обращений 10.06.2023)
2. PID – URL: <https://baike.baidu.com/item/PID/7325015?fr=aladdin> – Текст: Электронный (дата обращений 10.06.2023)
3. ПИД контроллер – URL: [https://www.mathworks.com/help/simulink/sref/anti-windup-control-using-a-pid-controller.html#responsive\\_offcanvas](https://www.mathworks.com/help/simulink/sref/anti-windup-control-using-a-pid-controller.html#responsive_offcanvas) – Текст: Электронный (дата обращений 10.06.2023)
4. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 09.12.2022).
5. ГОСТ 12.02.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
6. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
7. ГОСТ 21889-76. Система «Человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.
8. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
10. СП 52. 13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.
11. Приказ Минтруда России № 774н от 29 октября 2021 г. Об утверждении общих требований к организации безопасного рабочего места.

12. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.  
Приказ от 11 июня 2021 № 399. Об утверждении требований при обращении с группами однородных отходов I-V классов опасности.
13. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации.  
Приказ от 15 декабря 2020 года № 903н. Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.
14. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
15. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

**Приложение А**  
**(Обязательное)**  
**Код настройки регулятора**

Листинг А.1 – Код настройки регулятора

```
1. num = [4092];
2. den = [1 69.26 1109];
3. sys = tf(num, den)
4. num1 = [4092 0];
5. den1 = [1 69.26 1109];
6. sys1 = tf(num1, den1)
7. step(sys1)
8. tt=20;h=0.00001; %tt представляет временной диапазон, а h представляет размер шага
9. t=0:h:tt; %определите диапазон времени.
10. [PeakValue,PeakTime]=max(step(sys1,t)) %Найдите максимальное значение, то есть перерегулирование
11. PeakTime=PeakTime*h
12. K = 3.690; %конечное значение
13. x = 0:0.001:10;
14. y = 44.0314*x -0.36563;
15. L = spline(y,x,0) %Задержка
16. T = spline(y,x,K)-L %Время нарастания
17. a = K*L/T
18. plot(x,y,'r');
19. %axis([-inf,inf,-0.5,K+0.5]);
20. grid;
21. % xlabel('t--sec'),ylabel('c(t)');
22. hold on;
23. % figure('name','Самонастраивающаяся ступенчатая кривая ПИД-регулятора. ');
24. step(sys)
25. vars=[K L T 10 0]
26. chrpid(3,vars)
```

## Приложение Б (Обязательное) Код метод CHR

### Листинг Б.1 – Код метод CHR

```
1. function [Gc,Kp,Ti,Td]=chrpid(key,vars)
2. %vars=[K L T N ov], ov = 0 соответствует управлению без перерегулирования, ov = 1 соответствует
управлению с перерегулированием 20 %.
3. K=vars(1);L=vars(2);T=vars(3);N=vars(4);
4. ov=vars(5)+1;
5. a=K*L/T;
6. KK=[0.3,0.35,1.2,0.6,1,0.5; % Параметры с перерегулированием 0 %
7. 0.7,0.6,1,0.95,1.4,0.47]; % Параметры с превышением 20%
8. if key==1 % P-контроллер
9. Kp=KK(ov,1)/a;
10. Ti=inf;
11. Td=0;
12. elseif key==2 %PI-контроллер
13. Kp=KK(ov,2)/a;
14. Ti=KK(ov,3)*T;
15. Td=0;
16. else % PID-контроллер
17. Kp=KK(ov,4)/a;
18. Ti=KK(ov,5)*T;
19. Td=KK(ov,6)*L;
20. End
21. Gc=pidstd(Kp,Ti,Td,N);
```

**Приложение В**  
**(Обязательное)**  
**Код, для настройки значения Kb**

Листинг В.1 – Код, для настройки значения Kb

```
1. clear all;
2. format long;
3. hold off;
4. i = 0;
5. Kb = 0;
6. tnn = 0;
7. ower = 0;
8. for Kb = 0:0.1:70
9.     i = i+1;
10.    KK(i)=Kb;
11.    sim('bz3.slx');% начни simulink
12.    set_param('bz3','SimulationCommand','update');% Обновите изображения для simulink
13.    set_param('bz3','SimulationCommand','WriteDataLogs');% Запишите значение Kb в Simulink.
14.    S1 = stepinfo(ans.ScopeData(:,2),ans.ScopeData(:,1));
15.    tnn(i) = S1.SettlingTime;
16.    ower(i) = S1.Overshoot;
17.    end
18.    plot(KK,tnn)
19.    hold on
20.    plot(KK, ower);
21.    [q,tt] = min(tnn)
22.    Kb = KK(tt)
23.    chrpid(3,vars)
```

**Приложение Г**  
**(Обязательное)**  
**Листинг регулятора**

Листинг Г.1 – Листинг регулятора

```
1.     format long;
2.     hold off;
3.     p = 0;
4.     i = 0;
5.     d = 0;
6.     s = 0;
7.     j = 0;
8.     Kp = 0;
9.     Ki = 0;
10.    Kd = 0;
11.    Kb = 0;
12.    tnn = 0;
13.    ower = 0;
14.    for Kp = 0.82:0.164:2.46
15.    for Ki = 5.9665:1.1933:17.8995
16.    for Kd = 0.000016:0.0006209:0.006225
17.    for Kb = 0.65:0.13:1.95
18.    p = p+1;
19.    i = i+1;
20.    d = d+1;
21.    s = s+1;
22.    j = j+1;
23.    KKp(p)=Kp;
24.    KKi(i)=Ki;
25.    KKd(d)=Kd;
26.    KKb(s)=Kb;
27.    sim('bz4.slx');
28.    % set_param('bz4','SimulationCommand','update');
29.    % set_param('bz4','SimulationCommand','WriteDataLogs');
30.    S1 = stepinfo(ans.ScopeData(:,2),ans.ScopeData(:,1));
31.    tnn(j) = S1.SettlingTime;
32.    %ower(i) = S1.Overshoot;
33.    end
34.    end
35.    end
36.    end
37.    % plot(KKp,tnn)
38.    % plot(KKi,tnn)
39.    % plot(KKd,tnn)
40.    % plot(KKb,tnn)
41.    hold on;
42.    [q,tt] = min(tnn)
43.    KKp(tt)
44.    KKi(tt)
45.    KKd(tt)
46.    KKb(tt)
```