



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

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике  
Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

### **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

| Тема работы                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Автоматизированная система управления параметрами распыления суспензионного топлива |

УДК 681.5:662.75.063.62

Обучающийся

| Группа | ФИО             | Подпись | Дата |
|--------|-----------------|---------|------|
| 5Б93   | Клименко Андрей |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность    | ФИО                    | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ИШФВП | Волков Роман Сергеевич | К.Т.Н.                 |         |      |

### **КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность        | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Якимова Татьяна Борисовна | К.Э.Н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                  | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преподаватель ООД ШБИП | Мезенцева Ирина Леонидовна | -                      |         |      |

### **ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП, должность | ФИО                             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент НОЦ И.Н. Бутакова    | Атрошенко Юлиана Константиновна | К.Т.Н                  |         |      |

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

| Код компетенции СУОС                    | Наименование компетенции СУОС                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Универсальные компетенции</b>        |                                                                                                                                                                                                                                          |
| УК(У)-1                                 | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач                                                                                                           |
| УК(У)-2                                 | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений                                                               |
| УК(У)-3                                 | Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде                                                                                                                                                      |
| УК(У)-4                                 | Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)                                                                                      |
| УК(У)-5                                 | Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах                                                                                                                   |
| УК(У)-6                                 | Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни                                                                                              |
| УК(У)-7                                 | Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности                                                                                                 |
| УК(У)-8                                 | Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций                                                                                                              |
| УК(У)-9                                 | Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи                                                                        |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                          |
| ОПК(У)-1                                | Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий                                              |
| ОПК(У)-2                                | Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач                                                    |
| ОПК(У)-3                                | Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов                                   |
| ОПК(У)-4                                | Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок                                                                                                             |
| ОПК(У)-5                                | Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение |
| <b>Профессиональные компетенции</b>     |                                                                                                                                                                                                                                          |

| <b>Код компетенции СУОС</b> | <b>Наименование компетенции СУОС</b>                                                                                                                                              |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | <b>Универсальные компетенции</b>                                                                                                                                                  |
| ПК(У)-1                     | Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач                                          |
| ПК(У)-2                     | Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках                                                                    |
| ПК(У)-3                     | Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС                                                                                           |
| ПК(У)-4                     | Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП    |
| ПК(У)-5                     | Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций                                                                           |
| ПК(У)-6                     | Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела |
| ПК(У)-7                     | Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП                                                |
| ПК(У)-8                     | Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП                                                                                       |



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

Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) Атрошенко Ю.К.  
(ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

| Группа | ФИО             |
|--------|-----------------|
| 5Б93   | Клименко Андрей |

Тема работы:

|                                                                                     |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Автоматизированная система управления параметрами распыления суспензионного топлива |                       |
| Утверждена приказом директора ИШЭ                                                   | 10.02.2023, № 41–34/с |

|                                          |               |
|------------------------------------------|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 01.06.2023 г. |
|------------------------------------------|---------------|

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                               | Объектом автоматизации является подсистема топливоподачи водоугольного топлива.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы;</li> <li>2. Описание объекта автоматизации;</li> <li>2. Разработка структурной схемы;</li> <li>3. Разработка функциональной схемы и составление заказной спецификации;</li> <li>4. Разработка монтажной схемы внешних проводов;</li> <li>5. Разработка схемы электрической соединений;</li> <li>6. Разработка общего вида щита автоматизации;</li> <li>7. Расчет оптимальных параметров настройки регулятора и прямых оценок качества переходного процесса;</li> <li>8. Разработка мнемосхемы АСУ;</li> </ol> |

|                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                   | 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;<br>10. Социальная ответственность.                                                                                                                                                                                  |
| <b>Перечень графического материала</b>                            | 1. Схема структурная АСУ;<br>2. Схема функциональная АСУ;<br>3. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации;<br>4. Схема электрическая соединений;<br>5. Перечень элементов электрической схемы;<br>6. Схема монтажная внешних проводок;<br>7. Общий вид щита автоматизации. |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Раздел</b>                                                     | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение   | Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна                                                                                                                                                                                                                                     |
| Социальная ответственность                                        | Ст. преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                 |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 10.02.2023 г. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность    | ФИО                    | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ИШФВП | Волков Роман Сергеевич | к.т.н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

| Группа | ФИО             | Подпись | Дата |
|--------|-----------------|---------|------|
| 5Б93   | Клименко Андрей |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 114 страниц, 25 рисунков, 34 таблиц, 63 источника.

Ключевые слова: характеристики распыления, водоугольное топливо, автоматизированная система управления, ПЛК, форсуночное устройство.

Объектом автоматизации является система топливоподачи.

Цель работы: разработка автоматизированной системы управления (АСУ) параметрами распыления суспензионного топлива.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы проводились экспериментальные исследования, выполнен анализ объекта автоматизации, разработана структурная и функциональная схемы АСУ, составлена спецификация приборов и средств автоматизации, а также выполнена разработка монтажной схемы, схемы электрической соединений и общего вида щита автоматизации, составлен перечень элементов.

Результатом выполнения работы является разработка автоматизированной системы управления параметрами распыления суспензионного топлива на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

## Обозначение и сокращение

АСУ – автоматизированная система управления;

ВО – вид общий

ВУТ – водоугольное топливо;

ЗС – заказная спецификация;

ИМ – исполнительный механизм;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПЭ – перечень элементов;

РО – регулирующий орган;

РТП – регулируемый технологический параметр;

ТЭС – теплоэлектростанция;

Ф – форсуночное устройство;

## Оглавление

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                                       | 11 |
| 1 Научно-исследовательская работа .....                                                                                                              | 15 |
| 1.1 Описание экспериментального стенда .....                                                                                                         | 15 |
| 1.2 Описание методики проведения экспериментов .....                                                                                                 | 16 |
| 1.3 Анализ результатов проведенных экспериментов.....                                                                                                | 18 |
| 2 Анализ объекта автоматизации .....                                                                                                                 | 22 |
| 3 Выбор структуры автоматической системы регулирования .....                                                                                         | 27 |
| 3.1 Разработка структурной схемы топливоподачи.....                                                                                                  | 28 |
| 3.2 Разработка функциональной схемы топливоподачи .....                                                                                              | 30 |
| 3.3 Выбор технических средств АСУ системы топливоподачи.....                                                                                         | 33 |
| 3.3.1 Выбор измерительных преобразователей расхода .....                                                                                             | 33 |
| 3.3.2 Выбор измерительных преобразователей давления .....                                                                                            | 37 |
| 3.3.3 Выбор контроллера .....                                                                                                                        | 38 |
| 3.3.4 Выбор трехходового регулирующего клапана.....                                                                                                  | 41 |
| 3.3.5 Выбор электропривода для трехходового клапана.....                                                                                             | 42 |
| 3.3.6 Выбор насоса .....                                                                                                                             | 43 |
| 3.3.7 Выбор промышленного компрессора.....                                                                                                           | 43 |
| 3.3.8 Выбор частотного преобразователя .....                                                                                                         | 44 |
| 3.4 Разработка монтажной схемы .....                                                                                                                 | 46 |
| 3.5 Разработка схемы электрической соединений.....                                                                                                   | 49 |
| 3.6 Разработка общего вида щита автоматизации .....                                                                                                  | 52 |
| 4 Расчет параметров настройки регулятора.....                                                                                                        | 53 |
| 4.1 Идентификация объекта управления .....                                                                                                           | 53 |
| 4.2 Расчет параметров настройки регулятора.....                                                                                                      | 55 |
| 4.3 Расчет переходного процесса .....                                                                                                                | 59 |
| 4.4 Оценка качества переходного процесса .....                                                                                                       | 63 |
| 5 Мнемосхема проекта:.....                                                                                                                           | 65 |
| 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                    | 70 |
| 6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения<br>научных исследований с позиции ресурсоэффективности и<br>ресурсосбережения ..... | 70 |



|       |                                                                                                                                                                |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.1 | Потенциальные потребители результатов исследования.....                                                                                                        | 70  |
| 6.1.2 | Анализ конкурентоспособности технических решений .....                                                                                                         | 71  |
| 6.1.3 | SWOT - анализ .....                                                                                                                                            | 72  |
| 6.2   | Планирование научно-исследовательских работ .....                                                                                                              | 74  |
| 6.2.1 | Структура работ в рамках научного исследования .....                                                                                                           | 74  |
| 6.2.2 | Определение трудоемкости выполнения работ .....                                                                                                                | 75  |
| 6.3   | Бюджет научно-технического исследования.....                                                                                                                   | 78  |
| 6.3.1 | Расчет материальных затрат НТИ .....                                                                                                                           | 79  |
| 6.3.2 | Расчет затрат на специальное оборудование для научных<br>(экспериментальных) работ.....                                                                        | 79  |
| 6.3.3 | Основная заработная плата исполнителей темы.....                                                                                                               | 81  |
| 6.3.4 | Дополнительная заработная плата исполнителей.....                                                                                                              | 83  |
| 6.3.5 | Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления).....                                                                                                   | 83  |
| 6.3.6 | Накладные расходы.....                                                                                                                                         | 84  |
| 6.3.7 | Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта                                                                                                  | 85  |
| 6.4   | Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,<br>бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования...                                 | 85  |
|       | Выводы по разделу .....                                                                                                                                        | 89  |
| 7     | Социальная ответственность.....                                                                                                                                | 92  |
|       | Введение .....                                                                                                                                                 | 92  |
| 7.1   | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...                                                                                                 | 93  |
| 7.2   | Производственная безопасность .....                                                                                                                            | 94  |
| 7.2.1 | Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны.....                                                                                                              | 96  |
| 7.2.2 | Отсутствие или недостаток необходимого искусственного<br>освещения.....                                                                                        | 97  |
| 7.2.3 | Повышенный уровень шума на рабочем месте.....                                                                                                                  | 98  |
| 7.2.4 | Повышенная концентрация СО в помещении.....                                                                                                                    | 99  |
| 7.2.5 | Длительное сосредоточенное наблюдение .....                                                                                                                    | 100 |
| 7.2.6 | Производственные факторы, связанные с электрическим током,<br>вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие<br>которого попадает работающий..... | 101 |
| 7.3   | Экологическая безопасность .....                                                                                                                               | 102 |
| 7.3.1 | Воздействие на литосферу.....                                                                                                                                  | 102 |
| 7.3.2 | Воздействие на гидросферу.....                                                                                                                                 | 102 |

|                                                                                                                 |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 7.3.3 Воздействие на атмосферу .....                                                                            | 102                 |
| 7.4 Безопасность в ЧС .....                                                                                     | 103                 |
| 7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....                                  | 104                 |
| 7.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС..... | 105                 |
| Вывод по разделу.....                                                                                           | 106                 |
| Заключение.....                                                                                                 | 107                 |
| Список использованных источников.....                                                                           | 108                 |
| Графический материал.....                                                                                       | На отдельных листах |
| ФЮРА.421000.010 С1 Схема структурная АСУ параметрами распыления суспензионного топлива                          |                     |
| ФЮРА.421000.010 С2 Схема функциональная АСУ параметрами распыления суспензионного топлива                       |                     |
| ФЮРА.421000.010 СО1 Заказная спецификация приборов и средств автоматизации                                      |                     |
| ФЮРА.421000.010 Э4 Схема электрическая соединений щита автоматизации                                            |                     |
| ФЮРА.421000.010 ПЭ4 Перечень элементов электрической схемы соединений                                           |                     |
| ФЮРА.421000.010 С5 Монтажная схема соединений внешних проводок                                                  |                     |
| ФЮРА.421000.010 ВО Общий вид щита автоматизации                                                                 |                     |

## Введение

На сегодняшний день доля угля в мировом потреблении топлива и энергии остается высокой несмотря на то, что потребление угля в мире снижается за последние 10 лет. Уголь сжигается уже на протяжении последних 200 лет. Однако основным недостатком использования этого вида топлива является то, что уголь – один из самых загрязняющих энергоносителей [1,2]. Также уголь останется решающим фактором глобальной безопасности энергоснабжения в последующие десятилетия. Поэтому станции, работающие на угле, требуют использования чистых, энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий. Также одним из недостатков угля является – большой объем отходов углеобогащения. На данный момент большинство отходов углеобогащения не сжигаются и складываются в отвалы. Одним из появившихся многообещающих решений утилизации отходов является поиск возможностей получения дохода путем создания вторичных продуктов из потоков отходов. Одним из перспективных топлив в промышленной энергетике является водоугольная суспензия [3].

Использование водоугольных суспензий имеет несколько преимуществ перед углем, таких как утилизация отходов, а также с помощью модернизации котлов, работающих на угле, можно существенно улучшить экологические характеристики при их сжигании. Так в [4] продемонстрированы сравнительные результаты по измерению концентрации вредных выбросов при сжигании углей и ВУТ. Так в процессе горения суспензий ВУТ присутствующая в топливе вода существенно влияет на динамику образования оксидов серы и азота. Также присутствие в топливе воды способствует тому, что температура и скорость сгорания снижаются, это приводит к уменьшению образования антропогенных выбросов  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$ . В [4] установлено, что по сравнению с углем сжигание суспензий ВУТ практически предотвращает образование летучей золы, снижает образование оксидов углерода, серы и азота. В настоящий момент полностью перейти на водоугольные суспензии

невозможно, но частично заменить, допустим, для небольших котлоагрегатов – достаточно реально и возможно.

Технология сжигания водоугольных суспензий для производства тепла и электроэнергии до сих пор широко не изучена, несмотря на демонстрируемые преимущества перед традиционной технологией сжигания угля на протяжении более 30 лет [5,6]. В последние годы во всем мире были приняты новые меры по сокращению вредных выбросов в атмосферу из-за увеличения углеродного следа. Поэтому перспективные экологические технологии стали очень актуальными. Известно, что оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) являются одним из основных негативных воздействий на окружающую среду при сжигании угля [7,8]. В последние годы рост цен на такие энергоносители, как мазут, и ужесточение требований к экологическим характеристикам повысили глобальный интерес к водоугольным топливам [9].

Водоугольное топливо привлекает внимание исследователей [10], но не инженеров - конструкторов. Причина кроется в различных проблемах, возникающих при попытке внедрения такой технологии. Одной из них является длительное время задержки воспламенения для капель топлива размером более миллиметра. Поэтому одной из основных проблем, объективно возникающих в настоящее время, является измельчение водоугольных суспензий в капли наименьшего возможного размера после фактического распыления в форсунке.

Важно отметить, что для сжигания водоугольного топлива требуется его распылить, а этот процесс обычно предполагает подготовку, т.е. использование подготовленной топливной композиции. Также при распылении суспензионных топлив важную роль играет конструкция форсунок и соотношение расхода воздуха и топлива. В настоящее время проведены исследования для определения характеристик горения [11-15] и распыления [16-21]. Результаты исследований [11–21] свидетельствуют о том, что водоугольные суспензии могут стать альтернативой углю в качестве основного топлива на ТЭС. В [22] проведено исследование совместного сжигания угля и

водоугольного топлива. Так результаты совместного сжигания угля и водоугольной суспензии испытаний промышленного котла БКЗ-500-140-1 (Красноярская ГРЭС, Россия), на березовских углях марок Д (длиннопламенный), позволили зарегистрировать снижение недожога топлива, а также почти в два раза снизить вредные выбросы.

Немаловажно знать требуемый расход топлива, для этого проводятся испытания котлов. Например, результаты тепловых испытаний котла КЕ 10/14 (Мошковская котельная, Новосибирская область, Россия), переоборудованного для сжигания водоугольного топлива, позволили установить расход топлива, он составил – 1216.8 кг/ч. В результате опытно-промышленных испытаний работы мазутного котла ДКВР 6.5/13 на водоугольном топливе установлен массовый расход ВУТ 420 – 480 кг/ч. Анализ показывает, что в зависимости от марки и характеристики котлоагрегата для обеспечения работы котла на водоугольном топливе [23-25], необходимый расход ВУТ должен поддерживаться в среднем, в диапазоне 100 – 1200 кг/ч.

Для распыления водоугольных суспензий необходима специальная форсунка. В Томском политехническом университете в лаборатории тепломассопереноса была разработана форсунка для распыления водоугольных топлив. Для этого проводились исследования процессов распылении водоугольных суспензий [18]. Было установлено, что расход топлива форсунки составлял от 100 – 500 кг/ч. Это позволяет сжигать водоугольные топлива в промышленных котлах. При этом сохраняется возможность использовать одновременно несколько форсунок для больших котлов [26].

В реальной практике на котлах в качестве жидкого топлива используется мазут. Так как водоугольное топливо является суспензионным, в отличие от мазута, характеристики распыления такого топлива существенно отличаются от характеристик распыления жидких топлив. В том числе отличаются и конструкции форсунок. Необходимо отметить, что скорость зажигания и полнота сгорания топлива существенно зависят от характеристик распыления

(размеров и скоростей движения капель, угла раскрытия струи). При этом на упомянутые характеристики распыления может влиять, как конструкция форсуночного устройства, так и компонентный состав топлива. Таким образом, важно провести цикл экспериментальных исследований по определению характеристик распыления ВУТ, а также разработать автоматизированную систему контроля этих характеристик.

Цель данной работы: разработка АСУ параметрами распыления суспензионного топлива, позволяющей в режиме реального времени контролировать или задавать характеристики распыла широкой группы суспензионных водоугольных топлив.

# 1 Научно-исследовательская работа

## 1.1 Описание экспериментального стенда

Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 1. Водугольное топливо подается через форсунку с помощью штока (8), имеющего объем 150 мл и диаметр поршня 30 мм. Воздух по каналу подачи (1) нагнетался в камеру воздушным компрессором (9) “PATRIOT EURO 24/240” (тип – поршневой масляный; рабочее давление – 0,1 – 0,8 МПа; объем ресивера – 24 л; максимальная производительность – 240 л/мин Камера для распыления суспензии (4) изготовлена из стекла и поликарбоната, толщина стенок которой равна 3 мм и имеет размеры 1х0,5х0,6 м. Система видеорегистрации и цифровой визуализации включает: прожектор (3) “Multiled PT-V9 GS Vitec” (количество светодиодов – 24; световой поток – 7700 лм; мощность – 84 Вт, угол рассеивания – 30°), высокоскоростную видеокамеру (6) “Photron FASTCAM Mini UX100 M3” (максимальная скорость съемки –  $8 \cdot 10^5$  кадров в секунду, минимальное время экспозиции – 4 наносекунды, максимальная разрядность изображения – 12 бит) и два объектива (5): “SIGMA 50 мм 1:2.8D MACRO EX” (фокусное расстояние – 50 мм, относительное отверстие – 2.8); “Nikon Micro-Nikkor 200mm f/4D ED-IF A” (фокусное расстояние – 200 мм, относительное отверстие – 4). Для приготовления суспензий в экспериментах в качестве основного компонента использовался типичный отход углеобогащения – фильтр-кек длиннопламенного каменного угля.

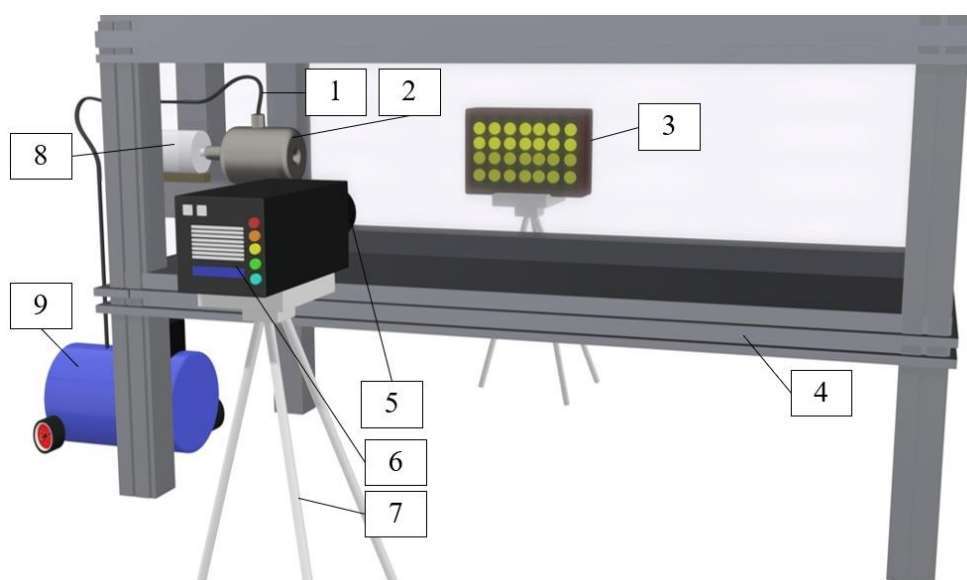


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда: 1 – канал подачи воздуха; 2 – форсуночное устройство; 3 – прожектор; 4 – камера для распыления суспензии; 5 – объектив видеокамеры; 6 – высокоскоростная видеокамера; 7 – штатив; 8 – шток для выдавливание суспензии; 9 – компрессор

## 1.2 Описание методики проведения экспериментов

В данной работе экспериментальные исследования проводились в два этапа. В первом этапе проводились эксперименты по регистрации зависимостей интенсивности свечения, скоростей и размеров капель от времени распыления. Целью данных экспериментов было получение кривой разгона объекта управления (распылительной форсунки). На втором этапе выполнен цикл экспериментов, целью которого являлось определение характеристик распыления водоугольного топлива – размеров и скоростей движения капель в распыленном потоке.

Эксперименты по определению зависимостей интенсивности свечения капель от времени проводились при разных давлениях воздуха в системе для малых и больших областей. После проведения экспериментов полученные видеокadres обрабатывались с использованием программного обеспечения “DaVis”.



Полученные изображения из каждой экспериментальной серии загружались в ПО “DaVis”. После этого проводилось усреднение интенсивности серии изображений с использованием процедуры “Statistics”. В итоге получалось одно усредненное изображение. После этого выполнялось сглаживание исходного изображения с использованием процедуры “Smoothing Filter” (по области  $3 \times 3$  пикселя). Следующим шагом проводилась процедура маскирования фона с использованием процедуры “Algoritmic Mask”. В процессе операции всем пикселям, имеющим значение интенсивности ниже интенсивности фона, присваивалось нулевое значение. Интенсивность остальных пикселей оставалась без изменений. После чего для каждого кадра находилась средняя интенсивность капель.

Эксперименты по определению средних скоростей движения капель от времени проводились также при различных давлениях воздуха в системе. Для определения скоростей движения капель использовался метод “Particle Image Velocimetry” (PIV).

После проведения экспериментальных исследований полученные видеокadres обрабатывались в программном обеспечении “Actual Flow”. Процесс обработки включал несколько последовательных этапов: цветовая палитра (gray) исходных кадров инвертировалась. Из интенсивности каждого пикселя изображения вычиталась пороговая интенсивность фона. После этого с использованием кросскорреляционного алгоритма обработки данных строились мгновенные двухкомпонентные поля скорости струи, после чего выполнялась процедура интерполяции полученных мгновенных полей скорости. С помощью программного обеспечения Wolfram Mathematica находилась зависимость средних скоростей движения капель от времени.

Эксперименты по зависимостям размеров генерируемых капель от времени проводились при разных давлениях. Для определения размеров капель суспензии применялся метод “Shadow Photography” (SP).

После проведения экспериментальных исследований полученные видеокadres обрабатывались с применением программного обеспечения

“Actual Flow”. На первом шаге выполнялось выделение границ капель суспензии программным фильтром “Laplace Edge Detection” на каждом кадре. После этого выполнялась нейтрализация шумов на изображениях. С использованием процедуры “Bubbles Identification” определялись координаты центров капель, а также средние размеры (радиусы –  $r$ ) капель суспензии, попавших в регистрационную область. На последнем шаге в программном обеспечении Wolfram Mathematica для каждого кадра вычислялись средние размеры капель. По итогу строилась зависимость средних размеров капель от времени.

### **1.3 Анализ результатов проведенных экспериментов**

На рисунке 2 представлена зависимость интенсивности свечения от времени при разных давлениях в большой регистрируемой области. Анализ экспериментальных исследований показал, что при увлечении давления воздуха изменяется динамика изменения интенсивности вследствие изменения скоростей капель. Установлено, что при увеличении давления выход интенсивности капель на установившееся значение происходит медленнее. Такой эффект обусловлен тем, что при больших давлениях воздуха струя разбивается на очень мелкие капли. На рисунке 3 представлена зависимость скорости движения капель от времени при разных давлениях в малой регистрационной области. Анализ экспериментальных данных показал, что время выхода скоростей движения капель на установившееся значение увеличивается.

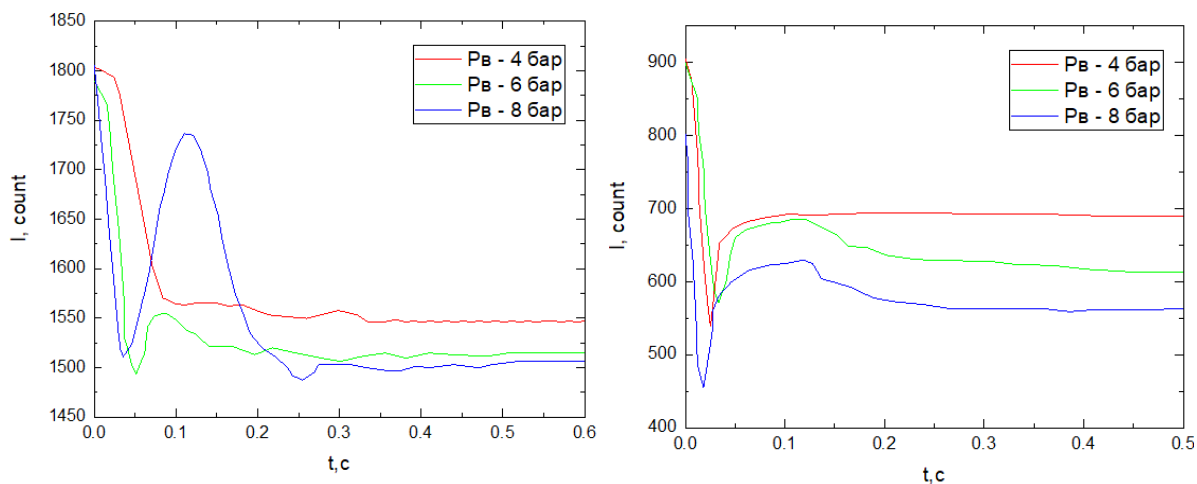


Рисунок 2 – Зависимость интенсивность свечения от времени: при измерении скорости капель (а); при измерении размеров капель (б)

На рисунке 4 представлена зависимость средних размеров капель от времени при разных давлениях. Анализ полученных данных показал, что время выхода средних размеров капель в струе на установившееся значение, в отличие от предыдущих результатов, наоборот, возрастает. При больших давлениях время условной стабилизации средних размеров капель составляет примерно 0,4 с.

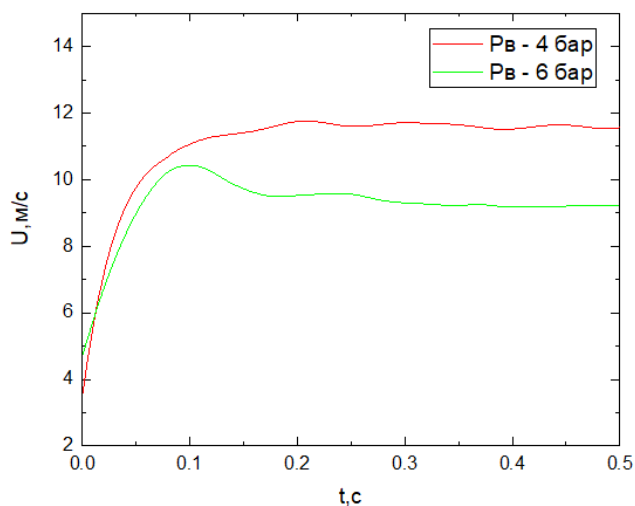


Рисунок 3 – Зависимость средних скоростей капель от времени

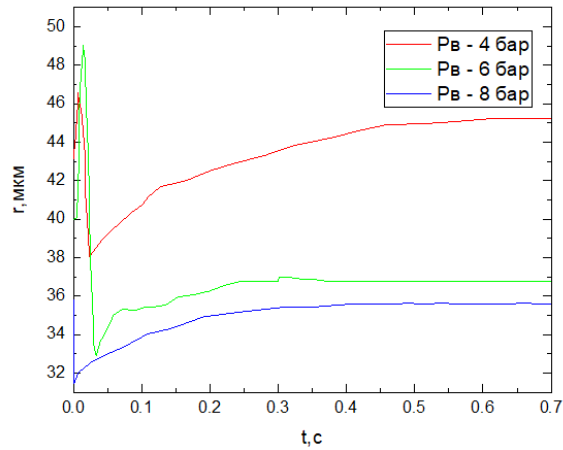


Рисунок 4 – Зависимость средних размеров капель от времени

На рисунках 5 и 6 показаны результаты, полученные в результате исследований [17], иллюстрирующие значения скоростей и размеров капель при разном расходе суспензионного топлива, при разных давлениях воздуха, а также при разных углах поворота форсуночного устройства. На основе этих данных, подбираются необходимые характеристики для распыления топлива.

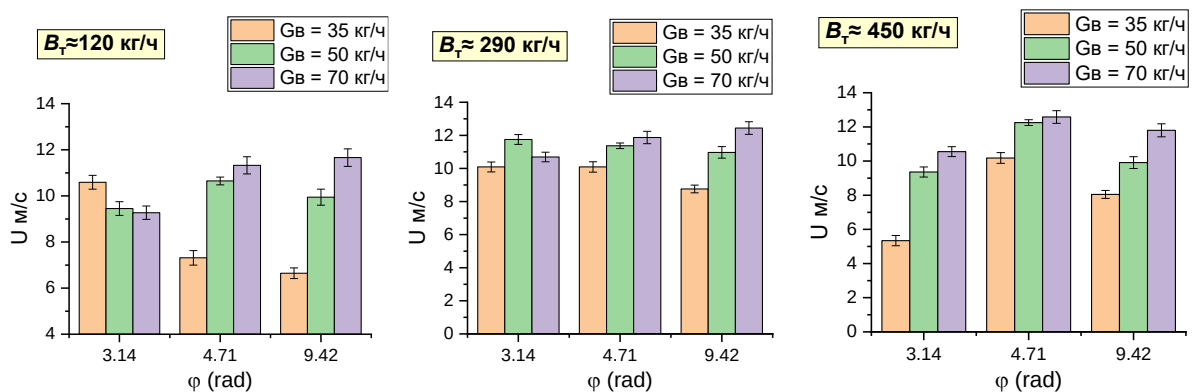


Рисунок 5 – Гистограммы средних скоростей движения капель в струе при распылении состава 50% кек, 50% вода распылительными форсунками с тремя различными расходами топлива [17]

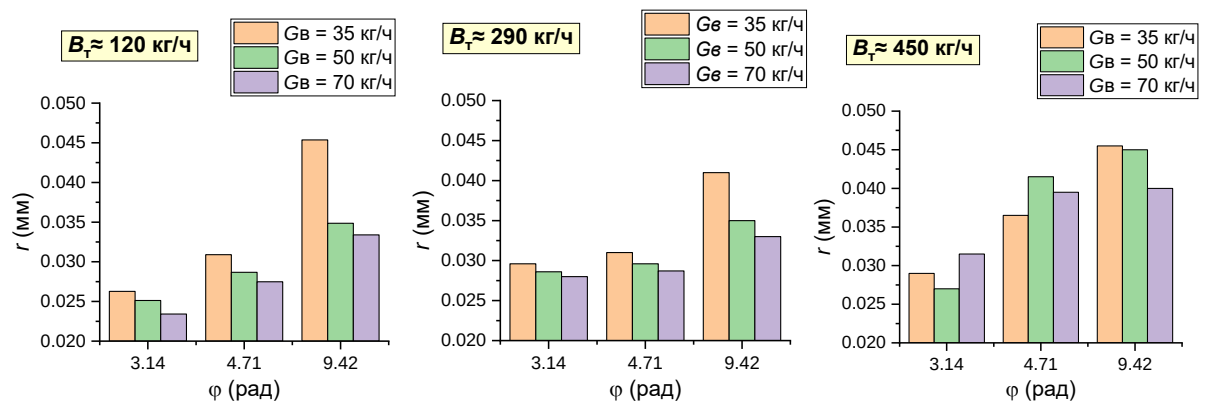


Рисунок 6 – Гистограммы средних размеров капель в струе при распыле состава 50% кек, 50% распылительными форсунками с тремя различными расходами топлива [17]

## 2 Анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации является любое технологическое устройство, будь то станок или целый комплекс, которым необходимо управлять. В этой работе автоматизируется система топливоподачи, включающая форсуночное устройство, сервопривод, насос, трубопроводы, компрессор и резервуар топлива. Задача регулирования параметров распыления суспензионного топлива состоит в обеспечения высоких характеристик впрыска топлива. На рисунке 7 показана схема подачи топлива.

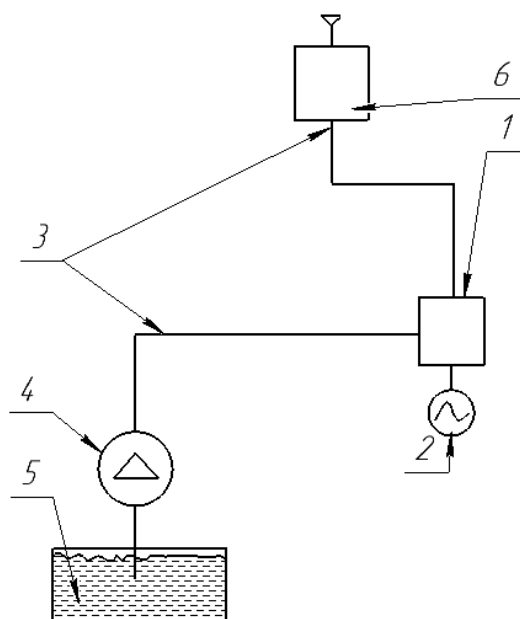


Рисунок 7 – Схема топливоподачи: 1 – форсуночное устройство, 2 – электропривод, 3 – трубопроводы, 4 – перекачивающий насос, 5 – резервуар топлива, 6 – воздушный компрессор

Принцип работы системы топливоподачи основан на регулирования расхода топлива с помощью насоса, регулирования давления воздуха с помощью компрессора, а также регулирования угла поворота распылительной форсунки с помощью сервопривода. Из резервуара с помощью насоса перекачивается топливо на форсунку. С помощью компрессора подается воздух с регулируемым давлением для разбиения струи, а с помощью

сервопривода регулируется угол поворота распылительного устройства. За счет регулирования угла поворота распылительного устройства (рассеивающего сопла в корпусе форсунки) имеется возможность варьирования дисперсности капель.

Для распыления суспензионного топлива используется специальная разработанная Томским политехническим университетом в лаборатории моделирования процессов тепломассопереноса пневматическая форсунка. Конструкция форсунки (рис 8.) представляет три соединенных между собой детали: корпус форсунки, распылитель (сопло) с внутренней подачей жидкости или суспензии и штуцер для нагнетания воздуха с определенным давлением [17]. Форсунка позволяет впрыскивать жидкие и пылевидные топлива. Характеристики формируемого потока воздуха влияют на размеры, скорость и траектории движения генерируемых капель, т.е. на геометрию струи.

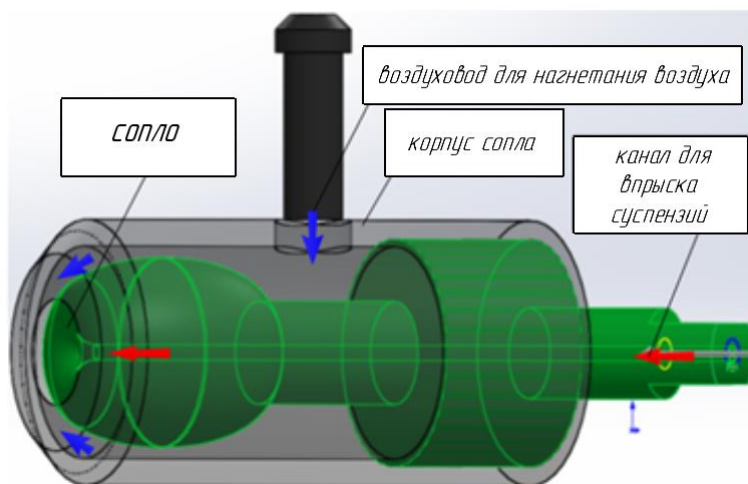


Рисунок 8 – Внешний вид пневматической форсунки

В разрабатываемой АСУ для регулирования угла поворота распылительного устройства используется сервопривод. Выходной вал сервопривода соединяется с каналом для впрыска с помощью зубчатой передачи. Это позволяет менять угол поворота сопла.

Серводвигатели (рис.9) – это роторные двигатели с датчиками обратной связи, которые позволяют точно контролировать угловое положение, скорость и ускорение исполнительного механизма. При выборе сервопривода важны не только их механические свойства, но и динамические показатели, такие как индуктивность обмотки и момент инерции ротора, которые имеют большое значение для общих параметров серводвигателя. Конструкция двигателя с полым ротором широко используется в сервоприводах для улучшения динамических характеристик автоматических систем [27].



Рисунок 9 – Внешний вид регулируемого сервопривода [27]

Принцип действия сервопривода в системе заключается в том, что при подаче управляющего сигнала происходит вращение вала к положениям открыто или закрыто в зависимости от величины управляющего сигнала. Как правило, сервопривод управляется серводрайвером. Важно отметить, что серводрайвер подключается к контроллеру посредством интерфейса RS-232.

Подача воздуха на форсунку осуществляется воздушным промышленным компрессором. Это необходимо для того, чтобы подаваемая суспензия разбивалась потоком воздуха, тем самым образуя на выходе форсунки топливную струю. На рисунке 10 приведена конструкция компрессора.



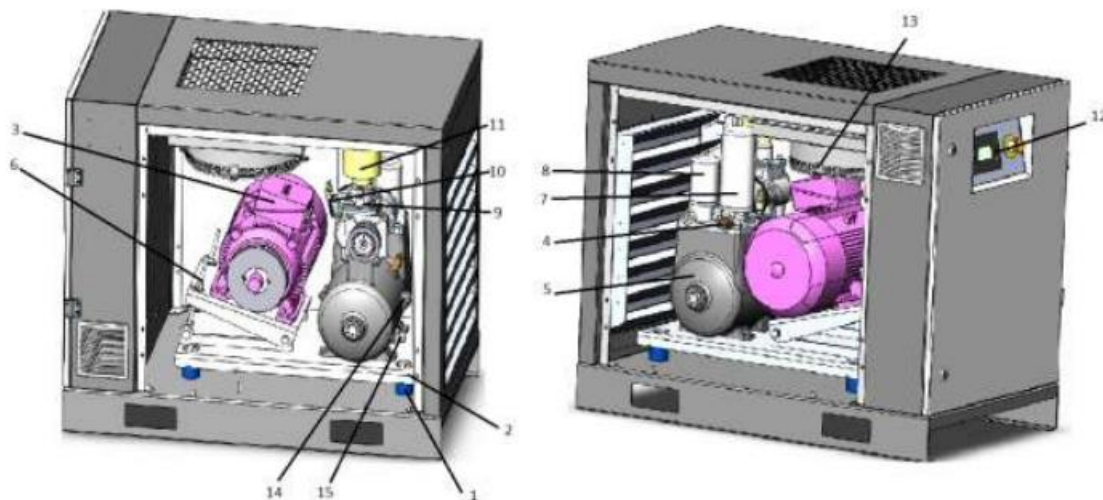


Рисунок 10 – Конструкция компрессора: 1 – опора амортизационная; 2 – рама; 3 – электродвигатель приводной; 4 – клапан минимального давления; 5 – модуль компактный компрессорный; 6 – натяжное устройство ременной передачи; 7 – сепаратор-ловушка; 8 – фильтр масляный; 9 – клапан впускной; 10 – электроуправление впускным клапаном; 11 – воздухоочиститель; 12 – панель управления; 13 – вентилятор; 14 – маслозаливная горловина; 15 – кран слива масла [28]

Компрессор предназначен для снабжения сжатым воздухом технологических процессов. Как правило, винтовые компрессоры эксплуатируются в условиях окружающей среды для категории климатического исполнения УХЛ1 согласно ГОСТ 15150-69, при температуре окружающей среды от 1°C – до 35°C и атмосферном давлении не ниже 0,087 МПа.

Винтовой компрессор состоит из следующих элементов:

- рама;
- установка двигателя;
- модуль компактный компрессорный;
- блок охлаждения КУ;
- система маслотоварная;
- система управления [28].

Перекачивающий насос нужен для подачи топлива в форсунку. Для перекачки водоугольного топлива выбираем шестеренный насос. Принцип работы насоса заключается в создании вакуума в камере всасывания путем расширения объема камеры за счет расходящихся зубьев шестерен. Это позволяет жидкости быстро заполнять камеру через всасывающий канал благодаря разности давлений в линии забора и подающей камеры. Шестерни перемещают рабочую жидкость в пространстве между зубьев. При вхождении зубьев шестеренного насоса в зацепление происходит уменьшение объема камеры. В результате этого происходит выдавливание жидкости из камеры нагнетания [29].

### 3 Выбор структуры автоматической системы регулирования

Выбор структуры управления для объекта автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность, экономию средств заказчика, надежность, а также ремонтпригодность системы управления.

В этой работе структурная схема разработана на основе схемы "топливо - воздух"[30]. Данная схема регулирования (рис. 11) используется при сжигании жидкого топлива с неизменной теплотой сгорания в котельном агрегате. В данном случае объем воздуха регулируется в зависимости от количества сжигаемого топлива. Как правило, расход жидкого топлива регулируется довольно точно, что обеспечивает экономичный процесс горения, а также простоту исполнения и надежность данной схемы "топливо – воздух". В структурной схеме АСУ параметрами распыления суспензионного топлива предусмотрен – контроль трех технологических параметров: давление воздуха, расход топлива и угол поворота форсуночного устройства.

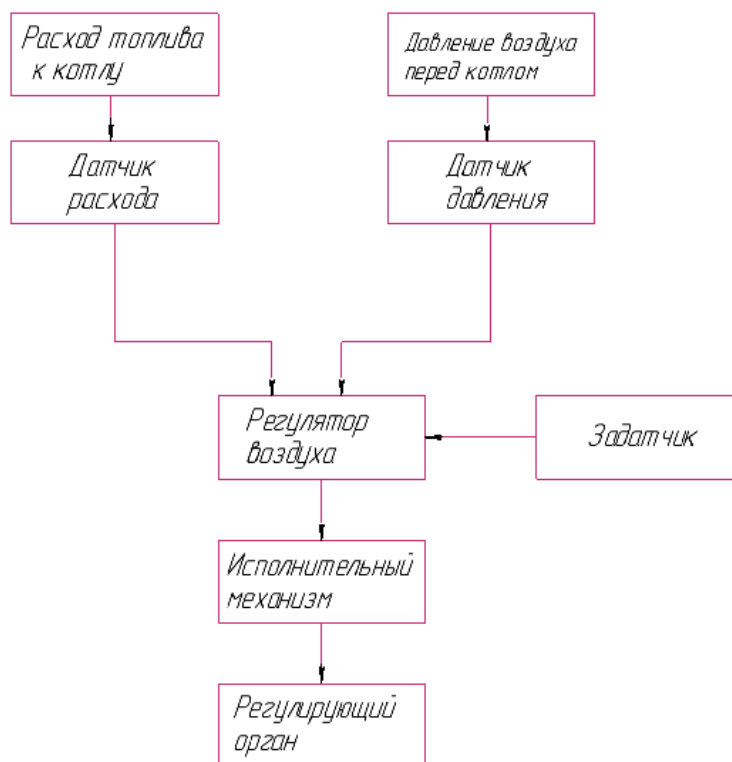


Рисунок 11 – Структурная схема «топливо-воздух»

### 3.1 Разработка структурной схемы топливоподачи

На рисунке 12 приведена структурная схема АСУ подачи топлива. Система управления объектом автоматизации, связанная с объектом, образуя автоматизированную систему. В результате определенной связи между объектом автоматизации и системой управления, система автоматизации в общем обеспечивает необходимый результат функционирования объекта [31].

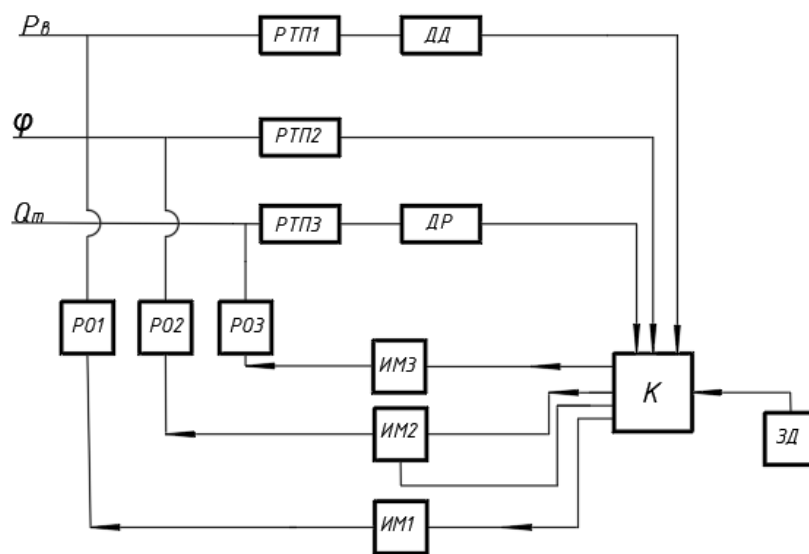


Рисунок 12 – Структурная схема АСУ

В текущей структурной схеме применяются следующие обозначения:

- РТП – регулируемый технологический параметр (1 - давление воздуха, 2 - угол поворота, 3 - расход топлива);
- ДД – датчик давления (давление воздуха);
- ДР – датчик расхода (расход топлива);
- К – контроллер;
- ЗД – задающее устройство (задатчик);
- ИМ – исполнительный механизм (электропривод для насоса и компрессора, сервопривод для форсунки);
- РО – регулирующий орган (насос для топлива, компрессор для воздуха, драйвер для угла поворота);

В данной схеме регулируется три параметра. Из них два параметра измеряются датчиками, где датчики подают унифицированный сигнал 4...20 мА в контроллер. Затем задатчик задает требуемое значение регулируемой величины. Контроллер подает сигнал рассогласования на исполнительный механизм. Кроме этого, для регулирования угла поворота имеется обратная связь. Выходной сигнал контроллера должен компенсировать влияние возмущающего воздействия, то есть должен действовать на объект в обратном направлении по сравнению с воздействием.

Разработанная структурная схема автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 С1.

### 3.2 Разработка функциональной схемы топливоподачи

При разработке функциональной схемы автоматизации и выборе технических средств необходимо учитывать особенности технологических процессов, параметры и характеристики технологических сред, требуемую точность и быстродействие системы.

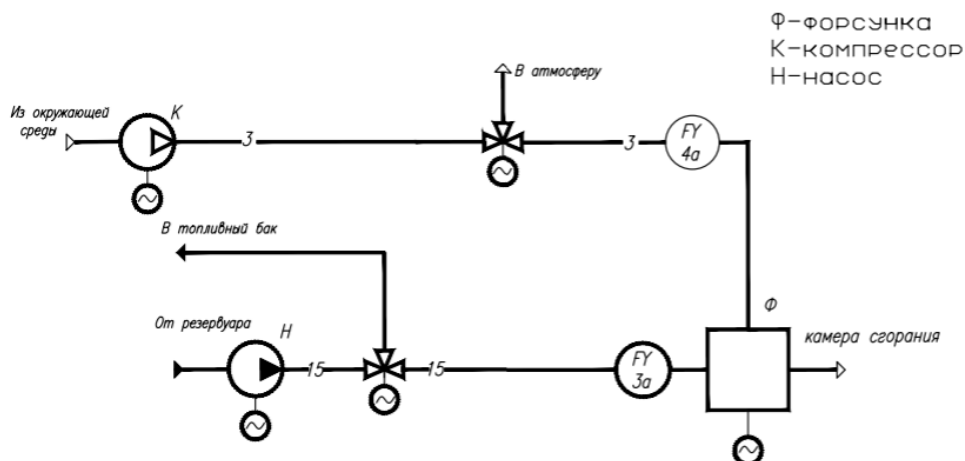


Рисунок 13 – Технологическая схема автоматизированной системы управления параметрами суспензионного топлива

На функциональной схеме технологического оборудования, изображение его контуров спроектировано таким образом, чтобы была возможность наглядно показать взаимосвязь между отдельными элементами технологической цепи, а также её принцип действия вместе с взаимодействием с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации. [32]. На рисунке 13 представлена технологическая схема автоматизированной системы управления параметрами распыления суспензионного топлива.

Из резервуара забирается суспензионное жидкое топливо, подаваемое насосом к форсунке. Воздушным компрессором подается воздух под давлением к форсунке. В итоге топливо и воздух смешиваются и подаются в виде распыленного топливного потока в камеру сгорания. Для регулирования угла поворота распылительного устройства используется сервопривод. Для

регулирования расходов воздуха и топлива используются частотные преобразователи.

На функциональной схеме определены измерительные каналы (1-4, 6, 10,12), каналы регулирования (7,8,11) и каналы управления (5,9). Измерительные каналы 1,2 служат для передачи сигнала о величине давления от датчика давления с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер. Измерительный канал 3,4 служит для передачи сигнала о величине расхода от датчика расхода с унифицированным выходным сигналом 4...20 мА на контроллер. Каналы 5,9 используются для определения положения задвижки: 0 % – «открыта» и 100 % – «закрыта». Каналы 7,8 используются для передачи управляющего сигнала на частотные преобразователи для насоса и компрессора соответственно. Канал 11 используется для передачи управляющего сигнала драйвера сервопривода. Разработанная функциональная схема автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 С2.

Список регулируемых и контролируемых параметров представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Список регулируемых и контролируемых параметров

| Регулируемые параметры                                   | Контролируемые параметры       |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Давление воздуха (4-8 бар)                               | Скорость движение капель (м/с) |
| Угол поворота распылительного устройства (1.57–9.42 рад) | Размеры капель (мкм.)          |
| Расход топлива (100-500 кг/ч)                            |                                |

В таблице 2 представлен список возмущающих и контролируемых воздействий.

Таблица 2– Список возмущающих и контролируемых воздействий

| Возмущающие воздействия                       | Регулирующие воздействия                        |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Вязкость топлива, подаваемого в форсунку      | Расход регулируется за счёт насоса              |
| Теплотехнические свойства инертного материала | Угол поворота регулируется за счёт сервопривода |
|                                               | Давление регулируется за счёт компрессора       |



### 3.3 Выбор технических средств АСУ системы топливоподачи

#### 3.3.1 Выбор измерительных преобразователей расхода

При измерении расхода топлива следует учитывать, что суспензия представляет собой высоковязкую субстанцию, которая вызывает большой износ оборудования. Поэтому используются электромагнитные расходомеры, которые не вступают в контакт с измеряемой средой. Рассмотрим несколько вариантов электромагнитных расходомеров, характеристики которых представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики электромагнитных расходомеров

| Наименование | Расход,<br>м <sup>3</sup> /ч | Давление,<br>МПа | Степень защиты | Предел<br>допускаемой<br>погрешности, % |
|--------------|------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------------|
| ЭМИС-МАГ 270 | до 72                        | 32               | IP66 - IP68    | ±0,5                                    |
| Метран-370   | До 71                        | 0,1              | IP66, IP68     | ±0,5                                    |
| СИМАГ 11 К   | До 72                        | 4                | IP65, IP67     | ±0,5                                    |

Электромагнитный расходомер–счетчик ЭМИС–МАГ 270 предназначен для измерения объема и расхода агрессивных жидкостей, щелочей, кислот и воды. Конструкция ЭМИС-МАГ 270 позволит измерять расход среды с давлением до 32 МПа. ЭМИС-МАГ 270 может использоваться в различных отраслях промышленности, включая нефтяную и газовую, химическую, пищевую, фармацевтическую и др. Расходомеры имеют встроенное программное обеспечение (ПО), устанавливаемое в ЭП, а также внешнее программное обеспечение ModScan32 и SoftElectro HartMonitor, устанавливаемое на ПК [33].

Метран 370 — это интеллектуальный электромагнитный расходомер, предназначенный для измерения объемного расхода агрессивных и

высокопроводимых жидкостей. Расходомер используется в промышленности и может быть установлен на трубопроводах диаметром от 10 мм до 1400 мм. Расходомер Метран 370 имеет высокую точность и надежность измерения, благодаря использованию современных технологий и материалов. Метран 370 имеет большое количество дополнительных функций, таких как настраиваемые верхние и нижние пределы измерения, учет и показ объема среды, графическое отображение зависимости расхода от времени и т.д.

СИМАГ 11 К — это электромагнитный расходомер, обладающий высокой точностью и стабильностью измерений. Обладает встроенной функцией самоочистки электродов для предотвращения нарастания отложений, способных повлиять на точность измерений. Раздельное исполнение применяется в случае высокой температуры контролируемой жидкости, при вибрации трубопровода, при монтаже преобразователя расхода на открытой местности, а также в случае затрудненного доступа к месту монтажа сенсора. Расход и объем жидкости измеряется в двух направлениях — прямом и обратном

После изучения информации о технических параметрах установлено, что из всех рассмотренных электромагнитных расходомеров предпочтителен будет расходомер фирмы ЭМИС-МАГ 270 [33]. Так как расходомер может работать при высоких давлениях до 32 МПа. Следует отметить, что все три расходомера схожи по характеристикам.

Для измерения расхода воздуха нужно учитывать некоторые параметры, такие как долговечность, климатические условия, а также диапазон измерения расхода. В настоящее время есть много видов расходомеров, которые позволяют измерить расход воздуха. Для точного измерения расхода жидкостей и любых газообразных сред используют в больших диапазонах значение расхода иногда используют вихревые расходомеры. Принцип действия такого расходомера основан на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования. Рассмотрим несколько

вариантов электромагнитных расходомеров, характеристики которых приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики вихревых расходомеров

| Наименование                    | Давление, МПа | Расход, м <sup>3</sup> /ч | Степень защиты | Предел допускаемой погрешности, % | Температура среды, °С |
|---------------------------------|---------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Элемер - РВ                     | 20            | 135                       | IP67, IP68     | ±0,9                              | -50...+350            |
| ЭМИС-ВИХРЬ<br>200               | 30            | 120                       | IP66, IP68     | ±0,7                              | -60...+450            |
| Proline Prowirl F<br>200 / 7F2C | 10            | 130                       | IP66, IP67     | ±1                                | -40...+260            |
| Ирга-РВ                         | 40            | 100                       | IP65           | ±1,5                              | -55...+280            |

ЭЛЕМЕР-РВ — это вихревые расходомеры-счетчики, используемые для измерения объемного расхода и объема газообразных сред, включая природный газ, нефтяной газ, воздух, кислород, пар. Они преобразуют эти данные в унифицированный выходной сигнал постоянного тока, цифровой сигнал Modbus RTU или HART-протокола. Эти приборы подходят для использования в различных отраслях промышленности и легко интегрируются в существующую инфраструктуру благодаря соответствию стандартам на присоединительную геометрию и выходные сигналы, а также наличию 3D-файлов для проектирования новых технологических объектов.

Основные характеристики:

- типоразмерный ряд — Ду 25...Ду 300;
- температура среды — – 50...+ 350 °С;
- давление среды - 2,5...20 МПа;
- относительная погрешность: газ — ± 0,9 %; ± 1,0 %; ± 1,5 %;
- предел измерений: газ, пар — 4,5...847800 м<sup>3</sup>/ч;
- выходные сигналы – импульсный, частотный, токовый (4...20 мА);

ЭМИС-ВИХРЬ 200 — это вихревые расходомеры, которые могут использоваться для измерения расхода жидкостей, пара и газов. Однако эффективность этих приборов наиболее высока при измерении расхода пара или газа, содержащего высокое количество жидкости или твердых механических включений, когда установка фильтра экономически не выгодна. Кроме того, данный тип расходомеров гарантирует максимальную надежность и безопасность при измерении расхода агрессивных сред или жидкостей с высокой температурой. Основные характеристики:

- типоразмерный ряд — Ду 15...Ду 300;
- температура среды —  $-60...+450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- давление среды —  $0...30\text{ МПа}$ ;
- относительная погрешность: газ —  $\pm 0,7\text{ }\%$ ;
- предел измерений: газ, пар —  $4,5...18600\text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- выходные сигналы – импульсный, частотный, токовый ( $4...20\text{ мА}$ ) [34].

Prowirl F — многопараметрический расходомер со встроенной функцией определения влажного пара. Благодаря уникальной 2-проводной технологии датчик Prowirl F 200 обеспечивает простую интеграцию в существующие инфраструктуры. Расходомер обеспечивает высокую безопасность работы во взрывоопасных зонах. Также технология Heartbeat Technology обеспечивает постоянную безопасность процесса.

Основные характеристики:

- типоразмерный ряд — Ду 15...Ду 300;
- температура среды —  $-40...+260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- давление среды —  $0...1\text{ МПа}$ ;
- относительная погрешность: газ —  $\pm 1\text{ }\%$ ;
- предел измерений: газ, пар —  $0,076...2100\text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- выходные сигналы – импульсный, частотный, токовый ( $4...20\text{ мА}$ ).

Вихревой расходомер «Ирга-РВ» предназначен для измерения расхода газов, насыщенного и перегретого пара, а также жидкостей (включая агрессивные и криогенные среды). Он может использоваться как автономно, так и в комбинации с другими счетчиками и измерительными комплексами. Когда используется вместе с вычислителями «Ирга-2» и тепловычислителем СПТ963, расходомер позволяет измерять объем и расход носителя в рабочих условиях, а также расход и количество газа, приведенных к стандартным условиям (760 мм рт. ст. и 20 °С), а также расход и количество жидкости и другие параметры носителя.

После изучения информации о технических характеристиках преобразователей расхода для измерения расхода воздуха, делаем вывод о том, что расходомер фирмы ЭМИС-Вихрь 200 предпочтительнее, чем другие. Так как данный расходомер обладает самым большим температурным диапазоном измерения, а также лучше по классу точности [34].

### **3.3.2 Выбор измерительных преобразователей давления**

Для измерения давления воздуха и топлива используются преобразователи избыточного давления. Проанализируем два преобразователя давления: Элемер САПФИР – 22 ДИ, Метран – 150.

Преобразователи давления Элемер САПФИР – 22 ДИ используют измерительную мембрану из нержавеющей стали для обеспечения точного измерения давления с высокой точностью (от  $\pm 0,5$  % верхнего предела измерения) и устойчивостью к гидроударам. Эти датчики также обладают низким выходным шумом, который не превышает  $\pm 16$  мкА.

Основные технические характеристики САПФИР – 22 ДИ:

- верхний предел измеряемого давления (ВПИ) – от 0,04 кПа до 100 МПа;
- перегрузочная способность не менее – 200 % ВПИ;

- преобразование давления в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА;
- степень защиты корпуса и разъема преобразователя – IP65 [35].

Датчики давления серии Метран - 150 предназначены для преобразования давления в непрерывный токовый или цифровой сигнал. Метран 150 ТА часто используется в нефтегазовой и химической промышленности, в системах водоснабжения и отопления, а также в автомобильной отрасли.

Основные технические характеристики Метран – 150 ТА:

- выходной сигнал – 4...20 мА или HART 0...5 мА;
- максимальное давление – 25 МПа;
- давление перегрузки – 40 МПа;
- температура окружающей среды – от -30 до 85 °С;
- температура измеряемой среды – от -40 до 85 °С.

Оба преобразователя давления удовлетворяют техническим требованиям по своим характеристикам. Исходя из этого выбираем датчик САПФИР - 22 ДИ, так как он больше подходит под диапазон измерений. Для измерения давления воздуха используем модель 1150, так как необходимо измерять давление до 1 МПа, а для определения давления топлива выберем модель 1160, так как нужно измерять давление до 8 МПа [35].

### **3.3.3 Выбор контроллера**

В настоящее время выбор контроллера для системы управления определяется несколькими факторами, зависящими в основном от того, проектируется ли система как новая или модернизируется существующая.

Вследствие этого важны такие факторы, как преемственность аппаратного и программного обеспечения, обслуживание и ремонтпригодность контроллера, а также совместимость с другими

устройствами. Одной из главных задач при выборе контроллера является полное соответствие техническим требованиям к разработке автоматизированной системы.

В настоящей работе проведен анализ 3 контроллеров от разных производителей, таких как: «ОВЕН ПЛК 160»; «ПЛК ЭЛСИ-ТМК»; «ТРК Benza BS – 01».

Сначала рассмотрим контроллер «ОВЕН». В таблице 5 приведены технические характеристики ОВЕН ПЛК 160.

Таблица 5 – Технические характеристики ОВЕН ПЛК 160 – [М02]

|                                            |                                                                                                                           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Объем памяти ввода-вывода                  | 600 байт                                                                                                                  |
| Напряжение питания                         | постоянного тока от 22 до 28 В (номинальное 24 В)<br>переменного тока (47...63 Гц) от 90 до 264 В (номинальное 120/230 В) |
| Интерфейсы                                 | RS - 485, DEBUG RS - 232 (RJ-11), SMS, CSD, GPRSEthernet 100 Base-T, USB-Device                                           |
| Протоколы                                  | ОВЕН, Modbus RTU/ASCII, GateWay (протокол CODESYS)                                                                        |
| Количество универсальных аналоговых входов | термосопротивления, термопары, сигналы тока, напряжения, сопротивления                                                    |
| Количество дискретных входов               | 12                                                                                                                        |
| Количество выходных элементов              | 16                                                                                                                        |
| Длительность пер. процесса                 | 3 мс – при напряжении 90 В<br>2 мс – при напряжении 230 В                                                                 |

ОВЕН ПЛК 160 – [М02] – программируемый моноблочный контроллер, который обладает дискретными и аналоговыми входами/выходами. Как правило, контроллер ОВЕН ПЛК 160 используется для автоматизации средних систем, а также для распределенных систем управления (PCY).

Основные характеристики ОВЕН ПЛК 160 – [М02]

– наличие встроенных дискретных и аналоговых входов/выходов;

- программирование в системе CODESYS V.2 через порты USB Device, Ethernet, RS-232 Debug;
- передача данных на верхний уровень через Ethernet;
- 3 последовательных порта (RS-232, RS-485);
- с помощью дополнительного модуля можно увеличить количество входов-выходов;
- управление частотными преобразователями;
- подключение панелей операторов, GSM-модемов и т.д.

ЭЛСИ – ТМК – программируемый модульный контроллер для построения малых и средних систем автоматизации во всех секторах промышленного производства. Этот контроллер предоставляет большие возможности для решения различных задач благодаря современному функционалу, надежному форм-фактору, стандартным коммуникациям и открытой программной среде. Многообразие коммуникационных возможностей, поддержка сигналов ввода с низким качеством и встроенная функция гарантированной доставки данных делают ЭЛСИ – ТМК наиболее эффективным решением для построения систем телемеханики.

Наиболее удобному применению ЭЛСИ – ТМК способствует наличие в его ассортименте модулей центрального процессора с различной производительностью, широкой гаммы модулей дискретного и аналогового ввода/вывода, коммуникационных модулей и источников питания для подключения к сетям постоянного и переменного тока. Технические характеристики контроллера в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики контроллера ЭЛСИ – ТМК [37]

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| Напряжение питания           | 24 ± 4 В, 50 Гц |
| Потребляемая мощность        | не более 40 Вт  |
| Диапазон контроля температур | -25...+60 °С    |
| Аналоговых входов/выходов    | 24/24 шт.       |



Контроллер Benza BS – 01 предназначен для подключения малых и средних систем автоматизации. Он может подключаться ко всем существующим на рынке ТРК и обладает следующими функциональными возможностями:

- подключение к топливораздаточным колонкам 12 В, 24 В, 220 В, 380 В;
- отправка отчетов о количестве выдаваемого топлива в программу 1С;
- светодиодный индикатор количества выданного топлива на 5 цифр;
- температурный режим эксплуатации -40 до +50 °С.

Выбираем модульный контроллер Элси ТМК, так как он подходит по числу дискретных и аналоговых входов и выходов, имеет нужные интерфейсы, такие как RS-485, RS-232. При этом контроллер Элси ТМК дает возможность расширения системы управления для будущего регулирования других параметров, таких как температура [37].

### 3.3.4 Выбор трехходового регулирующего клапана

В случае обнаружения протечки в топливном или воздушном канале или остановки технологического процесса в системе топливоподачи котла предусматриваются трехходовые клапаны. Для системы выберем трехходовые клапаны для того, чтобы, воздух перевести в случае чего, в атмосферу, а топливо отправить обратно в резервуар. Выберем трехходовой регулирующий клапан Гранрег КМ317Ф. В таблице 7 представлены технические характеристики выбранной задвижки с электроприводом [38].

Таблица 7 – Технические характеристики клапана Гранрег КМ317Ф [38]

| Характеристика    | Величина      |
|-------------------|---------------|
| Условный диаметр  | 15-300 мм     |
| Тип управления    | электропривод |
| Условное давление | 16 бар        |

Продолжение таблицы 7

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Температура среды | -29°С до +230 °С        |
| Kvs клапана       | 4-930 м <sup>3</sup> /ч |

### 3.3.5 Выбор электропривода для трехходового клапана

Вместе с трехходовым клапаном в качестве электропривода выберем линейный электропривод PSL. Электроприводы типа PSL предназначены для установки на регулирующие клапаны типа «Гранрег» КМ. Применяются в системах тепло- и водоснабжения, охлаждения, вентиляции, в промышленных технологических системах. Для того, чтобы верно определить характеристики электропривода, необходимо выполнить расчет максимального крутящего момента и сравнить его с номинальным.

Диаметр трубопровода, по которому течет топливо, составляет 50 мм. Максимальное значение крутящего момента рассчитывается по формуле:

$$M_{max}^{кр} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 50 - 338 = 6,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Необходимо выполнение следующего условия:

$$M_n > M_{max}^{кр}.$$

Исходя из полученного значения максимального крутящего момента и выполнения необходимого условия, выбираем электропривод типа PSL 230/50 AC-A109.47M2.8510, технические характеристики которого приведены в таблице 8 [38].

Таблица 8 – Технические характеристики PSL 230/50 AC-A109.47M2.8510

| Характеристика                                   | Величина   |
|--------------------------------------------------|------------|
| Номинальный крутящий момент, Н·м                 | 25         |
| Номинальное время полного хода выходного вала, с | 60         |
| Температура окружающей среды, °С                 | -40 до +80 |
| Потребляемая мощность, Вт                        | 60         |

### 3.3.6 Выбор насоса

Таблица 9 – Выбор центробежного насоса

| Наименование            | Напор,<br>м | Масса, кг | Максимальный<br>расход, м <sup>3</sup> /ч | Мощность, кВт | Цена,<br>Руб. |
|-------------------------|-------------|-----------|-------------------------------------------|---------------|---------------|
| СЦЛ-01А(М)              | 35          | 59        | 10,5                                      | 7,5           | 48 500        |
| КСВ-А 200-<br>ССМ/1/4/С | 55          | 86        | 14                                        | 5,5           | 88 740        |
| АМ50-125АЕ              | 19,5        | 31        | 6                                         | 1,5           | 46 600        |

В таблице 9 представлены технические характеристики трех моделей насосов. Анализируя полученные данные, выбираем насос КСВ-А 200-ССМ/1/4/С, так как у него есть преимущества. Из представленных моделей у него самый большой напор (55 м). Также он имеет преимущество, заключающееся в работе с вязкими жидкостями [39].

### 3.3.7 Выбор промышленного компрессора

Таблица 10 – Технические характеристики винтовых компрессоров.

| Наименование   | Тип      | Раб.<br>давление,<br>бар | Масса | Производительность,<br>л/мин | Привод,<br>кВт |
|----------------|----------|--------------------------|-------|------------------------------|----------------|
| ДЭН-30Ш «Плюс» | Винтовой | 8 бар                    | 820   | 5700                         | 30             |
| АК-5/8         | Винтовой | 8 бар                    | 450   | 5000                         | 30             |
| АСО-ВК22/8 ESQ | Винтовой | 8 бар                    | 620   | 1750                         | 22             |

Так как для функционирования системы нужна бесперебойная подача воздуха, то тип компрессора выбираем винтовой. В отличие от поршневого компрессора, в котором фаза сжатия периодически чередуется с фазой впуска, сжатие воздуха в винтовом компрессоре происходит непрерывно. В таблице 9 приведены характеристики винтовых компрессоров. Выбираем воздушный

компрессор ДЭН-30Ш «Плюс», так как у этого компрессора производительность выше, чем у других. Недостатком является масса компрессора, так как масса больше, чем у двух других [40].

### 3.3.8 Выбор частотного преобразователя

Частотный асинхронный преобразователь частоты служит для преобразования сетевого трёхфазного или однофазного переменного тока частотой 50 (60) Гц в трёхфазный или однофазный ток, частотой от 1 Гц до 800 Гц [41].

При анализе частотных преобразователей частоты был выбран Веспер общепромышленная серия E4 – 8400. Преобразователи частоты серии E4-8400 подходят для большинства общепромышленных приводов. В таблице 11 приведены технические характеристики преобразователя.

Основные достоинства Веспер E4 – 8400:

- снижение вероятности проникновения посторонних предметов благодаря наружному расположению радиатора охлаждения в преобразователях 0,2...5,5 кВт;
- имеет пульт управления (возможность выноса до 1 — 3 м);
- имеет ШИМ для снижения шума двигателя;
- обладает журналом аварийных сообщений;
- сетевые протоколы связи Modbus RTU/ASCII.

Таблица 11 – Технические характеристики частотного преобразователя Веспер [41]

|                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| Тип сети                     | Трёхфазная       |
| Входное напряжение           | 380-480 В        |
| Температура окружающей среды | -10°C до + 50 °C |
| Масса, кг                    | Не более 2,3     |
| Пусковой момент              | 3 %              |

Для компрессора выбираем частотный преобразователь E4-8400-040H, так как мощность двигателя компрессора составляет 30 кВт. Для насоса выбираем частотный преобразователь E4-8400-010H, так как мощность двигателя насоса составляет 7,5 кВт.

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.010. СО1.

### 3.4 Разработка монтажной схемы

Схема соединений внешних проводок — это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам.

Выбор проводов и кабелей, а также выбор способа выполнения электропроводки производят в соответствии с указаниями руководящего материала РМ4-6-84 «Проектирование электрических и трубных проводок систем автоматизации. Часть I. Электрические проводки» [42].

Кабели выбираются по количеству жил и размеру сечения. В схеме соединений внешних проводок использовались три вида кабеля.

Кабель КВВГ – контрольный кабель, с медной жилой, изоляцией ПВХ, оболочкой из ПВХ. Кабель предназначен для создания соединений с электроприборами и устройствами различного типа. Рассчитан на максимальное переменное напряжение до 660 В, постоянное напряжение до 1000 В и частоту в 50 Гц.

Кабель КВВГЭ – контрольный экранированный кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ. Предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств с номинальным переменным напряжением до 660 В или постоянным напряжением до 1000 В.

Для щита силового управления выберем кабеля ВВГнг-FRLS. Это силовой огнестойкий кабель. Используется для передачи и распределения электрического тока от источника к стационарным промышленным установкам. Подходит для систем пожаротушения и безопасности. Широко применяется в местах массового скопления людей. В случае возгорания не выделяет дыма и газа. Помогает повысить уровень безопасности и минимизировать потери после аварии.

На монтажной схеме для каждого кабеля прописано число жил, сечение кабеля и длина. Также около некоторых кабелей указано число задействованных жил. В таблице 12 приведена маркировка кабелей.

Таблица 12 – Маркировка кабелей

| Номер измерительного канала | Наименование кабеля |
|-----------------------------|---------------------|
| 1-5,11,12,15,16,20          | КВВГ                |
| 6-8,13,14,17                | КВВГЭ               |
| 0,9,10,18,19,21             | ВВГнг-FRLS          |

Клеммные коробки предназначены для соединения и разветвления кабелей. Они выбираются по числу вводимых в коробку проводов.

Для датчиков давления и расхода выберем соединительную клеммную коробку КЗНС-20 УХЛ-1,5 с 20 клеммами с сечением жил до 4 мм<sup>2</sup>. Для двух трехходовых клапанов с электроприводом PSL выбираем соединительную клеммную коробку КС-10-У3 с 10 клеммами, с сечением жил до 4 мм<sup>2</sup>. Для частотных преобразователей насоса и компрессора соединительную клеммную коробку КС-5-УХЛ1,5 (IP65) с 5 клеммами, с сечением жил до 4 мм<sup>2</sup>. Для питания драйвера сервопривода выбираем блок питания БП60Б-Д4-24.

В верхней части схемы приведена таблица с наименованием параметров, местами отбора импульсов и позициями датчиков, электроприводы трехходовых клапанов, частотные преобразователи, а также драйвер для сервопривода.

Под каждой позицией располагаются изображения датчиков давления и датчика расхода. Исходя из руководства по эксплуатации, выбираем четырехпроводную схему подключения. В окружности на кабеле приводится маркировка измерительного канала. Кабели № 1-4 сводятся в клеммную коробку через 4 сальника MG25, из коробки выходит кабель № 5 через сальник MG32 на щит автоматизации.

Правее датчиков на схеме расположены два электропривода PSL для трехходовых клапанов. Питание электродвигателей осуществляется кабелями №9,10 от щита силового управления. Кабели №6,7 сводятся в соединительную коробку через 2 сальника MG20 и из коробки выходит кабель №8 через сальник MG25 в щит автоматизации.

Правее электроприводов PSL изображен компрессор “ДЭН-30Ш+” с частотным преобразователем. Кабелем №16 соединяется электропривод с частотным преобразователем. Питание частотного преобразователя осуществляется с помощью кабеля 18. Кабель №13 сводится в соединительную коробку через сальники M25 и из коробки через сальник M32 выходит кабель №17 в щит автоматизации. В правее компрессора расположен насос с электроприводом KCB-A-200-CCM/1/4/C, который подключается с помощью кабеля 15 в частотный преобразователь. Питание частотного преобразователя осуществляется с помощью кабеля 19. Кабель №14 сводится в соединительную коробку через сальники M25 и из коробки выходит кабель №17 через сальник M32 в щит автоматизации.

В левом верхнем углу схемы расположен драйвер для сервопривода. Сервопривод “Кинко” с драйвером FD114S расположен в правом верхнем углу. Кабелем №11 сервопривод соединяется с драйвером. С помощью отдельного блока питания осуществляется питание драйвера кабелем №12. Питание блока осуществляется кабелем 21. Также драйвер подключается кабелем 20 с интерфейсом RS-232 к контроллеру.

В нижней части схемы изображен щит автоматизации. Он соединяется с кабелем №0 с щитом силового управления, который расположен справа нижней части над рамкой.

Разработанная схема соединений внешних проводок автоматизированной системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 С5.



### 3.5 Разработка схемы электрической соединений

На электрической схеме соединений определяются схема и параметры электрических подключений компонентов системы или устройства. Электрическая схема может включать в себя источники питания, электрические моторы, трансформаторы, реле, выключатели, датчики, световые индикаторы и другие устройства, присутствующие в системе. Схема является важным инструментом для проектирования, установки, настройки и обслуживания электроприборов и электронных систем. [43].

В данном разделе была разработана схема электрическая соединений щита автоматизации, которая приведена в документе с шифром ФЮРА.421000.010 Э4.

Электропитание осуществляется от распределительного силового щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц. Питание устройств внутри щита осуществляется с помощью блока питания 24 В. Также предусмотрен источник бесперебойного питания для непрерывного питания оборудования в случае отключения основного питания.

На входе цепи питания 220 В предусмотрена защита от перенапряжения PLT-SEC-T3-230-FM-UT (Z01). Для резервирования питания и преобразования напряжения сети переменного тока 220 В в постоянное напряжение 24 В используется импульсный источник питания типа EF UPS 1AC/24DC-4 (G1). Также для источника питания выберем источник бесперебойного питания ИБП-EF A UPS1AC/24DC – 4 с блоком аккумуляторной батареи АБ – 24М (GB1). Данное устройство (G2) с помощью аккумулятора, в случае неисправности источника питания, обеспечивает жизнеспособность щита на некоторое время. Для распределения нагрузки ИБП и блока питания выбираем диодный модуль EF R 24DC/24DC 20C. В щите предусмотрено внутреннее рабочее освещение (лампа EL1) для обслуживания и ремонта. Концевой выключатель SQ1 предназначен для автоматического включения лампы при открытии и выключения при закрытии дверцы ШУ. Для удобства

обслуживания оборудования в щите автоматизации предусмотрена розетка (XS0). Температура воздуха внутри щита контролируется термореле типа Rittal 3238.124, уставка которого равна 30 °С. В щите также установлен вентилятор M1, который включается при срабатывании термореле и отводит тепло от ТСА.

На втором листе в нижнем правом углу электрической схемы соединений представлена таблица расположения модулей на панели контроллера Элси ТМК. Контроллер Элси ТМК состоит из трех модулей (модуль источника питания TP 712 024 DC, модуль центрального процессора TC 712A8 – 1005 ETH, 1 модуль ввода/вывода аналоговых сигналов TA 713 8I 8 DCO).

На втором листе электрической схемы изображено 3 модуля контроллера A1, A2, A3. Модуль питания (A1) питается от блока зажимов XT01. Сервопривод подключается к интерфейсу RS-232 через процессорный модуль контроллера (A2), дополнительно процессорный модуль подключается АРМ оператора. В нижнем левом углу схемы изображен модуль аналоговых вводов/выводов (A3). Для ввода и вывода аналоговых сигналов в щите предусмотрены разделительные преобразователи ET-422, которые обеспечивают гальваническую развязку цепей контроллера и полевых цепей, сигнал с которых поступает на соответствующие блоки контроллера. Также во втором листе отражены аналоговые входные сигналы, которые идут на измерение.

На третьем листе электрической схемы соединений изображено продолжение модуля ввода/вывода аналоговых сигналов. В левой части схемы продемонстрировано подключение аналоговых выходов с разделительными преобразователями ET422. В правой части показаны блоки зажимов XT3-XT5. Эти сигналы идут на управление трехходовыми клапанами и на регулирования частотных преобразователей.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Перечень элементов представлен в документе с шифром ФЮРА.421000.010 ПЭ4.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Перечень элементов оформляют в виде таблицы по ГОСТ 2.701. Если перечень элементов помещают на первом листе схемы, то его располагают, как правило, над основной надписью. Для электронных документов перечень элементов оформляют отдельным документом [44].

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров. Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп — и между элементами [44].

### 3.6 Разработка общего вида щита автоматизации

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линий связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной малогабаритный (ЩШМ).

Для размещения средств автоматизации используем щит с задней дверью одиночный, высотой 1200 мм, шириной 800 мм и глубиной 300 мм – ЩШМ 1200x800x300.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей.

В верхней части щита располагается коммутационная панель, на которой закреплены модули контроллера А1 – А3. Правее панели находится блок питания, диодный модуль и источник бесперебойного питания.

В средней части щита расположены розетка XS0, автоматический выключатель, защита от перенапряжений, термореле, а также блоки зажимов. Правее розетки XS0 расположен аккумулятор, который соединяется с ИБП. Ниже аккумулятора расположены шесть преобразователей аналоговых сигналов.

В нижней части щита расположены блоки зажимов XT2 – XT5.

Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.010 ВО.

## 4 Расчет параметров настройки регулятора

### 4.1 Идентификация объекта управления

Идентификация – это поиск идентичной объекту в каждый момент времени его работы математической модели. В настоящее время существует два способа проведения идентификации: аналитический и экспериментальный. В первом случае передаточная функция определяется по конструктивным характеристикам объекта. Во втором случае на объекте проводят разного рода испытания для определения кривой разгона, с помощью которой в дальнейшем находят передаточную функцию. Поскольку у нас присутствует объект автоматизации, то мы смогли построить кривую разгона, следовательно, смогли провести испытания для экспериментального способа идентификации.

В данной работе в качестве кривой разгона для объекта управления был использован тренд изменения (стабилизации) размеров капель после разбития струи при подаче воздуха на форсунку. На рисунке 14 представлена кривая разгона по данному параметру.

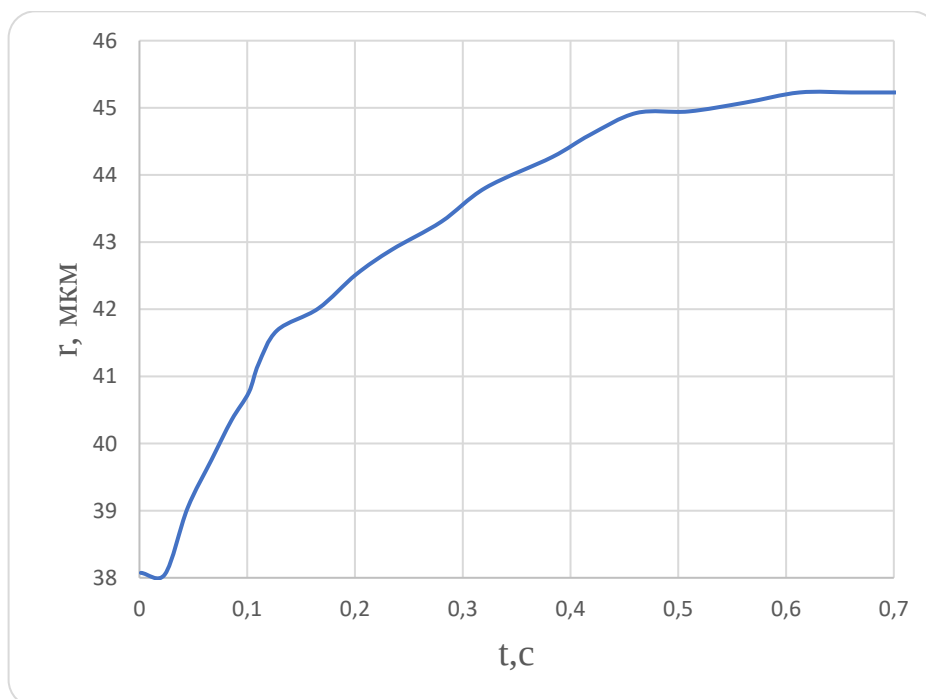


Рисунок 14 – Кривая разгона

Определим параметры передаточной функций объекта с помощью интерполяционного метода. Этот метод основан на методике Ормана и предложенной Мининой и Кругом. На рисунке 15 проиллюстрирована методика определения точек на кривой разгона. С помощью этого метода находим  $y_1$  и  $y_2$ , а также пересечение по координате абсцисс  $t_1$  и  $t_2$ :

$$y_1 = 0,33 \cdot (\Delta Y - r(0)) + r(0);$$

$$y_2 = 0,7 \cdot (\Delta Y - r(0)) + r(0), \text{ где } r(0) = 38 \text{ мкм.}$$

Значения времени запаздывания и постоянной времени рассчитываются по следующим формулам:

$$\tau = 0,5 \cdot (3 \cdot t_1 - t_2);$$

$$T = \frac{t_2 - \tau}{1,2} \cong 1,25 \cdot (t_2 - t_1).$$

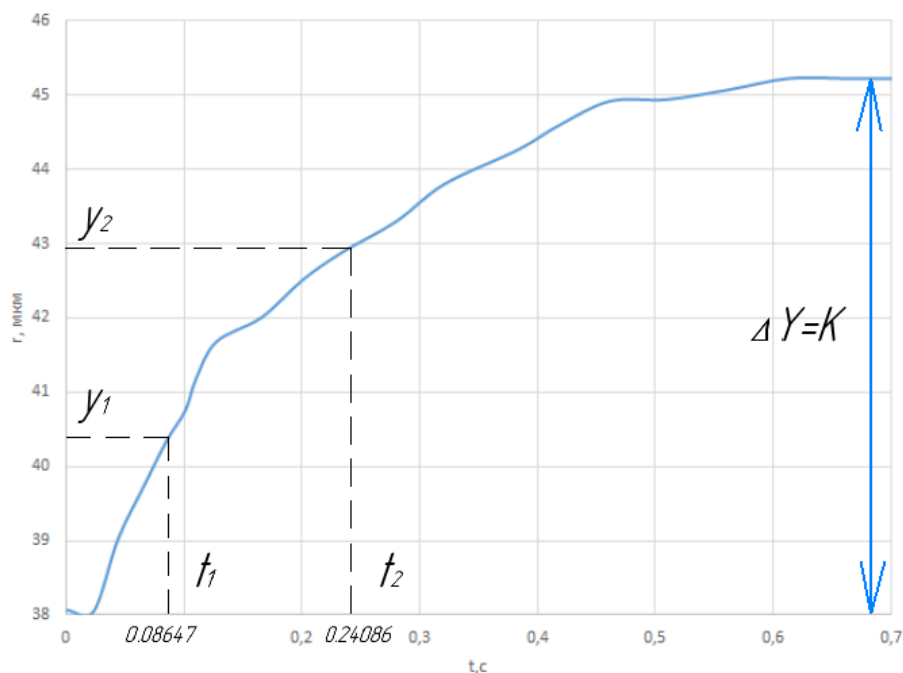


Рисунок 15 – Определение точек на кривой разгона, для расчета параметров настроек регулятора

По рисунку 15 определяем точки:

$$t_1 = 0,08647 \text{ с}; t_2 = 0,24086 \text{ с}.$$

Определяем параметры передаточной функции:

$$\tau = 0,5 \cdot (3 \cdot t_1 - t_2) = 0,5 \cdot (3 \cdot 0,08647 - 0,24086) = 0,01 \text{ с};$$

$$T = \frac{t_2 - \tau}{1,2} \cong 1,25 \cdot (t_2 - t_1) = 1,25 \cdot (0,24086 - 0,08647) = 0,193.$$

Передаточной функцией объекта является аperiодическое звено первого порядка с запаздыванием:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{T_{об}P + 1} e^{-P\tau} = \frac{45,05}{0,193P + 1} e^{-0,01P},$$

где  $K$  – коэффициент передачи,  $P$  – оператор Лапласа,  $T_1$  – постоянная времени,  $\tau$  – время запаздывания.

## 4.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 16 представлена структурная схема регулирования, состоящий из объекта и регулятора. Для определения параметров настройки регулятора применялся корневой метод с применением расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ).

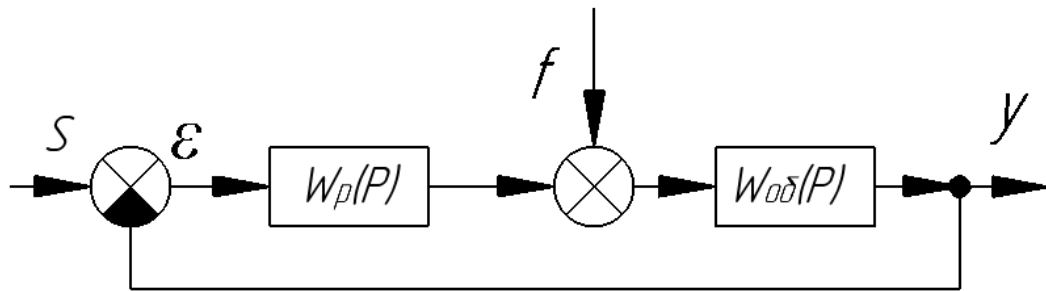


Рисунок 16 – Структурная схема системы регулирования

В качестве одного из требований к устойчивости системы к переходному процессу была выбрана степень затухания  $\psi$ , а также первый интегральный критерий  $I_1$ . Расчеты системы производились для степени затухания равной  $\psi = 0,95$ .

Определим степень колебательности через аналитическую связь между оценками запаса устойчивости:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - 0,95) = 0,477;$$

$$M = \frac{m^2 + 1}{2 \cdot m} = \frac{0,477^2 + 1}{2 \cdot 0,477} = 1,29.$$

Для определения расширенных частотных характеристик звена необходимо провести замену оператора Лапласа в передаточной функции звена. Существует два вида замены  $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$  или  $p = -\eta + i \cdot \omega$ , где  $\omega$  – частота,  $\text{с}^{-1}$ ,  $m$  – степень колебательности системы,  $\eta$  – степень устойчивости системы. Первый вид замены используется для построения границы заданной степени колебательности системы, второй – для построения границы степени устойчивости системы в плоскости параметров настройки регулятора [42]. В работе воспользуемся первым видом замены.

Передаточная функция объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{45,05}{0,193P + 1} e^{-0,01P}.$$

$$W_{об}(m, i\omega) = \frac{45,05 \cdot e^{-0,01(-m\omega + i\omega)}}{0,193 \cdot (-m\omega + i\omega) + 1}$$

Для построения РАФЧХ объекта регулирования необходимо определить расширенную вещественную частотную характеристику (РВЧХ) и расширенную мнимую частотную характеристику (РМЧХ). Для этого воспользуемся программой Mathcad задав начальное значение частоты  $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ , шаг по частоте  $\Delta\omega = 1 \text{ с}^{-1}$  и конечное значение частоты  $\omega = 130 \text{ с}^{-1}$ . Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 13. Полученные значения представлены для диапазона частот от 0 до  $130 \text{ с}^{-1}$ , с шагом по частоте в  $5 \text{ с}^{-1}$ .

На рисунке 17 представлен график РАФЧХ объекта. После получения значений РАФЧХ необходимо найти параметры настройки регулятора  $K_p, \frac{K_p}{T_i}$ .

Формулы параметров приведены в следующем виде:

$$K_p = - \frac{m \cdot Im_{об}(m, \omega) + Re_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)};$$

$$\frac{K_p}{T_i} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}.$$



Таблица 13 – Расширенные частотные характеристики объекта и параметры настройки регулятора

| $\omega, c^{-1}$ | $Re_{об}(m, \omega)$ | $Im_{об}(m, \omega)$ | $A_{об}(m, \omega)$ | $\kappa_p$ | $\kappa_p/T_u$ |
|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------|----------------|
| 0                | 45,05                | 0                    | 45,05               | 0          | -0,022         |
| 5                | 18,622               | -37,265              | 41,659              | 0,132      | -0,00049       |
| 10               | -1,264               | -24,347              | 24,38               | 0,503      | 0,022          |
| 15               | -4,404               | -15,891              | 16,49               | 1,076      | 0,044          |
| 20               | -4,859               | -11,475              | 12,461              | 1,814      | 0,067          |
| 25               | -4,793               | -8,858               | 10,072              | 2,68       | 0,089          |
| 30               | -4,62                | -7,139               | 8,503               | 3,636      | 0,111          |
| 35               | -4,438               | -5,92                | 7,399               | 4,646      | 0,133          |
| 40               | -4,273               | -5,007               | 6,582               | 5,674      | 0,154          |
| 45               | -4,127               | -4,293               | 5,955               | 6,687      | 0,174          |
| 50               | -4                   | -3,715               | 5,46                | 7,65       | 0,194          |
| 55               | -3,89                | -3,235               | 5,059               | 8,533      | 0,212          |
| 60               | -3,792               | -2,825               | 4,729               | 9,306      | 0,23           |
| 65               | -3,705               | -2,47                | 4,453               | 9,942      | 0,246          |
| 70               | -3,626               | -2,157               | 4,219               | 10,414     | 0,261          |
| 75               | -3,554               | -1,877               | 4,019               | 10,699     | 0,275          |
| 80               | -3,487               | -1,624               | 3,847               | 10,776     | 0,288          |
| 85               | -3,425               | -1,392               | 3,697               | 10,627     | 0,299          |
| 90               | -3,365               | -1,178               | 3,565               | 10,236     | 0,309          |
| 95               | -3,308               | -0,978               | 3,45                | 9,588      | 0,317          |
| 100              | -3,252               | -0,792               | 3,347               | 8,673      | 0,324          |
| 105              | -3,198               | -0,616               | 3,257               | 7,482      | 0,329          |
| 110              | -3,144               | -0,449               | 3,176               | 6,008      | 0,333          |
| 115              | -3,09                | -0,29                | 3,103               | 4,249      | 0,335          |
| 120              | -3,036               | -0,138               | 3,039               | 2,204      | 0,336          |
| 125              | -2,981               | 7,38E-03             | 2,981               | -0,127     | 0,335          |
| 130              | -2,925               | 0,147                | 2,929               | -2,74      | 0,333          |

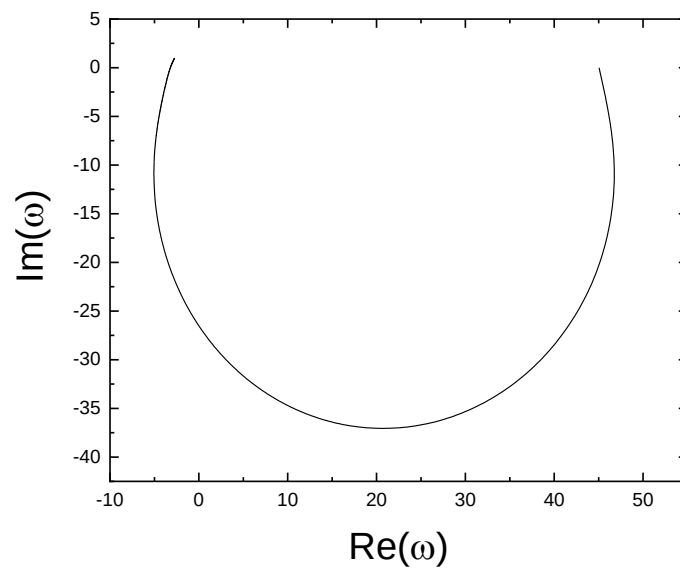


Рисунок 17 – РАФЧХ объекта

На рисунке 18 приведен график границы запаса устойчивости, при анализе которой подбираются оптимальные параметры настройки регулятора. Поскольку для проверки была взята первая интегральная оценка, то необходимо взять максимальное значение, изображенное на рисунке 19.

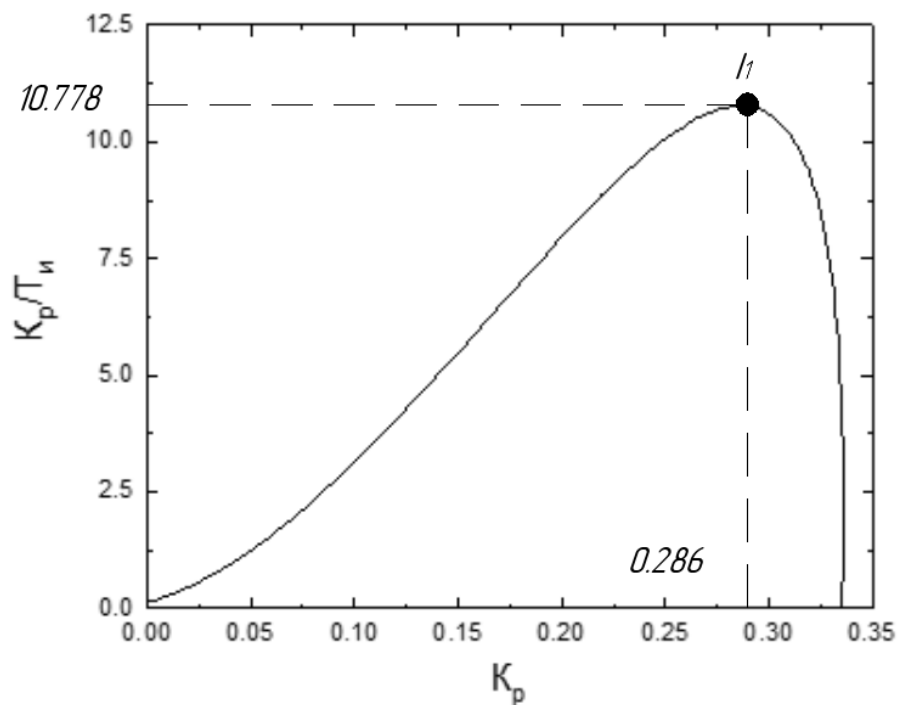


Рисунок 18 – Граница заданного запаса устойчивости

Точка, отмеченная на рисунке 18, как  $I_1$  соответствует параметрам настройки регулятора, удовлетворяющим первой интегральной оценке качества. Таким образом, оптимальные параметры настройки регулятора:

$$k_p = 0,286; \frac{k_p}{T_i} = 10,778; T_i = 0,0265; \omega_{рез} = 79.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i P}\right) = 0,286 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,0265P}\right).$$

### 4.3 Расчет переходного процесса

Для расчета переходного процесса при наличии запаздывания в канале регулирования объекта чаще всего применяются частотные методы. Можно выделить два основных:

- метод трапеций, с использованием которого строятся переходные процессы в замкнутой системе с использованием таблиц  $h$ -функций. С использованием данного метода расчет может выполняться вручную без применения ЭВМ;
- метод, основанный на применении так называемой формулы интегрального синуса, устанавливающей связь между вещественной частотной характеристикой системы и её переходным процессом в виде интеграла, который определяется численными методами на компьютере с применением современных вычислительных пакетов типа MATCAD или MATLAB [43].

Для расчета переходного процесса берется интеграл, который содержит интегральный синус:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

Для получения вещественной частотной характеристики системы необходимо получить эквивалентную передаточную функцию системы по

каналу задания ( $s-y$ ). Для этого необходимо знать передаточные функции объекта и регулятора. Зная передаточные функции объекта и регулятора, определим эквивалентную передаточную функцию системы регулирования по каналу задания ( $W_{s-y}$ ):

$$W_{s-y} = \frac{Y(P)}{S(P)};$$

$$\varepsilon(P) = S(P) - Y(P) \cdot W_{\text{ип}};$$

$$\varepsilon(P) \cdot W_p \cdot W_{\text{об}} = Y(P);$$

$$(S(P) - Y(P)) \cdot W_p \cdot W_{\text{об}} = Y(P);$$

$$S(P) \cdot W_p \cdot W_{\text{об}} = Y(P) \cdot (1 + W_p \cdot W_{\text{об}});$$

$$\frac{Y(P)}{S(P)} = \frac{W_p \cdot W_{\text{об}}}{1 + W_p \cdot W_{\text{об}}};$$

$$W_{s-y} = \frac{W_p \cdot W_{\text{об}}}{1 + W_p \cdot W_{\text{об}}} = \frac{0,286 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,0265P}\right) \cdot \frac{45,05}{0,193P + 1} e^{-0,01P}}{1 + 0,286 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,0265P}\right) \cdot \frac{45,05}{0,193P + 1} e^{-0,01P}},$$

где  $W_p(P)$  – передаточная функция регулятора,  $W_{\text{об}}(P)$  – передаточная функция объекта регулирования.

Для расчета ВЧХ системы необходимо провести замену оператора Лапласа  $p = i\omega$ :

$$W_{\text{сис}}(i\omega)_{s-y} = \frac{0,286 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,0265i\omega}\right) \cdot \frac{45,05}{0,193i\omega + 1} e^{-0,01i\omega}}{1 + 0,286 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,0265i\omega}\right) \cdot \frac{45,05}{0,193i\omega + 1} e^{-0,01i\omega}}.$$

Для расчета воспользуемся программой Mathcad, задав начальное значение частоты  $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ , шаг по частоте  $\Delta\omega = 0,001 \text{ с}^{-1}$  и конечное значение частоты  $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$ . Значения  $Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}$  указаны в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет вещественной частотной характеристики (ВЧХ) системы по каналу задания

| $\omega$ | $Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}$ |
|----------|---------------------------------|
| 0        | 1                               |
| 5        | 1.009                           |
| 10       | 1.035                           |
| 15       | 1.077                           |
| 20       | 1.132                           |
| 25       | 1.196                           |
| 30       | 1.265                           |
| 35       | 1.332                           |
| 40       | 1.389                           |
| 45       | 1.424                           |
| 50       | 1.426                           |
| 55       | 1.379                           |
| 60       | 1.267                           |
| 65       | 1.078                           |
| 70       | 0.809                           |
| 75       | 0.473                           |
| 80       | 0.101                           |
| 85       | -0.268                          |
| 90       | -0.594                          |
| 100      | -0.851                          |
| 105      | -1.033                          |
| 110      | -1.144                          |

Резонансная частота:

$$\omega_{\text{рез}} = 130 \text{ с}^{-1}$$

По формуле интегрального синуса рассчитываем переходный процесс с помощью программы Mathcad при  $s(t)=1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{\text{рез}}} \frac{Re(\omega) \cdot s(t)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_0^{130} \frac{Re_{\text{сис}}(\omega)_{s-y}}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

Задаём диапазон изменения времени  $t = 0 \dots 1$  с. с шагом  $\Delta t = 0,05$  с и получаем результат, указанный в таблице 3.

Таблица 15 – Расчет переходного процесса

| t, с | y(t)  |
|------|-------|
| 0    | 0     |
| 0,01 | 0,316 |
| 0,02 | 0,789 |
| 0,03 | 1,32  |
| 0,04 | 1,616 |
| 0,05 | 1,51  |
| 0,06 | 1,156 |
| 0,07 | 0,872 |
| 0,08 | 0,832 |
| 0,09 | 0,946 |
| 0,1  | 1,029 |
| 0,11 | 1,018 |
| 0,12 | 0,984 |
| 0,13 | 0,997 |
| 0,14 | 1,032 |

График переходного процесса на рисунке 19.

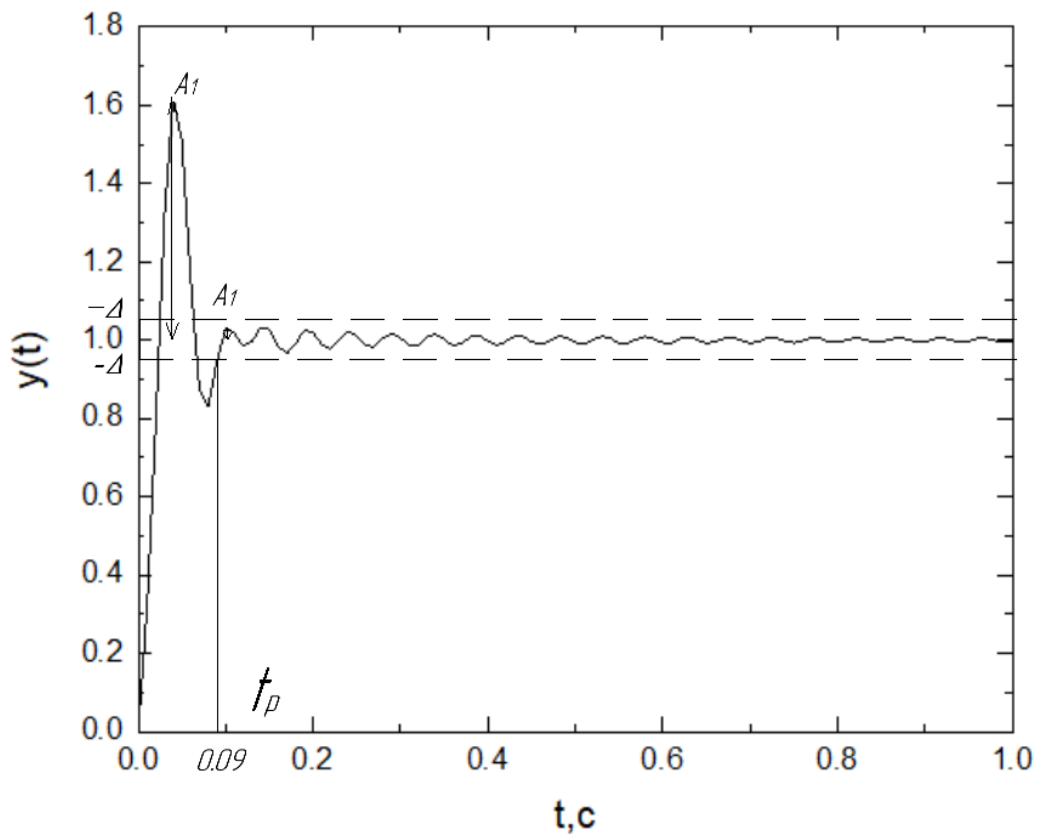


Рисунок 19 – Переходный процесс системы

#### 4.4 Оценка качества переходного процесса

Оценки качества переходного процесса указывают на качество регулирования. Под качеством регулирования понимается совокупность различных показателей, с помощью которых можно оценить быстродействие, эффективность воздействия и надежность системы с регулятором, а также степень удовлетворенности требований, выдвинутых заказчиком. Оценка качества переходного процесса осуществлялась с помощью рисунка 19 и таблицы 15.

Существуют прямые и косвенные оценки качества, к прямым оценкам качества относятся:

- 1) динамическая ошибка:

$$A_1 = 0,616.$$

- 2) перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)} = \frac{0,616 \cdot 100\%}{1} = 61,6 \, \%.$$

3) статическая ошибка:

$$\varepsilon_{\text{ст}} = S(t) - y(\infty) = 1 - 1 = 0.$$

где  $S(t)$  – величина сигнала задания.

4) степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{0,616 - 0,029}{0,616} = 0,953,$$

где  $A_2$  – вторая амплитуда колебания.

5) время регулирования  $t_p = 0,09$  с.



## 5 Мнемосхема проекта:

Мнемосхема – это графическое представление системы, процесса или устройства в виде блок-схемы, на которой отображены все его компоненты и их взаимодействие. Она используется для упрощения представления сложных процессов или систем, а также для обеспечения их контроля, диагностики и управления. Мнемосхема показывает параметры системы в наглядном и понятном виде, что помогает управляющему персоналу эффективно контролировать работу целых участков производственной линии.

В данной работе разработана мнемосхема АСУ параметрами распыления суспензионного топлива, которая представлена на рис. 20. Мнемосхема сделана в программном обеспечении MasterScada 4D. В левой части мнемосхемы приведена технологическая схема объекта (участка), где представлены два канала подачи топлива и воздуха. В правой части представлена таблица параметров, а также элементы управления клапанами. В правой нижней части представлены тренды скоростей и размеров капель.

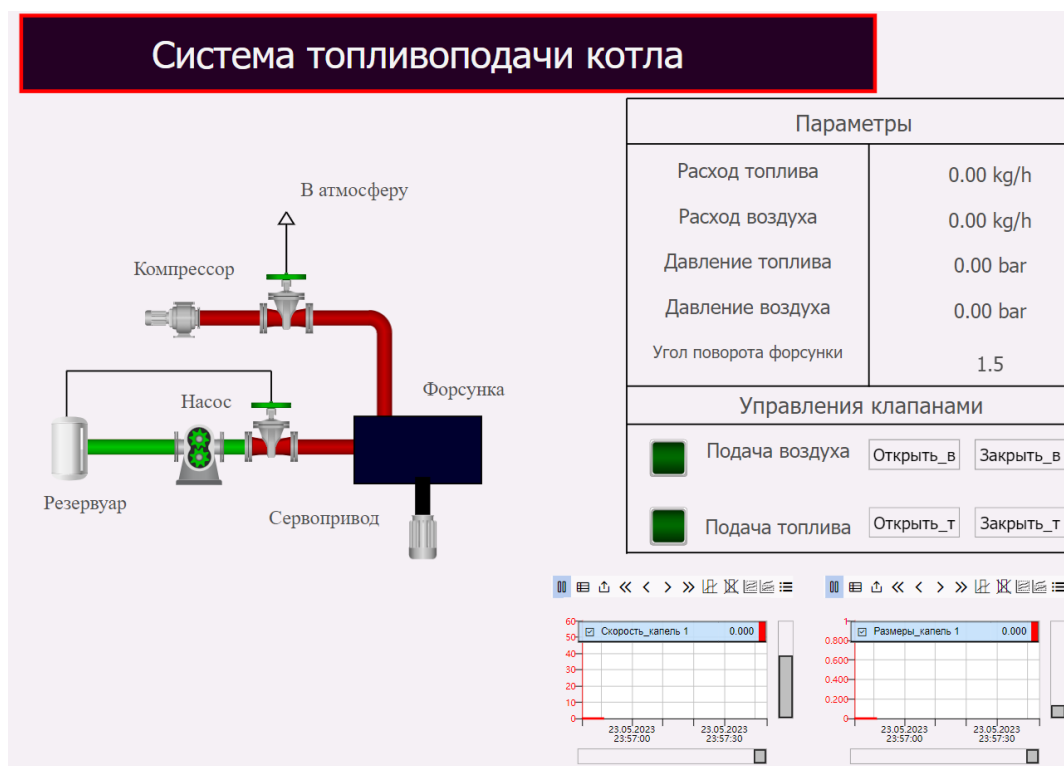


Рисунок 20 – Мнемосхема системы топливоподачи котла

Код программы был написан на двух языках ST и FBD. Код программы FBD представлен на рисунке 21, где изображено 3 генератора импульсов для сигналов регулируемых параметров: расход топлива, давление воздуха и угол поворота. Каждый генератор задает диапазон значений параметра. Также представлены два RS – триггера для управления клапанами. С помощью кнопок происходит управление клапанами и выдача сигналов на открытие и закрытие клапана.

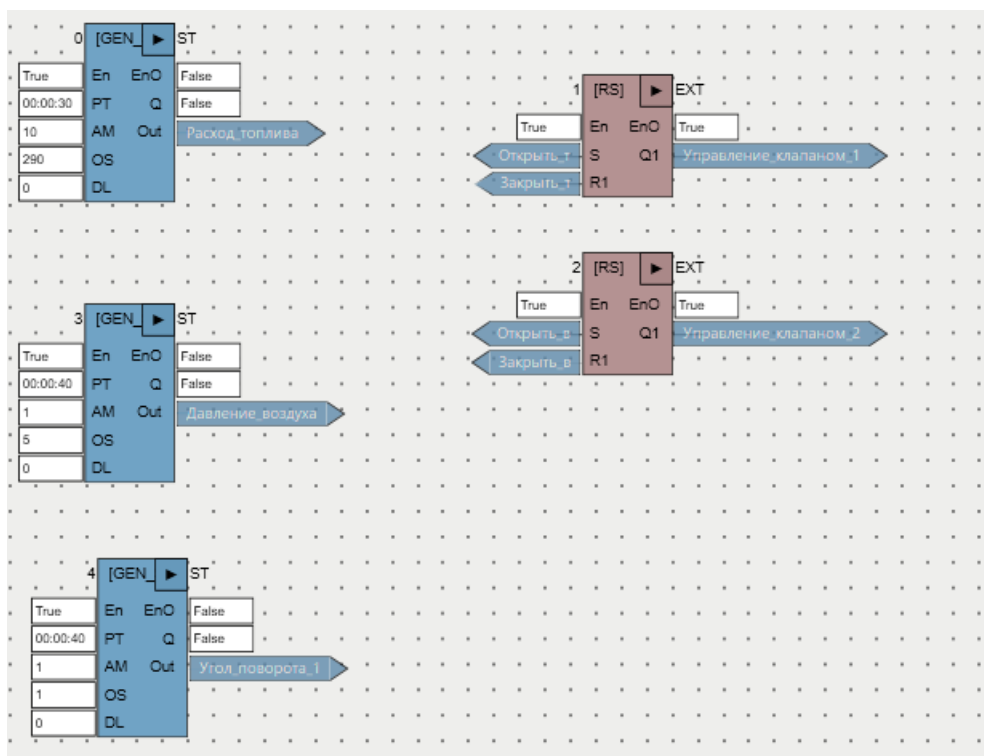


Рисунок 21 – Код программы FBD

На рисунке 22 представлен код программы ST. Строки 1 – 6 демонстрируют, что при значении TRUE включается автоматический режим. Система начинает автоматически работать. Строки 9 – 79 демонстрируют аппроксимации значений гистограмм для скоростей и размеров капель от давления воздуха при разном диапазоне расхода и угла поворота (см. рис 5, 6). Для нахождения аппроксимаций строились зависимости размеров и скоростей капель от давления воздуха при одном расходе и разных углах поворота. Для них определялись линии тренда, вследствие этого найденных уравнения при каждом значении расхода топлива и угла поворота. По итогу было построено

6 зависимостей. На рисунке 23 представлен пример найденных аппроксимаций. Строки 81 – 87 демонстрируют зависимости давления и расхода для топлива и воздуха.

```

1: IF ( автоматический_режим = TRUE ) THEN
2:   Насос_топливо := TRUE;
3: END_IF;
4:
5: IF ( автоматический_режим = TRUE ) THEN
6:   компрессор_воздуха := TRUE;
7: END_IF;
8:
9: IF Расход_топлива >= 90 and Расход_топлива < 220 and Угол_поворота >=0.5 and Угол_поворота < 0.75 THEN
10:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.0957 * Давление_воздуха - Давление_воздуха * 1.1199 + 12.764;
11: END_IF;
12:
13: IF Расход_топлива >= 90 and Расход_топлива < 220 and Угол_поворота >=0.75 and Угол_поворота < 1 THEN
14:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.2542 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 3.2 + 1.9667;
15: END_IF;
16:
17: IF Расход_топлива >= 90 and Расход_топлива < 220 and Угол_поворота >=1 and Угол_поворота < 1.5 THEN
18:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.1896 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 2.7375 + 1.9833;
19: END_IF;
20:
21: IF Расход_топлива >= 220 and Расход_топлива < 320 and Угол_поворота >=0.5 and Угол_поворота < 0.75 THEN
22:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.1854 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 1.9375 + 6.9667;
23: END_IF;
24:
25: IF Расход_топлива >= 220 and Расход_топлива < 320 and Угол_поворота >=0.75 and Угол_поворота < 1 THEN
26:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.0917 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 1.2 + 8.0667;
27: END_IF;
28:
29: IF Расход_топлива >= 220 and Расход_топлива < 320 and Угол_поворота >=1 and Угол_поворота < 1.5 THEN
30:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.1313 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 1.9375 + 5.35;
31: END_IF;
32:
33: IF Расход_топлива >= 320 and Расход_топлива < 490 and Угол_поворота >=0.5 and Угол_поворота < 0.75 THEN
34:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.1833 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 2.65 + 1.1333;
35: END_IF;
36:
37: IF Расход_топлива >= 320 and Расход_топлива < 490 and Угол_поворота >=0.75 and Угол_поворота < 1 THEN
38:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.1648 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 2.0375 + 6.7833;
39: END_IF;
40:
41: IF Расход_топлива >= 320 and Расход_топлива < 490 and Угол_поворота >=1 and Угол_поворота < 1.5 THEN
42:  Скорость_капель:= Давление_воздуха * 0.0792 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 1.425 + 5.4667;
43: END_IF;
44:
45: IF Расход_топлива >= 90 and Расход_топлива < 220 and Угол_поворота >=0.5 and Угол_поворота < 0.75 THEN
46:  Размеры_капель:= - Давление_воздуха * 0.0005 + 0.0271;
47: END_IF;
48:
49: IF Расход_топлива >= 90 and Расход_топлива < 220 and Угол_поворота >=0.75 and Угол_поворота < 1 THEN
50:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0001 * Давление_воздуха - Давление_воздуха * 0.0019 + 0.0342;
51: END_IF;
52:
53: IF Расход_топлива >= 90 and Расход_топлива < 220 and Угол_поворота >=1 and Угол_поворота < 1.5 THEN
54:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0008 * Давление_воздуха - Давление_воздуха * 0.0101 + 0.0624;
55: END_IF;
56:
57: IF Расход_топлива >= 220 and Расход_топлива < 320 and Угол_поворота >=0.5 and Угол_поворота < 0.75 THEN
58:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0004 * Давление_воздуха - Давление_воздуха * 0.0031 + 0.0338;
59: END_IF;
60:
61: IF Расход_топлива >= 220 and Расход_топлива < 320 and Угол_поворота >=0.75 and Угол_поворота < 1 THEN
62:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0005 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 0.0055 + 0.0275;
63: END_IF;
64:
65: IF Расход_топлива >= 220 and Расход_топлива < 320 and Угол_поворота >=1 and Угол_поворота < 1.5 THEN
66:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0002 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 0.0007 + 0.0447;
67: END_IF;
68:
69: IF Расход_топлива >= 320 and Расход_топлива < 490 and Угол_поворота >=0.5 and Угол_поворота < 0.75 THEN
70:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0004 * Давление_воздуха - Давление_воздуха * 0.0031 + 0.0338;
71: END_IF;
72:
73: IF Расход_топлива >= 320 and Расход_топлива < 490 and Угол_поворота >=0.75 and Угол_поворота < 1 THEN
74:  Размеры_капель:= Давление_воздуха * 0.0005 * Давление_воздуха + Давление_воздуха * 0.0055 + 0.0275;
75: END_IF;
76:
77: IF Расход_топлива >= 320 and Расход_топлива < 490 and Угол_поворота >=1 and Угол_поворота < 1.5 THEN
78:  Размеры_капель:= - Давление_воздуха * 0.001 + 0.048;
79: END_IF;
80:
81: IF Расход_топлива > 0 THEN
82:  Давление_топлива:= -0.1587 * Расход_топлива + 109.19;
83: END_IF;
84:
85: IF Давление_воздуха > 0 THEN
86:  Расход_воздуха:= 5.7143 * Давление_воздуха + 25;
87: END_IF;
88:
89: IF ( Управление_клапаном_2 = FALSE ) THEN
90:  Давление_воздуха:= 0;
91: END_IF;
92:
93: IF ( Управление_клапаном_1 = FALSE ) THEN
94:  Давление_топлива:= 0;
95: END_IF;
96:
97: IF Давление_топлива = 0 THEN
98:  Расход_топлива:= 0;
99: END_IF;
100:
101: IF Давление_воздуха = 0 THEN
102:  Расход_воздуха:= 0;
103: END_IF;
104:

```

Рисунок 22 – Код программы ST

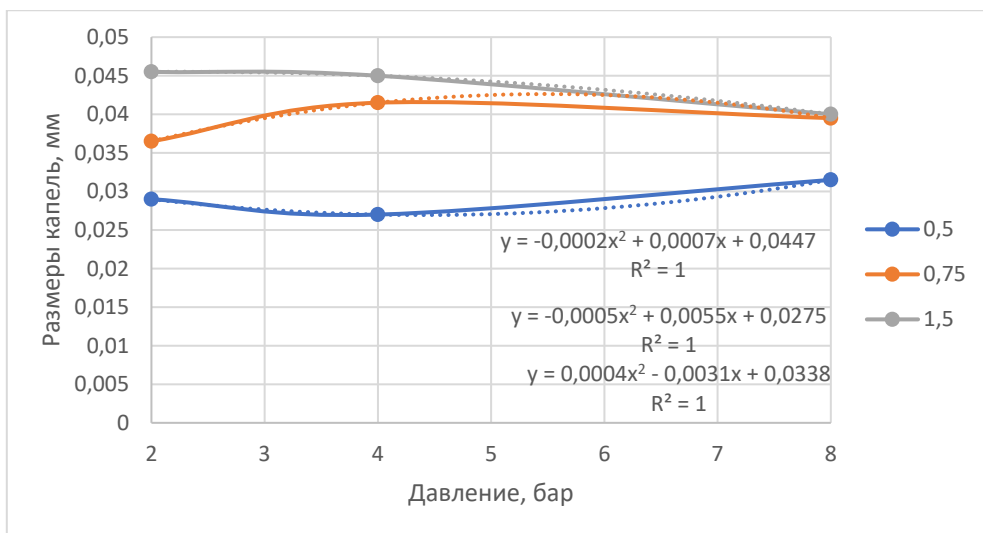


Рисунок 23 – Пример нахождения аппроксимации

На рисунке 24 продемонстрирован пример работы мнемосхемы.

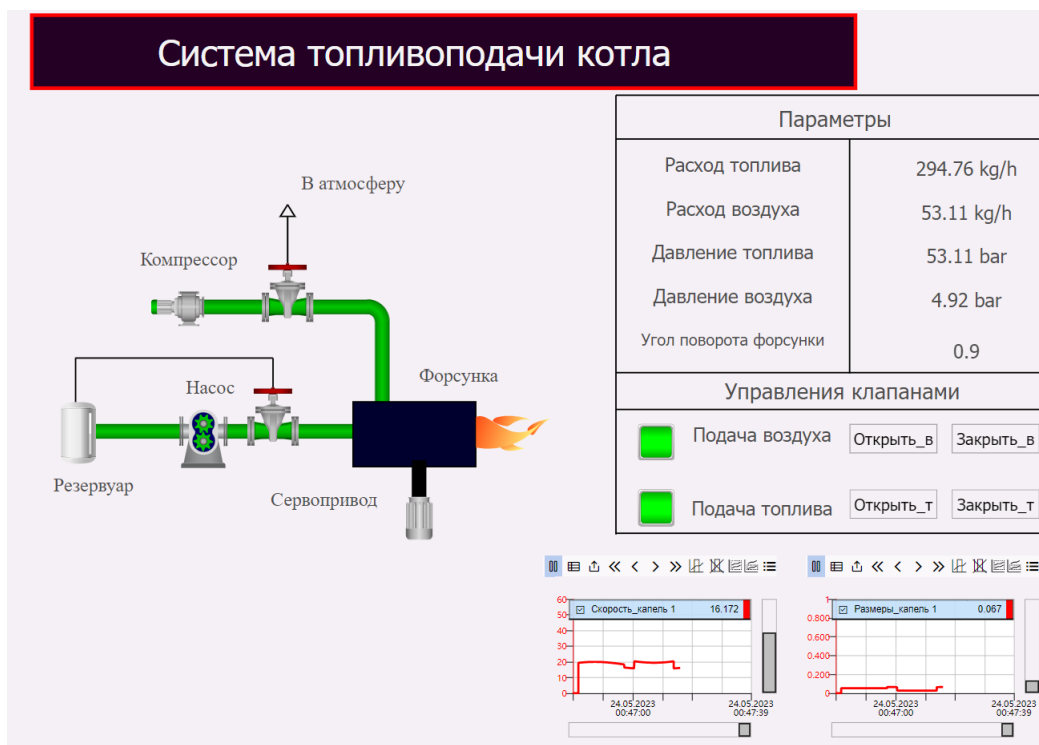


Рисунок 24 – Пример работы мнемосхемы

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

Студенту:

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>      |
| 5Б93          | Клименко Андрею |

|                     |             |                              |                                                 |
|---------------------|-------------|------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Школа</b>        | <b>ИШЭ</b>  | <b>Отделение школы (НОЦ)</b> | <b>И. Н. Бутакова</b>                           |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность    | 13.03.01<br>«Теплоэнергетика и<br>теплотехника» |

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

|                                                                                                           |                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                | - норма амортизации –10-20%<br>- накладные расходы – 20%.                                                                                                                              |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования       | Общий режим налогообложения.<br>Тариф страховых взносов – 30%                                                                                                                          |

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

|                                                                                                                                              |                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | Анализ потенциальных потребителей, конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.                                                        |
| 2. Планирование и формирование бюджета                                                                                                       | Формирование плана и графика проекта:<br>- определение структуры работ;<br>- определение трудоемкости работ.<br>Формирование бюджета затрат проекта. |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности                               | Расчет показателей сравнительной эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности.                                               |

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

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

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

Задание выдал консультант:

|             |              |                        |         |      |
|-------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Должность   | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСГН | Якимова Т.Б. | к.э.н.                 |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

|        |                 |         |      |
|--------|-----------------|---------|------|
| Группа | ФИО             | Подпись | Дата |
| 5Б93   | Клименко Андрей |         |      |

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

Основная цель данного раздела – произвести расчет нормативной продолжительности выполнения работ согласно теме ВКР и представить календарный график работ с расчетом отдельных статей сметы. В случае, если в ВКР предусмотрено применение новой техники и технологии, необходимо произвести расчет экономической эффективности мероприятия либо сделать обоснование целесообразности разработки инвестиционного проекта.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование и формирование бюджета;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.

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

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Разрабатываемая АСУ распыление параметров суспензионного топлива предназначена распылять водоугольное топливо. С помощью использования водоугольных топлив (ВУТ) можно утилизировать отходы от углеобогащения. Также использование водоугольного топлива обеспечивает минимальные выбросы вредных веществ. Но в настоящее время технология сжигания ВУТ повсеместно не распространена связи с тем, что такие системы требуют значительных инвестиций.

### 6.1.2 Анализ конкурентоспособности технических решений

Проведем анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты. Так как в данной работе для распыления используется жидкое топливо, то для проведения анализа выберем два конкурирующих топлив: водомазутное топливо (ВМТ) и дизельное топливо (ДТ). В таблице 16 приведено сравнение конкурентных технических решений.

Таблица 16 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии<br>оценки                               | Вес<br>критерия | Баллы          |                |                | Конкурентоспособность |                  |                 |
|--------------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------|-----------------|
|                                                  |                 | Б <sub>1</sub> | Б <sub>2</sub> | Б <sub>3</sub> | К <sub>ВУТ</sub>      | К <sub>ВМТ</sub> | К <sub>ДТ</sub> |
| 1                                                | 2               | 3              | 4              | 5              | 6                     | 7                | 8               |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности |                 |                |                |                |                       |                  |                 |
| Надежность                                       | 0,15            | 4              | 5              | 3              | 0,6                   | 0,75             | 0,45            |
| Экологичность                                    | 0,1             | 5              | 3              | 4              | 0,5                   | 0,3              | 0,4             |
| Простота<br>эксплуатации                         | 0,05            | 3              | 3              | 2              | 0,15                  | 0,15             | 0,1             |
| Актуальность<br>исследования                     | 0,15            | 5              | 5              | 5              | 0,75                  | 0,75             | 0,75            |
| Качество<br>регулирования                        | 0,15            | 5              | 4              | 4              | 0,75                  | 0,6              | 0,6             |
| Эффективность<br>применения                      | 0,1             | 4              | 4              | 4              | 0,4                   | 0,4              | 0,4             |
| Экономические критерии оценки эффективности      |                 |                |                |                |                       |                  |                 |
| Цена                                             | 0,1             | 5              | 4              | 2              | 0,5                   | 0,4              | 0,2             |
| Стоимость<br>обслуживания                        | 0,1             | 3              | 4              | 4              | 0,3                   | 0,4              | 0,4             |
| Срок<br>эксплуатации                             | 0,1             | 5              | 5              | 5              | 0,5                   | 0,5              | 0,5             |
| <b>Итого</b>                                     | 1               | 39             | 37             | 33             | 4,45                  | 4,25             | 3,8             |

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл -го показателя.

$$K_{\text{ВУТ}} = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 = 4,7,$$

$$K_{\text{ВМТ}} = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 = 4,7,$$

$$K_{\text{ДТ}} = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 = 4,7,$$

По итогам расчетов анализа конкурентоспособности технических решений, можно сделать вывод, что исследование по распылению ВУТ является наиболее перспективным по сравнению с ВМТ и ДТ. В данной работе используется топливо – ВУТ.

### 6.1.3 SWOT - анализ

SWOT-анализ (S – Strengths (сильные стороны), W — Weaknesses (слабые стороны), O — Opportunities (возможности), Т — Threats (угрозы).)—метод стратегического планирования, для оценки внутренних и внешних факторов, которые влияют на развитие компании.

Результаты SWOT - анализа приведены в итоговой таблице 17

Таблица 17 – Итоговая таблица SWOT-анализа

|  |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p><b>Сильные стороны проекта:</b></p> <p>С1. Низкая стоимость сырья.</p> <p>С2. Экологичность ВУТ.</p> <p>С3. Утилизация отходов углеобогащения</p> <p>С4. Использование низкосортных компонентов топлива.</p> <p>С5. Высокая надежность системы.</p> | <p><b>Слабые стороны проекта:</b></p> <p>Сл1. Потребность высококвалифицированных кадров у потенциальных потребителей.</p> <p>Сл2. Требуются контроллеры, предназначенные для систем средней степени сложности.</p> <p>Сл3. Новизна технологии.</p> <p>Сл4. Необходимость в подготовке топлива к распылению.</p> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Сл5. Сложность в проведении пусконаладочных работ.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Возможности</b><br>В1. Ужесточение требований к выбросам загрязняющих веществ.<br>В2. Поддержка со стороны государства развитие технологий утилизации углепромышленных отходов.<br>В3. Понижение стоимости на компоненты установки.<br>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок. | <b>Сильные стороны и возможности:</b><br>1. Более жесткие законы или стандарты по выбросам вредных веществ побудят к исследованию и внедрению новых, более экологически чистых методов производства.<br>2. Благодаря новым технологиям по уменьшению вредных выбросов государство будет вкладывать свои ресурсы.<br>3. Снижение затрат на компоненты установок достигается благодаря использованию дешевых исходных материалов, применению низкосортных топлив при соблюдении экологических стандартов. | <b>Слабые стороны и возможности:</b><br>1. При ужесточении требований к выбросам вырастает потребность кадров, а также необходимости подготовки топлива к распылению.<br>1. Внедрение технологий на отечественный рынок может быть результатом новизны разработки.<br>2. Повышении конкурентоспособности может привести к разработке новых технологий. |
| <b>Угрозы</b><br>У1. Отсутствие спроса на рынке.<br>У2. Повышение стоимости на компоненты системы.<br>У3. Появление зарубежных аналогов.                                                                                                                                                   | <b>Сильные стороны и угрозы:</b><br>1. Использование ВУТ является экологичной по сравнению с другими, то есть, появление повышенного спроса.<br>2. Повышение стоимости на топливо приведет к удорожанию установки в целом.                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Слабые стороны и угрозы:</b><br>1. Зарубежные компании обладают высокоразвитыми технологиями<br>2. Повышение спроса приведет к повышению высококвалифицированных кадров.                                                                                                                                                                            |

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны научного исследования, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации.

Основным достоинством данной системы является экологичность, которая связана с ужесточением требований по вредному выбросу и с борьбой

«углеродным следом». Также использование современных компонентов, надежных ПЛК и наличие высокой точности измерения параметров системы.

Система также имеет ряд проблем, в основном связанных с ограничением на определенные параметры объекта и сложностью производства топлива.

## 6.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                            | № раб. | Содержание работ                                                                                        | Должность исполнителя         |
|-------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Разработка технического задания           | 1      | Составление и утверждение технического задания                                                          | Научный руководитель          |
| Выбор способа решения поставленной задачи | 2      | Подбор и изучение литературы по выбранной теме                                                          | Инженер                       |
|                                           | 3      | Календарное планирование работ                                                                          | Научный руководитель          |
|                                           | 4      | Подготовка ВУТ для проведения исследований                                                              | Инженер                       |
|                                           | 5      | Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик распыления водоугольного топлива. | Инженер                       |
|                                           | 6      | Обработка полученных данных                                                                             | Научный руководитель, инженер |

## Продолжение таблицы 18

|                                                      |    |                                                                                                                                                              |                      |
|------------------------------------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Обобщение и оценка результатов                       | 7  | Оценка эффективности результатов                                                                                                                             | Научный руководитель |
| Разработка технической документации и проектирование | 8  | Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схему, выбор оборудования; разработка щита автоматизации и мнемосхемы АСУ. | Инженер              |
|                                                      | 9  | Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».                                        | Инженер              |
|                                                      | 10 | Внесение исправлений в чертежи и доработка описания к ним.                                                                                                   | Инженер              |

### 6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости определяется по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Продолжительность каждой работы, учитывающую параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $\text{Ч}_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Количество календарных дней в 2022 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней. Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Коэффициент календарности:

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

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году;

В таблице 4 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Пример расчета для первой строки:

$$t_{\text{ож1}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min1}} + 2 \cdot t_{\text{max1}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. – дн.};$$

$$T_{p1} = \frac{t_{\text{ож1}}}{\text{Ч}_1} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб. дн.};$$

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,4 = 1,96 \approx 2 \text{ дня.}$$

Календарный план-график построен на основе рисунка 1 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней)

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

| Этап                                                                                                                                                        | Трудоемкость работ, дни |           |          | Исполнители | Длительность работ в раб. Днях $T_{pi}$ |      | Длительность работ в кал.днях $T_{ki}$ |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|----------|-------------|-----------------------------------------|------|----------------------------------------|------|
|                                                                                                                                                             | $t_{min}$               | $t_{max}$ | $t_{ож}$ |             | НР                                      | Инж. | НР                                     | Инж. |
| Составление и утверждение технического задания                                                                                                              | 1                       | 2         | 1,4      | НР          | 1,4                                     | -    | 2                                      | -    |
| Подбор и изучение литературы по выбранной теме                                                                                                              | 5                       | 7         | 5,8      | Инж.        | -                                       | 5,8  | -                                      | 9    |
| Календарное планирование работ                                                                                                                              | 2                       | 4         | 2,8      | НР          | 2,8                                     | -    | 4                                      | -    |
| Подготовка ВУТ для проведения исследований                                                                                                                  | 4                       | 5         | 4,4      | Инж.        | -                                       | 4,4  | -                                      | 6    |
| Проведение лабораторных работ, направленных на изучение характеристик распыления водоугольного топлива.                                                     | 11                      | 17        | 13,4     | Инж.        | -                                       | 13,4 | -                                      | 19,8 |
| Обработка полученных данных                                                                                                                                 | 8                       | 12        | 9,6      | НР, инж.    | 4,8                                     | 4,8  | 7                                      | 7    |
| Оценка эффективности результатов                                                                                                                            | 4                       | 7         | 5,2      | НР          | 5,2                                     | -    | 7                                      | -    |
| Разработка структурной, функциональной, электрической схемы соединения, монтажной схемы, выбор оборудования; разработка щита автоматизации и мнемосхемы АСУ | 12                      | 17        | 14       | Инж.        | -                                       | 14   | -                                      | 21   |
| Внесение исправлений в чертежи и доработка описаний к ним                                                                                                   | 6                       | 8         | 6,8      | Инж.        | -                                       | 6,8  | -                                      | 10   |
| Оформление разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»                                        | 5                       | 9         | 6,6      | Инж.        | -                                       | 6,6  | -                                      | 10   |
| Составление пояснительной записки                                                                                                                           | 6                       | 8         | 6,8      | Инж.        | -                                       | 6,8  | -                                      | 10   |
| Итого                                                                                                                                                       | 64                      | 96        | 77       | -           | 14,2                                    | 62,6 | 20                                     | 93   |

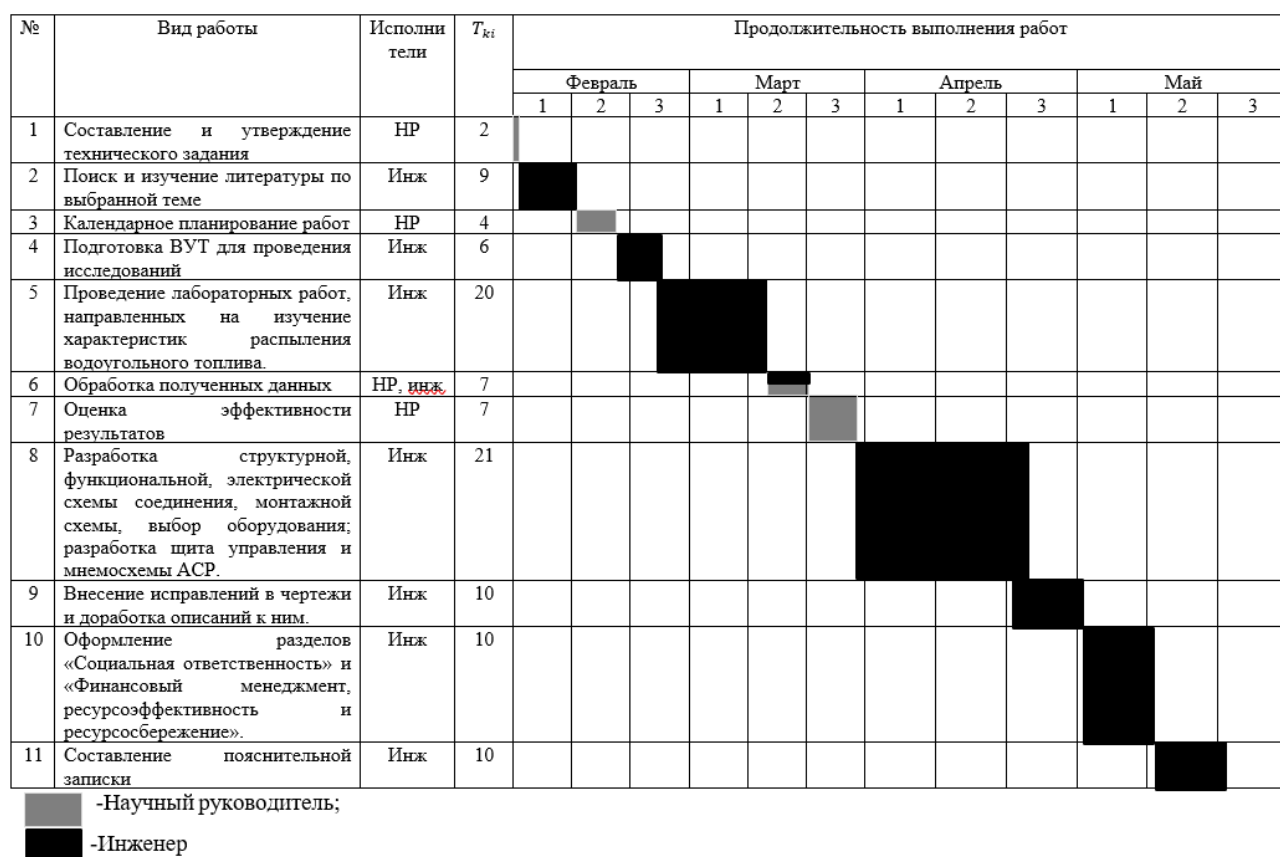


Рисунок 25 – График Гранда

### 6.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

### 6.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – затраты предприятия на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции. Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении ВУТ. Результаты расчета затрат представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

| Наименование материала | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Итого затраты, руб. |
|------------------------|-------------------|------------|-------------------|---------------------|
| Вода дистиллированная  | л                 | 5          | 67,4              | 337                 |
| Угольный шлам          | Кг                | 5          | 76                | 380                 |
| ПАВ (Tween 80)         | Кг                | 0,1        | 165               | 165                 |
| <b>Итого</b>           |                   |            |                   | 882                 |

### 6.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в количества лет.

Норма амортизации для компрессора Patriot WO 10-120:

$$H_A = \frac{1}{5} \cdot 100 = 0,2.$$

Норма амортизации для шестеренного насоса Zenova KCB-A200:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Норма амортизации для датчика расхода ЭМИС МАГ-270:

$$H_A = \frac{1}{15} = 0,07.$$

Норма амортизации для датчика давления Сапфир-22:

$$H_A = \frac{1}{15} = 0,07.$$

Амортизация оборудования:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot t,$$

где И – итоговая сумма, тыс. руб.,  $t$  время использования, мес.

Амортизация для компрессора Patriot WO 10-120:

$$A = \frac{0,2 \cdot 8360}{12} \cdot 0,6 = 84 \text{ руб.}$$

Амортизация для шестеренного насоса Zenova KCB-A200:

$$A = \frac{0,1 \cdot 107068}{12} \cdot 0,6 = 535 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика расхода ЭМИС МАГ-270:

$$A = \frac{0,07 \cdot 57235}{12} \cdot 0,6 = 201 \text{ руб.}$$

Амортизация для датчика давления Сапфир-22:

$$A = \frac{0,07 \cdot 15000}{12} \cdot 0,6 = 53.$$



Таблица 21 – Затраты на оборудование

| №<br>п/<br>п | Наименование                                     | Кол-<br>во е. | Срок<br>полезног<br>о<br>использо<br>вания | Цена<br>оборудов<br>ания, тыс.<br>руб. | Время<br>использо<br>вания,<br>мес. | $H_A$ , % | Амортизация |
|--------------|--------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-------------|
| 1            | Компрессор<br>поршневой<br>Patriot WO 10-<br>120 | 1             | 5                                          | 8360                                   | 0,6                                 | 20        | 84          |
| 2            | Шестеренный<br>насос Zenova<br>КСВ-А200          | 1             | 10                                         | 107068                                 | 0,6                                 | 10        | 535         |
| 3            | Датчик<br>расхода<br>ЭМИС МАГ<br>270             | 1             | 15                                         | 57235                                  | 0,6                                 | 7         | 201         |
| 4            | Датчик<br>давление<br>Сапфир-22                  | 1             | 15                                         | 15000                                  | 0,6                                 | 7         | 53          |
| Итого:       |                                                  |               |                                            |                                        |                                     |           | 873 руб.    |

### 6.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата исполнителя и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 3248,3 \cdot 14,2 = 46125,9 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 1630,5 \cdot 62,6 = 102069,3 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где  $З_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дня  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                  | Научный руководитель | Инженер |
|----------------------------------------------|----------------------|---------|
| Календарное число дней                       | 365                  | 365     |
| Выходные/праздники                           | 66                   | 118     |
| Отпуск/невыходы по болезни                   | 56                   | 30      |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 243                  | 217     |

Среднедневная заработная плата научного руководителя (6-дневная неделя):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{76635 \cdot 10,3}{243} = 3248,3 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата инженера (5-дневная неделя):

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{31590 \cdot 11,2}{217} = 1630,5 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где  $Z_{\text{ТС}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{ТС}}$ );  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3.

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 39300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 76635 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 16200 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31590 \text{ руб.}$$

Таблица 23 – Основная заработная плата

| Исполнители            | $Z_{\text{ТС}}$ ,<br>руб. | $k_{\text{пр}}$ | $k_{\text{д}}$ | $k_{\text{р}}$ | $Z_{\text{м}}$ ,<br>руб. | $Z_{\text{дн}}$ ,<br>руб. | $T_{\text{р}}$ ,<br>раб. дн. | $Z_{\text{осн}}$ ,<br>руб. |
|------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|
| НР                     | 39300                     | 0,3             | 0,2            | 1,3            | 76635                    | 3248,3                    | 14,2                         | 46125,9                    |
| Инж                    | 16200                     | 0,3             | 0,2            | 1,3            | 31590                    | 1630,5                    | 62,6                         | 102069,3                   |
| Итого $Z_{\text{осн}}$ |                           |                 |                |                |                          |                           |                              | 148195,2                   |

#### 6.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

Дополнительная заработная плата вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимаем равным 0,14.

Доп. заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,14 \cdot 46125,9 = 6457,6.$$

Доп. заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,14 \cdot 102069,3 = 14289,7.$$

#### 6.3.5 Отчисления во внебюджетный фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для научного руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,302 \cdot (46125,9 + 6457,6) = 15880,2 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,302 \cdot (102069,3 + 14289,7) = 35140,4 \text{ руб.}$$

### 6.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

$$З_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принимаем 0,2.

$$З_{накл} = (З_{мат} + З_{обор} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot k_{нр} = (882 + 873 + 148195,2 + 20747,3 + 51020,6) \cdot 0,2 = 44343,62$$

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи                        | Сумма, руб. |
|--------------------------------------------|-------------|
| Материальные затраты                       | 882         |
| Затраты на оборудование                    | 873         |
| Затраты на основную заработную плату       | 148195,2    |
| Затраты на дополнительную заработную плату | 20747,3     |
| Отчисления во внебюджетные фонды           | 51020,6     |
| Накладные расходы:                         | 44343,62    |

### 6.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Бюджет затрат НТИ

| Наименование                               | Сумма, руб. |          |          | Примечание    |
|--------------------------------------------|-------------|----------|----------|---------------|
|                                            | Исп.1       | Исп.2    | Исп.3    |               |
| Материальные затраты                       | 882         | 632      | 815      | Пункт 1.3.1   |
| Затраты на оборудование                    | 873         | 2875,4   | 4321,5   | Пункт 1.3.2   |
| Затраты на основную заработную плату       | 148195,2    | 150176,5 | 149302,2 | Пункт 1.3.3   |
| Затраты на дополнительную заработную плату | 20747,3     | 21544,7  | 22240,3  | Пункт 1.3.4   |
| Отчисления во внебюджетные фонды           | 51020,6     | 51500,2  | 51874,3  | Пункт 1.3.5   |
| Накладные расходы                          | 44343,62    | 44770,7  | 45710,7  | Пункт 1.3.6   |
| Бюджет затрат НИР                          | 266061      | 268624,1 | 274264   | Сумма ст. 1–6 |

### 6.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. 66 В качестве аналогов данного НИ рассмотрены:

- АСУ параметров распыления водомазутной эмульсии;
- АСУ параметров распыления водотопливной эмульсии.

Интегральный показатель финансовой эффективности:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения НИР.

$$\Phi_{p1} = 266061 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p2} = 268624,1 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{p3} = 274264 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{266061}{274264} = 0,97,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{268624,1}{274264} = 0,98,$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{274264}{274264} = 1.$$

Наиболее приемлемым с точки зрения финансовой эффективности является 1 вариант исполнения. Интегральный показатель ресурсоэффективности  $I_{pi}$  вариантов выполнения определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового

коэффициента каждого параметра. Распределение параметров представлено в таблице 26.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

| Объект исследования<br>Критерии                   | Весовой коэффициент<br>параметра | Исп1 | Исп2 | Исп3 |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|------|------|------|
| Возможность применения технологии на производстве | 0,15                             | 4    | 4    | 4    |
| Удобство эксплуатации                             | 0,15                             | 4    | 4    | 4    |
| Надежность                                        | 0,15                             | 4    | 4    | 4    |
| Динамическая точность                             | 0,15                             | 5    | 5    | 2    |
| Стоимость обслуживания                            | 0,15                             | 4    | 4    | 4    |
| Качество регулирования                            | 0,15                             | 5    | 5    | 5    |
| Простота пусконаладочных работ                    | 0,1                              | 3    | 2    | 2    |
| Итого:                                            | 1                                | 4,2  | 4,1  | 3,65 |

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 \\ = 4,2,$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 \\ = 4,1,$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2 = 3,65.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,2}{0,97} = 4,33,$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{4,1}{0,98} = 4,18,$$

$$I_{исп3} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{3,65}{1} = 3,65.$$

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ) запишем в общую таблицу.

Таблица 27 – Сравнительная эффективность разработки

| № | Показатели                                       | Исп.1 | Исп.2 | Исп.3 |
|---|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки    | 0,97  | 0,98  | 1     |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности     | 4,2   | 4,1   | 3,65  |
| 3 | Интегральный показатель эффективности            | 4,33  | 4,18  | 3,65  |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1     | 0,97  | 0,84  |

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущее исследование)



## Выводы по разделу

В данном разделе:

- проведен анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке;
- составлен SWOT-анализ для нашего исследования, в котором были выявлены сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы;
- приведена таблица с перечнем этапов, работ и распределением исполнителей;
- определена трудоемкость выполнения работ;
- построена диаграмма Гранта;
- произведены расчеты: материальных затрат, затрат на оборудование, основной и дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов. Произведен расчет бюджета затрат НИР, который составил 266061 руб.;

Рассчитана оценка эффективности НИ. Интегральный показатель финансовой эффективности равен 0,97, интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,2, интегральный показатель эффективности равен 4,33. При сравнении показателей нашего проекта с показателями других, то можно сделать вывод, что наш проект является финансово выгодным и более эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|                     |                             |                           |                                         |
|---------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Группа              |                             | ФИО                       |                                         |
| 5Б93                |                             | Клименко Андрею           |                                         |
| Школа               | Инженерная школа энергетики | Отделение (НОЦ)           | И.Н. Бутакова                           |
| Уровень образования | Бакалавриат                 | Направление/специальность | 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника |

Тема ВКР:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i><b>Автоматизированная система<br/>управления параметрами распыления суспензионного топлива</b></i>                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Введение</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>                                                                | <p>Объект исследования: Автоматизированная система управления параметрами распыления суспензионного топлива.</p> <p>Область применения: Энергетика, котельные станции.</p> <p>Рабочая зона: лаборатория</p> <p>Размеры помещения: 8*5 м.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компрессор (1), форсуночное устройство (1), насос (1), сервопривод (1), щит автоматизации (1), программируемый контроллер (1).</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: измерение характеристик распыления суспензионного топлива.</p>                                                                                       |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя;</li> <li>– ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора;</li> <li>– ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места;</li> <li>– ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> </ul>                                                                                                                                          | <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная запыленность и загазованность;</li> <li>– повышенная концентрация СО в помещении;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>– длительное сосредоточенное наблюдение.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действием которого попадает работающий;</li> </ul> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники,</p> |

|                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                  | защитные очки, специализированная одежда, изоляция проводов.                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>            | Воздействие на литосферу:<br>– загрязнение твердыми частицами отходов;<br>Воздействие на гидросферу:<br>– химическое загрязнение грунтовых вод;<br>Воздействие на атмосферу:<br>– выбросы дымовых газов, содержащих в себе CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> при работе оборудования. |
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b> | Возможные ЧС:<br>– Взрыв<br>– Возгорание водоугольной суспензии<br>Наиболее типичная ЧС:<br>– Возгорание водоугольной суспензии                                                                                                                                                                         |
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

**Задание выдал консультант:**

| Должность             | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Мезенцева Ирина Леонидовна |                        |         | 2023 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО             | Подпись | Дата |
|--------|-----------------|---------|------|
| 5Б93   | Клименко Андрей |         | 2023 |

## **7 Социальная ответственность**

### **Введение**

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке автоматизированной системе управления параметрами распыления суспензионного топлива. Объектом управления в данной работе является система топливоподачи водоугольного топлива (ВУТ).

В настоящее время в угледобывающей промышленности ежегодно накапливается около 2,1 млрд. т твердых отходов, в том числе при открытой добыче – 1,9, при подземной – 0,12, при обогащении 0,1 млрд. тонн [44]. Один из способов утилизации отходов от углеобогащения является использование водоугольных суспензий как основное топливо. Также преимуществом использования водоугольных суспензий является уменьшение вредных выбросов по сравнению с традиционными источниками. Прежде чем сжигать водоугольное топливо требуется его распылить. Учитывая специфику распыления суспензионного топлива необходимость поддержания контролируемых параметров для улучшения экологических характеристик при сжигании топлива. Рабочая зона является лабораторное помещение. Размеры помещения: 40 м<sup>2</sup>. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: компрессор (1), форсуночное устройство (1), насос (1), сервопривод (1), щит автоматизации (1), программируемый контроллер (1). Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: измерение характеристик распыления суспензионного топлива.

Основная задача данной работы — это контроль параметров распыления таких как, как скорости и размеры капель ВУТ за счет изменения давления воздуха с помощью компрессора, расхода топлива с помощью насоса, а также угол поворота форсунки с помощью сервопривода.

В данном разделе будут отмечены все основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе разработки данного проекта.

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

Основным документом, регламентирующим права и обязанности работника и работодателя, является Трудовой кодекс РФ [45]. Трудовой кодекс РФ содержит нормы и правила, регулирующие трудовые отношения между работниками и работодателями в Российской Федерации. Он определяет основные права и обязанности работников и работодателей, порядок заключения, изменения и прекращения трудовых договоров, режим рабочего времени и времени отдыха, оплату труда, социальную защиту работников, а также ответственность за нарушение трудового законодательства. На работах с вредными или опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия средства индивидуальной защиты в соответствии с типовыми нормами, утвержденными в порядке, установленном Правительством Российской Федерации [45].

Работа оператора предполагает, что работа выполняется сидя. Поэтому особое внимание уделяется показателям, которые важны для выполнения работы сидя. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя” конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. Также высота рабочего места должна быть настроена так, чтобы человеку было комфортно выполнять трудовые обязанности. При этом высота зависит от рода деятельности и от половой принадлежности работника [46].

Следует отметить, кресло оператора АСУ должно быть выполнено согласно требуемых норм. Требования вынесены в ГОСТ 21889-76 “Система “Человек-машина” [47].

Основные эргономические требования к креслу человека-оператора:

- кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу;
- кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности;
- при невозможности покинуть рабочее место длительное время конструкция кресла должна обеспечивать условия для отдыха человека-оператора в кресле;
- кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении с сохранением естественных изгибов позвоночника;
- конструкция кресла не должна затруднять рабочих движений.

При расположении различного технического оборудования на рабочем месте необходимо согласовать с ГОСТ 22269-76 “Рабочее место оператора”. Взаимное расположение элементов рабочего места”. Важно, чтобы взаимное расположение используемого оборудования не препятствовало трудовому процессу оператора. В работе оператора происходит постоянное взаимодействие со средствами отображения информации для мониторинга параметров, поэтому согласно требованиям, очень часто используемые средства отображения, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 15^\circ$  от саггитальной плоскости [47].

## **7.2 Производственная безопасность**

Все травмы и заболевания, связанные с выполнением рабочих обязанностей, обусловлены нежелательным воздействием на организм работника различных факторов рабочей среды и трудового процесса. Эти факторы зависят от различных обстоятельств и характеризуются

потенциальной опасностью для здоровья работника в зависимости от их интенсивности, продолжительности и способности оказывать непосредственное или косвенное воздействие на организм человека. Следует отметить, что производственные факторы являются частным случаем факторов окружающей человека среды обитания и человеческой деятельности, связанных и (или) порождаемых производственной и трудовой деятельностью. Во время выполнения работ могут возникнуть опасные и вредные факторы, которые закреплены в ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [48]. В таблице 28 представлены основные факторы, влияющие на работу инженера.

Таблица 28 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ

| Факторы                                                         | Нормативные документы                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны                    | ГОСТ Р 55175-2012 «Методы контроля запыленности».                                                                                              |
| Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения | СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»                                                                                      |
| Повышенный уровень шума на рабочем месте                        | ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности»                                          |
| Повышенная концентрация СО в помещении                          | ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны                                                         |
| Длительное сосредоточенное наблюдение                           | СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» |

## Продолжение таблицы 28

|                                                                                                                                                     |                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий | ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 7.2.1 Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны

Процесс распыления ВУТ сопровождается выделением мелких частиц водоугольной пыли. Эта пыль опасна для дыхательных путей и всего организма в целом. Пыль оказывает основное механическое воздействие на кожу, вызывая зуд и покраснение, что указывает на наличие воспалительного процесса. Кроме того, при попадании пыли в глаза возникает конъюнктивит, который проявляется покраснением, слезотечением и иногда припухлостью. При вдыхании пыли, она раздражает верхние дыхательные пути, что при длительном воздействии может привести к воспалению. Для оценки опасности пыли определяют содержание свободного диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) в соответствии стандарта, который регламентирует требования к методам контроля содержания аэрозолей (АПФД) и определения содержания свободного диоксида кремния в пыли и сравнивают с ПДК (ГОСТ 12.1.005-88). Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ПДК  $\text{SiO}_2$  при содержании пыли от 10 до 70% должна составлять не более  $2 \text{ мг/м}^3$ , если содержание пыли составляет больше 70 %, то ПДК должна составлять не более  $1 \text{ мг/м}^3$ .

Мероприятия по обеспечению безопасности труда при пылевыведении прописаны в ГОСТ Р 55175-2012 «Методы контроля запыленности». Как правило, с целью снижения уровня загазованности и запыленности в помещении часто устанавливают вытяжные системы. Одно из решения проблем установка системы приточно-вытяжной вентиляции, которая работает постоянно во всех помещениях [49].



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

Недостаточный уровень освещенности во время работы может вызывать зрительный дискомфорт, проявляющийся в ощущении напряжения в глазах. При продолжительном пребывании в условиях зрительного дискомфорта отмечается нарушение концентрации внимания, возможны зрительное и общее утомление. Кроме того, свет оказывает на человека психологическое и физиологическое воздействие. Недостаточное освещение на рабочем месте может стать причиной снижения производительности, повышения риска получения травм, а также снижения качества работы. Поэтому, важно обеспечивать на рабочем месте достаточный уровень освещенности для поддержания зрительного комфорта и повышения эффективности труда.

Нормы искусственного освещения представлены в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [50]. Нормы искусственного освещения приведены в таблице 29. Помещение должно иметь естественное освещение. В тех случаях, когда одного естественного освещения не хватает, устанавливается совмещенное освещение. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Следует отметить, рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также для участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон [50].

Таблица 29 – Нормативные показатели освещения помещения

| Помещение   | Освещение рабочих поверхностей, лк |                     | Коэффициент пульсации освещенности, % не более |
|-------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|
|             | При комбинированном освещении      | При общем освещении |                                                |
| Лаборатория | 750                                | 300                 | 10                                             |

### 7.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты. В данной АСУ источником шума является компрессор и насос. Предельно допустимый уровень шума на рабочих местах регламентирован документом. Согласно п.6 «Нормы допустимого шума», СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003, в таблице 30 указаны допустимые уровни шума. Стоит отметить, если уровень шума больше 85-90 дБА то, чувствительность слуха снижается. Так как сильный шум может отрицательно сказаться на работоспособность и здоровье людей. Следует отметить, люди, работающие в условиях шума, могут привыкнуть к нему, однако длительное воздействие сильного шума приводит к общему утомлению и ухудшение слуха.

Для защиты от шума используется:

- применение шумобезопасной техники;
- применение средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029;
- применение средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.5.051[51]

Таблица 30 – Предельно допустимые уровни звука

| Назначение помещений | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |    |     |     |     |      |      |      | Уровень звука, дБА | Макс. уровень звука, дБА |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|--------------------|--------------------------|
|                      | 31,5                                                                                     | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 8000 |                    |                          |
| Лаборатория          | 93                                                                                       | 79 | 70  | 63  | 58  | 55   | 52   | 49   | 60                 | 75                       |

#### 7.2.4 Повышенная концентрация СО в помещении

В системах топливоподачи, основанных «топливо-воздух» важно контролировать правильное соотношение топлива и воздуха. Так как это может вызвать к неполному сгоранию топлива, из-за недостаточной подачи кислорода. Неполное сжигание топлива может привести к ухудшению экологической ситуации и повышению выбросов вредных веществ в окружающую среду, таких как оксид азота (NO) и оксид углерода (CO). Оксид углерода – одно из наиболее опасных веществ на производстве. Вдыхая угарный газ, человек запускает в своём организме необратимый механизм: поступая через лёгкие, оксид углерода попадает в кровь и вступает в реакцию с гемоглобином. Результат такого эффекта на организм может быть трагическим: кровоизлияние в мозг, удушье, нарушение работы клеток мозга и нервных окончаний, а также может вызвать летальный исход специалиста на рабочем месте [52]. Поэтому важно контролировать содержание угарного газа. В ГОСТ 12.1.005-88 прописаны (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Так при длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч, предельно допустимая концентрация оксида углерода может составляет до 50 мг/куб. м, при длительности работы не более 30 мин. – до 100 мг/куб. м, при длительности работы не более 15 мин. - 200 мг/куб. м [53]. В ГОСТ 12.1.005-88 прописан контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Также в ГОСТ 12.1.016-79 прописаны требования к методикам измерения концентраций вредных веществ. При

обнаружении в помещении угарного газа используются средства защиты органов дыхания. В ГОСТ 12.4.235— 2019 прописаны средства защиты органов дыхания.

### 7.2.5 Длительное сосредоточенное наблюдение

Технологический процесс является непрерывным, поэтому оператору АСУ необходимо быстро отслеживать различные изменения в системе. Вследствие чего может возникнуть перенапряжение зрительных органов. Нормы, которые описывают работу при активном наблюдении, закреплены в СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [54]. В таблице 31 представлены допустимое число объектов для наблюдения, а также число повторяющихся операций за одну смену.

Таблица 31 – Допустимые величины психофизиологических производственных факторов

| Факторы трудового процесса                                      | Допустимые   |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
|                                                                 | Женщины      | Мужчины      |
| Длительность сосредоточенного наблюдения (% от времени смены)   | От 26 до 50  | От 26 до 50  |
| Число объектов наблюдения                                       | От 6 до 10   | От 6 до 10   |
| Плотность сигналов (световых, звуковых) в среднем за час работы | От 76 до 175 | От 76 до 175 |
| Число элементов или повторяющихся операций                      | От 9 до 6    | От 9 до 6    |

### **7.2.6 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

При проведении производственных обязанностей инженер-оператор работает с электрическими объектами, такими как компьютер, аккумулятор, электрические кабели от средств автоматизации. Вышеперечисленное оборудование в работе имеет ток 4-20 мА и напряжение 220В или 24В. При выполнении работ с данным оборудованием необходимо придерживаться правил, прописанных в ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [55].

Важно понимать, что при прикосновении человека с токоведущими частями может произойти поражение электрическим током. В результате воздействия электрического тока на человека является остановка дыхания, сердцебиения, кровообращения, потеря сознания, ожоговые повреждения кожи и слизистых в местах входа и выхода электрического разряда, поражение нервной системы. В зависимости от рода тока существуют нормированные значения напряжений прикосновения и токов, приведенные в таблице 32.

Таблица 32 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

| Род тока           | U, В     | I, мА |
|--------------------|----------|-------|
|                    | Не более |       |
| Переменный, 50 Гц  | 2,0      | 0,3   |
| Переменный, 400 Гц | 3,0      | 0,4   |
| Постоянный         | 8,0      | 1,0   |

### **7.3 Экологическая безопасность**

#### **7.3.1 Воздействие на литосферу**

При сжигании угля и суспензионных топлив выделившиеся твердые частицы, содержащиеся в топливе, при утечке, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Установлено в [4] использование ВУТ снижает содержание твердых частиц по сравнению с углем. Также одним из преимуществ использования ВУТ является устранение образования летучей золы. Однако для предотвращения опасного источника загрязнения необходима своевременная утилизация отходов.

#### **7.3.2 Воздействие на гидросферу**

Котлы используют воду из близлежащих водоемов для нагрева топлива. Перед тем как сбросить воду обратно в водоем происходит охлаждение и очищение вредных веществ, таких как карбонат кальция, гидроксид магния, грубодисперсные вещества, соединения железа (Fe) и алюминия (Al). В [56] в приложении N5 прописаны максимальные допустимые значения и концентрации (МДК) загрязняющих веществ в сточных водах. Например, для соединений Fe и Al МДК составляет 5 мг/дм<sup>3</sup>.

Для очистки сточных вод применяют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку и биохимическую очистку. Для снижения повышенного расхода питательной воды на подогрев топлива необходимо регулировать температуру топлива подогревом электронагревателем.

#### **7.3.3 Воздействие на атмосферу**

В процессе сжигания угля происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара. Одним из способов снижения вредных

выбросов — это использование ВУТ в качестве основного топлива [10]. В [57] представлены результаты испытания котла работающий на ВУТ. Результаты показали снижение выбросов CO, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>. В таблице 6 приведены результаты выбросов вредных веществ. Для сравнения ПДК значение были использованы с госта ГОСТ P55173- 2012.

Таблица 33 – Состав и количество вредных выбросов

| Наименование показателя                                       | ПДК, мг/м <sup>3</sup> | ВУТ, мг/м <sup>3</sup> |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| CO                                                            | 375                    | не более 75            |
| NO <sub>x</sub>                                               | 300                    | не более 250           |
| SO <sub>2</sub>                                               | 1200                   | не более 200           |
| *нормативы удельных выбросов в атмосферу (ГОСТ P55173 - 2012) |                        |                        |

Интенсивное использование водоугольных топлив может стать основой для эффективной замены капиталоемких и невозобновляемых экологически чистых природных энергоресурсов (природного газа и нефти) на многих тепловых и электрических станциях с минимальными материальными затратами и с поддержанием на требуемом уровне антропогенных выбросов.

## 7.4 Безопасность в ЧС

Чрезвычайная ситуация — это сложившаяся на определенной территории обстановка, вызванная аварией, природным катастрофическим явлением, стихийным бедствием или другими причинами, которая может привести или уже привела к гибели людей, ущербу для здоровья людей и окружающей среды, значительным материальным потерям и нарушению жизненно важных условий.

#### **7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

При сжигании водоугольной суспензии возможно возникновение чрезвычайных ситуаций: возгорания, пожары, взрывы. Самые распространённые ЧС – возгорание ВУТ, взрыв. Техногенные аварии могут возникнуть в случае неправильного обращения с оборудованием. Данные ситуации исключаются проведением внеплановых инструктажей.

При несоблюдении норм пожарной безопасности в производственных помещениях и в лабораториях наиболее типичной чрезвычайной ситуацией представляет возникновение возгорания топлива. Как правило возгорание водоугольной суспензии или угольной пыли в элементах системы приготовление топлива может привести к взрывам и пожарам. Также, самовоспламенение происходит при воздействии высокого давления, которое может нагнетаться в системах транспортировки и насосном оборудовании. Поэтому необходимо контролировать состояние емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них. Так как сигналом возгорания являются повышение температуры и появление характерного запаха. Предотвратить возгорание топлива можно только при соблюдении правил и требования пожарной безопасности согласно госту ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [58].

Основные правила и требования пожарной безопасности:

- применение средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;



- организацией с помощью технических средств, включая автоматические, своевременного оповещения и эвакуации людей;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара

Для предотвращения таких ситуаций следующие противопожарные мероприятия:

- помещение оборудуется средствами тушения пожара;
- каждый сотрудник знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения.

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

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" определена категория помещения – В(пожароопасность). Необходимое количество и типы огнетушителей для данного объекта согласно [59] приведены в таблице 7.

Таблица 34 – Нормы оснащения помещения огнетушителями

| Класс пожара | Огнетушители    |            |            |               |
|--------------|-----------------|------------|------------|---------------|
|              | Пенные и водные | Порошковые | Хладоновые | Углекислотные |
| В            | -               | 2          | -          | -             |

## Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, экологическая безопасность, безопасность при ЧС. Значимость данного раздела заключается в знании и соблюдении норм и правил, соблюдая которые эксплуатация АСУ параметров распыления суспензионного топлива не будет подвергать опасности окружающую среду и людей.

Помещение по электробезопасности, согласно ПУЭ, относится к помещению с повышенной опасностью, характеризующимся наличием токопроводящего пола [60].

Раздел «Социальная ответственность» направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий и их минимизация, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

Согласно [61] анализ показал, что оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III группой осуществляется на работу с сетями до и выше 1000В, а также дает право самостоятельного обслуживания, осмотра, подключения и отключения оборудования. Тяжесть труда, согласно СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится к категории 1б.

По степени пожароопасности помещения относятся к категории «В3», согласно СП 12.13130.2009 [62]. Следовательно, существует необходимость тщательного подбора персонала, хорошо знающие оборудование и правила мер безопасности. Также существует необходимость в дополнительных средствах тушения, например, пенообразователь. Также, согласно [63], данный объект относится к объектам II категории, оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду.

## **Заключение**

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система управления параметрами распыления суспензионного топлива

Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает в себя датчики измерения давления, расхода для топлива и воздуха, а также трехходовые клапаны, частотные преобразователи и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается щит автоматизации с находящимся в нем контроллер Элси ТМК. На верхнем уровне – АРМ оператора.

В ходе выполнения дипломного проекта разработан комплект схемной и конструкторской документации: схема структурная, схема функциональная, схема электрическая соединений, схема монтажная, общий вид щита, заказная спецификация и перечень элементов.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки схемной и конструкторской документации. Кроме того, выполнен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества переходного процесса по каналу задания, разработана мнемосхема данной АСУ, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

## Список использованных источников

1. Munawer M. E. Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes //Journal of Sustainable Mining. – 2018. – Т. 17. – №. 2. – С. 87-96.
2. Никитин А. Д., Няшина Г.С., Рыжков А.Ф. Антропогенные выбросы при сжигании композитных видов топлива на основе угля //Наука о общей окружающей среде. – 2021. – Т. 772. – С. 144909.
3. Zheng J. et al. Characteristics of particle size and velocity of droplets of coal water slurry subjected to air-blast electrostatic atomization using a phase Doppler particle analyzer //Journal of Electrostatics. – 2019. – Т. 98. – С. 40-48.
4. Дмитриенко М. А., Няшина Г. С., Шлегель Н. Е., Шевырев С. А. Снижение антропогенных выбросов при сжигании углей и отходов их переработки в качестве компонентов органоводоугольных суспензий // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №3-4.
5. International Energy Outlook with projections to 2040. Washington: U.S. Energy Information Administration, 2013. 234 p. <http://www.eia.gov>
6. Key World Energy Statistics. 2014. Paris: International Energy Agency, 2014. 81 p. <http://www.iea.org>
7. Hu F. et al. Experimental investigation on co-firing residual char and pulverized coal under MILD combustion using low-temperature preheating air //Energy. – 2022. – Т. 244. – С. 122574.
8. Ma J. et al. Fate of fuel-nitrogen during in situ gasification chemical looping combustion of coal //Fuel Processing Technology. – 2021. – Т. 215. – С. 106710.
9. Franco A., Diaz A. R. The future challenges for “clean coal technologies”: Joining efficiency increase and pollutant emission control //Energy. – 2009. – Т. 34. – №. 3. – С. 348-354.
10. G.V. Kuznetsov, N.E. Shlegel, Ya Solomatin, P.A. Strizhak, Combined

- techniques of secondary atomization of multi-component droplets // Chem. Eng. Sci., 209 (2019), p. 115199.
- 11.V. Salomatov, G. Kuznetsov, S. Syrodoy, N. Gutareva, Mathematical and physical modeling of the coal-water coal–water fuel particle ignition with a liquid film on the surface, Energy Reports. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.006>.
  - 12.V. Salomatov, G. Kuznetsov, S. Syrodoy, N. Gutareva, Effect of high-temperature gas flow on ignition of the water-coal fuel particles, Combust. Flame. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.02.025>.
  - 13.V.A. Pinchuk, T.A. Sharabura, A. V. Kuzmin, The effect of water phase content in coal-water fuel on regularities of the fuel ignition and combustion, Fuel Process. Technol. (2019).
  - 14.I.S. Anufriev, E.P. Kopyev, Diesel fuel combustion by spraying in a superheated steam jet, Fuel Process. Technol. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.04.027>.
  - 15.Á. Muelas, M.S. Callén, R. Murillo, J. Ballester, Production and droplet combustion characteristics of waste tire pyrolysis oil, Fuel Process. Technol. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106149>.
  - 16.G. V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, T.R. Valiullin, R.S. Volkov, Atomization behavior of composite liquid fuels based on typical coal processing wastes, Fuel Process. Technol. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107037>.
  - 17.E.Y. Shadrin, I.S. Anufriev, E.B. Butakov, E.P. Kopyev, S. V. Alekseenko, L.I. Maltsev, O. V. Sharypov, Coal-water slurry atomization in a new pneumatic nozzle and combustion in a low-power industrial burner, Fuel. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121182>.
  - 18.S.G. Daviault, O.B. Ramadan, E.A. Matida, P.M. Hughes, R. Hughes, Atomization performance of petroleum coke and coal water slurries from a twin fluid atomizer, Fuel. (2012). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.02.042>.
  - 19.D.V. Gvozdyakov, A.V. Zenkov, A.Z. Kaltaev, Characteristics of spraying and ignition of coal-water fuels based on lignite and liquid pyrolysis products

- of wood waste, Energy. 257 (2022) 124813.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124813>.
- 20.S.C. Tsai, T. Vu, Atomization of coal-water slurry using twin-fluid jet atomizer, Fuel. (1987). [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(87\)90026-3](https://doi.org/10.1016/0016-2361(87)90026-3).
- 21.Y. Zhao, X. He, M. Li, K. Yao, Experimental investigation on spray characteristics of aircraft kerosene with an external-mixing atomizer, Fuel Process. Technol. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106531>.
- 22.S.K. Das, K. Kim, O. Lim, Experimental study on non-vaporizing spray characteristics of biodiesel-blended gasoline fuel in a constant volume chamber, Fuel Process. Technol. (2018).  
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.05.009>.
- 23.Alekseenko S. V. et al. Implementation of a three-stage scheme for the co-combustion of pulverized coal and coal-water slurry in an industrial boiler to reduce NO<sub>x</sub> emissions //Process Safety and Environmental Protection. – 2023. – T. 169. – C. 313-327.
- 24.Dmitrienko M.A., Strizhak P. A. Coal-water slurries containing petrochemicals to solve problems of air pollution by coal thermal power stations and boiler plants: An introductory review // Science of the Total Environment. 2018. V/ 613-614. P. 1117–1129.
- 25.Dmitrienko M.A., Strizhak P.A., Tsygankova Yu.S. Technoeconomic analysis of prospects of use of organic coal-water fuels of various component compositions // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. V. 53 (3–4). P. 195–202.
- 26.Гвоздяков Д.В., Зенков А.В., Губин В.Е., Ведяшкин М.В.. К вопросу об исследовании структуры потока водоугольного топлива в процессе его пневмомеханического распыла // Вестник Южно-уральского государственного университета. 2018. Т. 18 (4). С. 5-12.
- 27.Васин В. М. Электрический привод. - М.: Высшая школа, 1984. - 231 с.
28. Руководство по эксплуатации. [Электронный курс.] – Режим доступа:  
<https://msk.pnevmo->

- [sklad.ru/upload/file/instruction/Инструкция%20ЧКЗ%20на%20ДЭН-4Ш,%20ДЭН-5,5Ш,%20%20ДЭН-7,5Ш,%20%20ДЭН-11Ш.pdf](http://sklad.ru/upload/file/instruction/Инструкция%20ЧКЗ%20на%20ДЭН-4Ш,%20ДЭН-5,5Ш,%20%20ДЭН-7,5Ш,%20%20ДЭН-11Ш.pdf)  
свободный. – Загл. с экрана.
29. Юдин Е. Шестеренные насосы. – Рипол Классик, 2013.
30. В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, О. С. Смирнова Топливо и теория горения- учебное пособие часть 2, 2011. -142 с.
31. А. В. Волощенко, Д. Б. Горбунов Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования – учебное пособие, 2008. – 109 с.
32. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj\\_rashodomer](https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj_rashodomer) свободный. – Загл. с экрана.
33. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://emis-kip.ru/upload/iblock/472/11i5qf2wd4dmmux0yix5w8o101fpvp34/EV200-RE-chast-1-v1.1.5.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
34. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.elemer.ru/upload/iblock/e4b/9z93bre12arty3f1vevu7vhm30505qpo/re\\_sapfir\\_22em.pdf](https://www.elemer.ru/upload/iblock/e4b/9z93bre12arty3f1vevu7vhm30505qpo/re_sapfir_22em.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
35. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://adl.ru/files/f3b072a7-e9b6-11e5-8787-001f296a5bc2/trexxodovoj-reguliruyushhij-klapan-KM307f-317f.pdf> свободный. – Загл. с экрана.
36. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://zenova.ru/uploads/attachment/1764/Инструкция-Zenova-KCB-A-24\\_04\\_23.pdf](https://zenova.ru/uploads/attachment/1764/Инструкция-Zenova-KCB-A-24_04_23.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
37. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. - Режим доступа <https://www.chkz.ru/catalog/screw-compressors/elektricheskie/den-standart/> свободный. – Загл. с экрана.
38. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://www.td-electroprivod.ru/files/330/e4-8400-preobr\\_re.pdf](https://www.td-electroprivod.ru/files/330/e4-8400-preobr_re.pdf)

свободный. – Загл. с экрана.

- 39.РМ4-6-84 «Проектирование электрических и трубных проводок систем автоматизации. Часть I. Электрические проводки»
- 40.ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
- 41.ГОСТ 21.408-2013 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов, 2014
- 42.Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. Изд. 2-е, перераб. М.: Энергия, 1972.- 376 с.
- 43.Андык В.С. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000, 2004, 2005. – 108 с.
- 44.Пинаев В. Е. Состояние и проблемы использования промышленных твердых отходов в России //Исследовано в России. – 2004. – Т. 7. – С. 1397-1433.
- 45.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.
- 46.ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя.
- 47.ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места.
- 48.ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
- 49.ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р 55175-2012 Методы контроля запыленности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200096585?ysclid=lh80wpm9na355254098>, свободный. – Загл. с экрана.
50. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
51. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум.



- 52.Куленцан А. Л., Марчук Н. А. Анализ воздействия на человека и окружающую среду загрязняющих веществ //Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2022. – Т. 65. – №. 1. – С. 116-121.
- 53.ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
- 54.Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
- 55.ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 56.Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации"
- 57.Мурко В.И., Хямяляйнен В.А., Волков М.А., Баранова М.П. Возможности и перспективы реализации отходов технологии обогащения углей // ГИАБ. 2019. №6.
- 58.ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
- 59.Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 года N 2398, «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».
- 60.Правила устройства электроустановок (ПУЭ), приказ от 8 июля 2002 г.N 204.
- 61.Приказ Минтруда и социальной защиты РФ от 15 декабря 2020 года N 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».

- 62.СП (своды правил) 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
- 63.Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 года N 1479, «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации».