

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 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы                                                   |
|---------------------------------------------------------------|
| АСУ ТП приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива |

УДК 681.51:66.069.832

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5БМ03  | Филиппов Евгений Викторович |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность                   | ФИО                             | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент НОЦ И.Н.<br>Бутакова | Пискунов Максим<br>Владимирович | к.ф.-м.н.                 |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность               | ФИО                       | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП<br>ТПУ | Спицына Любовь<br>Юрьевна | к.э.н.                    |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность         | ФИО                         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ООД ТПУ | Сечин Александр<br>Иванович | д.т.н.                    |         |      |

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель профиля ООП      | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор НОЦ<br>И.Н.Бутакова | Стрижак Павел<br>Александрович | д.ф.-м.н.,<br>профессор   |         |      |

**Планируемые результаты выпускника освоения образовательной программы  
магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

| <b>Код компетенции</b>                  | <b>Наименование компетенции</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Универсальные компетенции</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>УК(У)-1</b>                          | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>УК(У)-2</b>                          | Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>УК(У)-3</b>                          | Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>УК(У)-4</b>                          | Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>УК(У)-5</b>                          | Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>УК(У)-6</b>                          | Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>ОПК(У)-1</b>                         | Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>ОПК(У)-2</b>                         | Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Профессиональные компетенции</b>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>ПК(У)-1</b>                          | Способен использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации                                                                       |
| <b>ПК(У)-2</b>                          | Способен разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>ПК(У)-3</b>                          | Способен интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования                                                                                                      |
| <b>ПК(У)-4</b>                          | Способен применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ                                                                                                                                                        |
| <b>ПК(У)-5</b>                          | Способен применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения                                                                                                                                                                                            |
| <b>ПК(У)-6</b>                          | Способен проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований |
| <b>ПК(У)-7</b>                          | Способен руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений                                                                                              |
| <b>ПК(У)-8</b>                          | Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий                                                                                                                                                                                                                                                    |

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 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель профиля  
 П.А. Стрижак

(Подпись)

(Дата)

### **ЗАДАНИЕ** **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 5БМ03  | Филиппову Евгению Викторовичу |

Тема работы:

|                                                               |                       |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
| АСУ ТП приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива |                       |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                   | 03.02.2022, № 34-66/с |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 06.05.2022 |
|------------------------------------------|------------|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Исходные данные к работе | <p>Объектом проектирования является испытательный стенд. Производимое топливо – гелеобразное топливо, приготовленное на основе масла, поливинилового спирта и дистиллированной воды.</p> <p>При разработке системы регулирования процессом приготовления топлива предусмотреть использование современных микропроцессорных технических средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров и дистанционного управления системой.</p> |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | 1 Научно-исследовательская работа<br>2 Проектирование АСР процессом приготовления гелеобразного топлива<br>3 Разработка щита управления.<br>4 Расчет параметров настройки регулятора.<br>5 Разработка мнемосхемы проекта.<br>6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.<br>7 Социальная ответственность |
| <b>Перечень графического материала</b>                                        | 1 Схемы структурная.<br>2 Схема функциональная.<br>3 Электрическая схема соединений щита управления.<br>4 Схема монтажная.<br>5 Общий вид щита управления.                                                                                                                                                                      |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Раздел</b>                                                                 | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение               | Спицына Любовь Юрьевна                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Социальная ответственность                                                    | Сечин Александр Иванович                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Иностранный язык                                                              | Пташкин Александр Сергеевич                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 07.02.2022 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность                | ФИО                          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент НОЦ И.Н. Бутакова | Пискунов Максим Владимирович | к.ф.-м.н.              |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5БМ03  | Филиппов Евгений Викторович |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 98 страниц, 14 рисунков, 23 таблицы, 18 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, приготовление топлива, микроэмульсия, многокомпонентное гелеобразное топливо, альтернативное топливо, термодинамическая стабильность.

Объектом исследования является многокомпонентное гелеобразное топливо. Технологическим объектом регулирования является холодильная камера.

Цель работы - разработать автоматическую систему управления приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива. В процессе работы выполнен выбор оборудования системы автоматизации, разработка схемной документации и проведены экспериментальные исследования свойств гелеобразного топлива в изменяющихся температурных условиях.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) разработана система управления приготовления гелеобразного топлива, а также исследованы температурные диапазоны.

Преимуществом разработанной системы является специально спроектированный программно-оперативный комплекс на базе SCADA-системы, который позволяет распределить функции между автоматической системой и оперативным персоналом. Такое решение позволяет повысить качество управления технологическим процессом, а также положительно влияет на безопасность производства.

В процессе работы использовались современные программные продукты MasterSCADA, Codesys, Компас 3D, Mathcad, Microsoft Office.

## Оглавление

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                                     | 9  |
| 1 Приготовление топлива .....                                                                                                                      | 11 |
| 2 Анализ объекта автоматизации .....                                                                                                               | 14 |
| 3 Разработка структуры автоматической системы регулирования (АСР).....                                                                             | 15 |
| 3.1 Разработка функциональной схемы .....                                                                                                          | 17 |
| 3.2 Технические средства и составление спецификации .....                                                                                          | 18 |
| 3.3 Разработка монтажной схемы .....                                                                                                               | 19 |
| 3.4 Выбор исполнительного механизма .....                                                                                                          | 21 |
| 3.5 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления ....                                                                             | 22 |
| 3.6 Разработка перечня элементов щита управления .....                                                                                             | 24 |
| 3.7 Разработка общего вида щита управления .....                                                                                                   | 24 |
| 4 Расчет параметров настройки ПИ-регулятора.....                                                                                                   | 25 |
| 4.1 Идентификация объекта управления.....                                                                                                          | 26 |
| 4.2 Расчёт и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией.....                         | 27 |
| 4.3 Определение оптимальных параметров настройки регулятора .....                                                                                  | 30 |
| 4.4 Определение оптимальных параметров настройки ПИ – регулятора .....                                                                             | 32 |
| 4.5 Расчёт, построение и оценка качества переходных процессов в замкнутой АСР при возмущении $f$ , идущем по каналу возмущающего воздействия ..... | 33 |
| 4.6 Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия .....                                                                       | 33 |
| 4.7 Оценка качества регулирования .....                                                                                                            | 36 |
| 4.8 Переходный процесс при возмущении $f$ , идущем по каналу возмущающего воздействия .....                                                        | 37 |
| 5 Мнемосхема технологического процесса .....                                                                                                       | 41 |
| 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ....                                                                             | 46 |
| 6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....                                                                                        | 46 |
| 6.2 Анализ конкурентных технических решений .....                                                                                                  | 47 |
| 6.3 SWOT-анализ .....                                                                                                                              | 49 |
| 6.4 Планирование научно – исследовательской работы.....                                                                                            | 50 |
| 6.4.1 Структура работ.....                                                                                                                         | 50 |
| 6.4.2 Разработка графика проведения научно-технического исследования.....                                                                          | 52 |
| 6.5 Бюджет научно-технического исследования.....                                                                                                   | 56 |

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.5.1 Расчет материальных затрат.....                                                                                                                  | 56 |
| 6.5.2 Расчет затрат на заработную плату.....                                                                                                           | 57 |
| 6.5.3 Расчет затрат на социальный налог .....                                                                                                          | 58 |
| 6.5.4 Расчет затрат на электроэнергию.....                                                                                                             | 58 |
| 6.5.5 Расчет амортизационных расходов.....                                                                                                             | 59 |
| 6.5.6 Расчет прочих расходов .....                                                                                                                     | 60 |
| 6.5.7 Расчет общей себестоимости разработки.....                                                                                                       | 60 |
| 6.5.8 Расчет прибыли.....                                                                                                                              | 61 |
| 6.5.9 Расчет НДС.....                                                                                                                                  | 61 |
| 6.5.9.1 Цена разработки проекта.....                                                                                                                   | 61 |
| 6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....                     | 61 |
| Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» .....                                                               | 62 |
| 7 Социальная ответственность .....                                                                                                                     | 66 |
| 7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....                                                                                  | 66 |
| 7.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....                                          | 66 |
| 7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....                                                                                    | 68 |
| 7.2 Производственная безопасность. ....                                                                                                                | 69 |
| 7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....                                                               | 69 |
| 7.2.2 Отклонение параметров микроклимата .....                                                                                                         | 70 |
| 7.2.3 Расчёт искусственного освещения.....                                                                                                             | 71 |
| 7.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений .....                                                                                              | 74 |
| 7.2.5 Повышенный уровень шума.....                                                                                                                     | 75 |
| 7.2.6 Поражение электрическим током .....                                                                                                              | 75 |
| 7.2.7 Повышенная температура поверхностей оборудования материалов .....                                                                                | 77 |
| 7.2.8 Движущиеся части машин и механизмов .....                                                                                                        | 77 |
| 7.2.9 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя от действий опасных и вредных факторов ..... | 78 |
| 7.3 Экологическая безопасность .....                                                                                                                   | 79 |
| 7.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....                                                                                     | 79 |
| 7.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....                                                                                    | 79 |
| 7.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....                                                                                          | 80 |

|                                                                                                                    |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....                                                                    | 80                                    |
| 7.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект.....                                                  | 81                                    |
| 7.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при<br>проведении исследований.....              | 81                                    |
| 7.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка<br>действия в случае возникновения ЧС..... | 82                                    |
| Выводы по разделу «Социальная ответственность» .....                                                               | 82                                    |
| Заключение.....                                                                                                    | 84                                    |
| Список использованных источников.....                                                                              | 85                                    |
| Приложение А.....                                                                                                  | 87                                    |
| Графический материал:                                                                                              | на отдельных листах                   |
| ФЮРА.421000.006 С1                                                                                                 | Схема структурная                     |
| ФЮРА.421000.006 С2                                                                                                 | Схема функциональная                  |
| ФЮРА.421000.006 Э4                                                                                                 | Схема принципиальная электрическая    |
| ФЮРА.421000.006 С4                                                                                                 | Схема монтажная                       |
| ФЮРА.421000.006 ВО                                                                                                 | Общий вид щита автоматизации          |
| ФЮРА.421000.006 ПЭ                                                                                                 | Перечень элементов щита автоматизации |

## Введение

В настоящее время исследователи топливных технологий занимаются решением наиболее значимой группы проблем. В частности, проводятся исследования, связанные с созданием технологии, способствующей минимизации расхода топлива, увеличению эффективности использования, а также повышению динамики процесса горения, снижению антропогенных выбросов в результате горения топлива, повышению полноты сгорания топлива, улучшения качества получаемого топлива в процессе изготовления, и в то же время уменьшению экономических затрат на производство [1–3].

Одним из путей решения данных проблем является использование микроэмульгированных / эмульгированных топлив. [4].

В результате исследований было выявлено, что вода, содержащаяся в виде капель (от 5 до 20 нм) в микроэмульсии, улучшает характеристики протекающих процессов зажигания и горения топлива во многих аспектах за счет явлений микровзрывного разрушения [9], улучшая экологические и энергетические характеристики топлива. Исследованы многочисленные варианты водосодержащих топливных эмульсий, которые оказывают различное влияние на работу двигателя внутреннего сгорания [9–10]. Однако наиболее важным преимуществом микроэмульгированных топлив является снижение их негативного экологического воздействия на окружающую среду [11].

Наиболее важной характеристикой эмульгированного топлива является его стабильность. Основной задачей на практике является обеспечение стабильного состояния эмульсии в долгосрочной перспективе для исключения разделения фаз топлива при его использовании в двигателях. Одним из возможных путей достижения термодинамической стабильности двухфазного топлива может быть применение микроэмульсий [5–7].

При приготовлении эмульсий в заводских условиях применяют следующие методы:

- 1) метод смешения;
- 2) цикл *замораживания / оттаивания*;

Целью выпускной квалификационной работы является разработка автоматической системы управления приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива.

Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи

1. Провести анализ объекта, определить структуру системы управления.
2. Выбрать оборудование и провести анализ первичных преобразователей.
3. Разработать мнемосхему SCADA - системы автоматизированной системы управления в программной среде

## 1 Приготовление топлива

Для приготовления маслонаполненных криогелей использовали распространенные достаточно типичные компоненты: (i) дисперсионная среда – водные растворы; ПВС – поливиниловый спирт; (ii) дисперсная фаза – масло промышленное И-40А, его характеристики приведены в табл. 1; (iii) эмульгатор.

Таблица - 1.1 Основные характеристики масла И-40А

| Характеристика                         | Значение         |
|----------------------------------------|------------------|
| Кинематическая вязкость при 40 °С, сСт | 61–75            |
| Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> | не более 900     |
| Влажность, % масс.                     | trace            |
| Зольность, % масс.                     | не более 0.005   |
| Pour point, °С                         | не выше минус 15 |
| Flash point (open cup), °С             | не ниже 220      |

Процесс приготовления топлива и подготовки его образцов (в виде частиц) к проведению экспериментов состоял из трех основных этапов (рис. 1.1). На первом этапе приготовления реализовывался процесс растворения порошка ПВС (Kuraray Poval 15-99, вязкость 4% (DIN 53015) 13.4 мПа с, степень гидролиза 99.2%, содержание остаточного ацетила 0.8% (Kuraray Co., Ltd, Япония)) в воде с проводимостью не более 5 мкСм/см при температуре 80 °С. Для интенсификации процесса растворения порошка использовалась лопастная мешалка ES-8300 D (Экрос, Russia) с частотой вращения 500 об./мин. В результате описанной процедуры было получено два образца водного раствора ПВС с массовыми концентрациями последнего 5% и 10%.

На втором этапе в приготовленный водный раствор ПВС добавлялось промышленное масло И-40. Для повышения стабильности эмульсий, обеспечивающей однородность структуры криогеля, применяли эмульгатор

(ПАВ, англ. - SAS). Сначала в водном растворе ПВС растворяли эмульгатор. Далее эмульсии получали механическим диспергированием масла в водной фазе путем перемешивания компонентов при температуре окружающей среды с помощью высокоскоростной цифровой мешалки GJ-3S (Qingdao ChuangMeng Instrument Co., Ltd., China) при частоте вращения вала 11000 об./мин. В процессе диспергирования в подготовленный раствор ПВС с эмульгатором небольшими порциями (10–15% от общего объема) вводили масло. Каждую следующую порцию масла вводили после полного эмульгирования предыдущей порции. После введения последней порции масла и его эмульгирования перемешивание продолжали еще 10 мин. Для подтверждения типа эмульсии все подготовленные образцы были испытаны с использованием теста на разбавление (или теста на каплю эмульсии).

На третьем этапе формировалась гелеобразная структура топлива. Приготовленные эмульсия и суспензии разливались по емкостям диаметром и высотой по 20 мм. После реализации цикла замораживания/оттаивания при температурах минус 15 °С и плюс 20 °С топливо переходило из жидкого в гелеобразное состояние. Каждый этап цикла замораживания/оттаивания протекал не менее 12 часов.

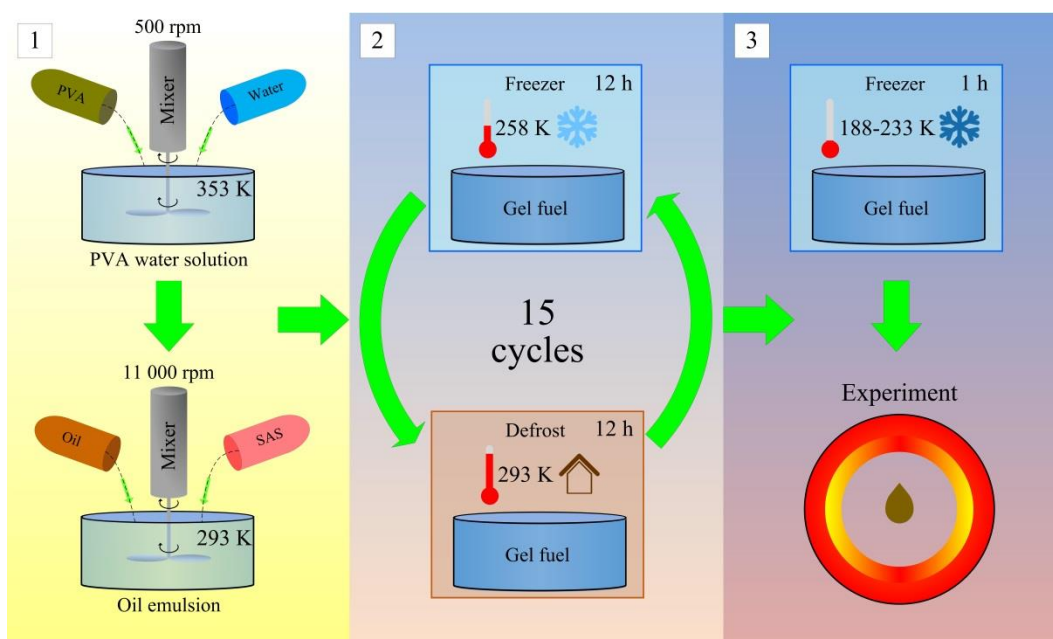


Рисунок - 1.1 Схема приготовления маслонаполненных криогелей и подготовки образцов гелеобразного топлива к проведению экспериментов

Таблица - 1.2 Составы топливных композиций

| No.<br>состава | Концентрации компонентов, % об.   |                                    |                |     |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------|-----|
|                | Водный<br>раствор ПВС<br>5% масс. | Водный<br>раствор ПВС<br>10% масс. | Масло<br>И-40А | ПАВ |
| 1              | 100                               | —                                  | 0              | —   |
| 2              | 78                                | —                                  | 20             | 2   |
| 3              | 58                                | —                                  | 40             | 2   |
| 4              | 48                                | —                                  | 50             | 2   |
| 5              | 38                                | —                                  | 60             | 2   |
| 6              | 18                                | —                                  | 80             | 2   |
| 7              | —                                 | 100                                | 0              | —   |
| 8              | —                                 | 78                                 | 20             | 2   |
| 9              | —                                 | 58                                 | 40             | 2   |
| 10             | —                                 | 48                                 | 50             | 2   |
| 11             | —                                 | 38                                 | 60             | 2   |
| 12             | —                                 | 18                                 | 80             | 2   |
| 13             | —                                 | —                                  | 100            | —   |



No. 2 (20 % об. масла)

No. 4 (50 % об. масла)

No. 6 (80 % об. масла)

Рисунок -1.2 Внешний вид пеллет из маслонаполненных криогелей на основе 5%-ного водного раствора ПВС

При выполнении экспериментов были определены составы топлив, которые могут быть использованы на практике, а именно концентрация загустителя 50 % и концентрация масла 50 %, также определены

температурные режимы, при которых получаются эти топлива. Топливо необходимо замораживать при температуре минус 15 °С, затем прогревать при температуре 20 °С, повторять эти циклы нужно не менее 15 раз. В дальнейшем эти результаты будут использоваться для настройки режимов работы данной системы регулирования.

## 2 Анализ объекта автоматизации

В данной работе представлена автоматическая система приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива. Система состоит из двух хранилищ. В первом хранилище расположено жидкое топливо (масло И-40), во втором хранилище располагаются смешанные компоненты дистиллированной воды и поливинилового спирта. Далее эти компоненты перекачиваются насосами по трубопроводу в емкость, где происходит смешивание компонентов из первого и второго хранилища при помощи смешивающего устройства по типу вертикальной приводной мешалки при высокой частоте оборотов порядка 11000 об./мин. В соответствии с результатами, которые были получены в результате экспериментов компоненты подаются в определенных пропорциях. Варианты взятых концентраций компонентов в экспериментах представлены в таблице 1.2. При постоянной частоте оборотов расход регулируется методом дросселирования путем изменения выходного сечения регулирующего клапана. После получения однородной эмульсии она насосом перекачивается в емкость, в которой происходит формирования топливных пеллет. Они находятся в морозильной камере, затем после наполнения этих пеллет реализуются циклы замораживания / оттаивания данной эмульсии, в результате которых получается гелеобразное топливо.

Для того чтобы добиться определённого состояния топлива необходимо регулировать ряд параметров, таких как: температура смешивающихся компонентов, объёмное соотношение смеси эмульгаторов и объёмное

соотношение компонентов, а также регулировать частоту оборотов смешивающего устройства.

В качестве объекта автоматизации в курсовом проекте выступает бак смешения компонентов гелеобразного топлива.

### 3 Разработка структуры автоматической системы регулирования (АСР)

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, стоимость системы регулирования, её надёжности и ремонтпригодности. Система автоматического регулирования может состоять из одного или нескольких уровней управления (одноуровневые и многоуровневые системы). В рамках данной работы применяется многоуровневая система управления расходом топлива в трубопроводе, строящаяся по трехуровневому иерархическому принципу.

Полевой уровень включает в себя показывающие приборы по месту, первичные средства измерения и датчики технологических параметров, исполнительные механизмы и органы местного управления. На нижнем уровне выполняется контроль технологических параметров с заданной точностью и периодичностью; преобразование измеренных параметров в унифицированные электрические сигналы; контроль состояния исполнительных механизмов и сигнализаторов технологических параметров; интерфейс с аппаратурой управления исполнительными механизмами.

К среднему уровню относятся щит управления, построенный на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые обеспечивают сбор информации, поступающей с датчиков технологических параметров и формирование команд на исполнительные механизмы, и содержащий вторичные средства измерения, выполняющие функции преобразования сигналов от датчиков нулевого уровня до контроллерного оборудования, а также искробезопасные барьеры и преобразователи. На среднем уровне

выполняется сбор и первичная обработка технологической информации, поступающей от датчиков и измерительных преобразователей, а также информации по учету и контролю количества и сопутствующих параметров расхода; автоматическое тестирование элементов местной автоматики и контроллеров блоков управления; передача информации на верхний уровень.

На верхнем уровне выполняется сбор и концентрация информации о ходе технологического процесса от контроллеров и станций нижнего уровня управления; составление оперативных сводок, отчетных и справочных документов; внутренняя обработка и хранение информации, формирование базы данных; формирование и передача на нижний уровень управляющих воздействий по поддержанию заданных технологических режимов; диагностики работы технологического оборудования, технических и программных средств системы управления.

Структура управления - есть сумма всех частей автоматической системы, на которые она может быть поделена по какому-либо показателю. Также структура управления – это каналы передачи воздействий между частями автоматической системы. При этом эффективность работы объекта автоматизации, относительная стоимость, ремонтпригодность, а также надежность напрямую зависят от выбора структуры управления объектом автоматизации. В системах регулирования расхода применяют один из трех способов изменения расхода:

- дросселирование потока вещества через регулирующий орган, устанавливаемый на трубопроводе (клапан, шибер, заслонка);
- изменение напора в трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии (например, изменением числа оборотов двигателя насоса или угла поворота лопастей вентилятора);
- байпасирование, то есть переброс избытка вещества из основного трубопровода в обводную линию.

В данной работе рассматривается дросселирование, которое предполагает управление расходом в трубопроводе при помощи

регулирующего органа - задвижки. Данный метод является наиболее распространенным на практике и основывается на частичном перекрытии потока рабочей жидкости.

### 3.1 Разработка функциональной схемы

На функциональной схеме условными графическими обозначениями изображены технологические оборудования и трубопроводы, органы управления, приборы и средства автоматизации, показывают взаимодействие технологического оборудования и элементов автоматики и связи между элементами автоматизации.

Функциональная схема автоматизированной системы управления приготовления гелеобразного топлива, разработанная в данном курсовом проекте, изображается на листе ФЮРА.421000.006 С2.

В верхней части листа изображена технологическая схема, позволяющая показать местоположение точек контроля, первичных преобразователей, а также нумерацию измерительных и управляющих каналов. В нижней части чертежа располагаются щит управления и АРМ оператора, изображенные в виде прямоугольников.

Первичный измерительный преобразователь, регулирующие органы и исполнительные механизмы изображаются на технологической схеме в виде окружности. От них выходят линии связи с номером управляющего или измерительного канала.

Затем линии связи идут к прямоугольнику с названием «Щит управления», на котором изображен контроллер. От контроллера информация передается в текущем времени на верхний уровень, т.е. на автоматизированное рабочее место (АРМ) оперативного персонала, который следит за технологическим процессом.

Компоненты будущего топлива поступают в смешивающий бак, процесс смешения сопровождается работой перемешивающего устройства и

поддержанием положительной температуры состава. По окончании процесса, готовое топливо поступает в емкость-хранилище.

### 3.2 Технические средства автоматизации и составление спецификации

Одним из основных аспектов при проектировании автоматических систем управления является выбор технических средств автоматизации. При выборе устройств нужно обращать внимание на доступность и надежность рассматриваемых технических средств. В данной работе предпочтение отдается отечественным производителям, таким как ЭЛЕСИ, МЕТРАН и т.д. Немаловажную роль в выборе технических средств играет унификация и возможность обеспечения взаимосвязи между устройствами и системой в целом. Еще одним критерием выбора приборов являются габаритные размеры. Все выбранные устройства необходимо устанавливать либо по месту, либо на щитах управления, и то сколько пространства занимает то или иное устройство в ограниченном объеме может стать серьезной проблемой.

В ходе выбора первичных измерительных преобразователей обязательно учитывать предельные значения измеряемого параметра и давлений, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи, а также характеристики выходного сигнала первичных измерительных преобразователей. Необходимо ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций. Стоит обращать внимание на исполнение прибора. Например, в условиях агрессивной среды лучше использовать преобразователи в защитном кожухе.

Контроль параметров предусмотрен с использованием следующих технических средств:

- 1) местный контроль температуры воды и смеси в баке – преобразователь термоэлектрический Метран 243 НСХ 50М, предел допускаемой основной приведенной погрешности 0,4 %, диапазон измерения -

50...120 °С., с выходным сигналом 4...20 мА[11];

2) местный контроль уровня в баке – Рефлексный микроволновый уровнемер MicroTrek, предел допускаемой основной приведенной погрешности 0,5 %, максимальный диапазон измерения 24 м, выходной сигнал 4...20 мА[12];

3) средний уровень проектируемой системы выполнен с использованием ПЛК 160, который обеспечивает сбор информации, поступающей с датчиков технологических параметров и формирование команд регулирования на исполнительные механизмы. К нему необходимо дополнительно модуль аналогового ввода/вывода ТМА – 301[13].

Техническая документация, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации называется спецификацией.

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации системы регулирования представлена на ФЮРА.421000.006 СО1.

### 3.3 Разработка монтажной схемы

На схеме внешних электрических и трубных проводок изображаются прокладываемые вне щитов электрические провода, импульсные, кабеля, командные, питающие, защитные трубы, короба, лотки и металлорукава с указанием их номера, типа (марок) и длин. На чертежах этих схем в виде условных обозначений изображаются:

- отборные устройства и первичные преобразователи, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы;
- приборы и средства автоматизации, устанавливаемые вне щитов и пультов;
- щиты, пульты и т.п.;
- вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термпар и т.п.);

- устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников.

Монтажная схема проектируемой системы изображается на ФЮРА.421000.006 С4.

В верхней части схемы расположены таблицы с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже расположены условно изображенные датчики, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. Линии, проведенные от датчиков, соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков. В правой части чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологического параметра, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики.

Для электрических проводок систем автоматизации используются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п. (в том числе в цепях телемеханических устройств) допускается применять провода и кабели с медными жилами.

Для прокладки в пластмассовых и стальных защитных трубах (в металлических рукавах) должны применяться провода с сечением медных жил не менее  $1 \text{ мм}^2$ , алюминиевых -  $2 \text{ мм}^2$ , обладающих достаточной механической прочностью, необходимой для выполнения затяжки этих проводов в трубы.

Помимо требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей основное внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды. Нужно, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покрытия проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки. При выборе проводов и

кабелей необходимо учитывать резерв жил.

### 3.4 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм - это устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. В основном исполнительные механизмы состоят из трех основных частей: привод, прибор для управления приводом и регулирующий орган – задвижки. Привод обеспечивает изменение положения задвижки, а задвижка корректирует величину переменной процесса.

Из-за подвода энергии извне исполнительный механизм развивает усилие и мощность, достаточные для перемещения регулирующего органа в положение, соответствующее командному сигналу. Например, исполнительный механизм может использоваться, чтобы изменить степень открытия клапана для увеличения или уменьшения загрузки, или изменить положение заслонки или жалюзи.

Выбор типа исполнительного механизма (однооборотный – МЭО, однооборотный фланцевый – МЭОФ, прямоходный постоянной скорости – МЭП, прямоходный кривошипный переменной скорости – МЭПК) определяется типом трубопроводной арматуры. В данной работе предполагается использование запорно-регулирующего крана, который позволяет управлять интенсивностью потока воды на смешивание либо надежно перекрывать его. Значит, тип ИМ - МЭОФ.

ИМ выбирается не только из вида регулирующего органа, но и от крутящего момента.

При выборе исполнительного механизма типа МЭОФ должно выполняться условие  $M_H > M_{\max}$ , поскольку по каталогу завода-изготовителя «ОАО ЗЭиМ» выбираем механизм электроисполнительный однообразный с номинальным значением момента на выходном валу 100 Н·м, номинальное значение времени полного хода 10 с, в составе с индуктивным блоком сигнализации положения

выходного вала. Тип МЭОФ–100/10–0,25-М-99.

При выборе исполнительного механизма типа МЭОФ обязательное выполнение условия  $F_H > F_{max}$ , следовательно по каталогу завода-изготовителя «ОАО ЗЭиМ» выбираем механизм электроисполнительный однообразный с номинальным значением усилия на штоке 100 Н·м, номинальное значение времени полного хода 10 с, номинальное значение полного хода 25 мм. Тип МЭО-100/10-0,25М-99.

### 3.5 Разработка принципиальной электрической схемы щита управления

Полный состав приборов и средств автоматизации, используемый в составе системы управления приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива отображает принципиальная электрическая схема.

Схема соединений выявляет конструктивное выполнение электрических соединений элементов в изделии. На схеме отображаются все устройства и элементы, входящие в схему, а также соединения между ними. Устройства изображаются в виде прямоугольников, элементы – в виде условных графических изображений, установленных в ЕСКД. Около условных графических обозначений устройств и элементов указывают позиционные обозначения, присвоенные им на принципиальной схеме. На схеме необходимо указывать обозначения выводов (контактов) элементов, нанесенные на изделие или установленные в документации изделия. Проводам, жгутам, кабелям на схеме присваиваются порядковые номера.

Для создания принципиальной электрической схемы нужно выполнить ряд действий:

- 1) изобразить на схеме технические средства автоматизации с соответствующими стандартами;
- 2) соединить проводку с клеммами устройств по требованиям завода изготовителя оборудования;
- 3) произвести нумерацию проводников.

При разработке схемы используем развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического и текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа.

Линии связи будут только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

На входе расположен блок зажимов ХТ0 на который подается внешнее питание 220 В. Далее расположен автоматический выключатель QF1, который позволяет обесточивать щит управления, затем питание подается на контроллер А1 и на источник питания G1. Контроллер питается на прямую от 220 В. Источник питания служит для преобразования 220 В в 24 В, также постоянным током запитываются измерительные преобразователи UY1...UY7, модули аналогового ввода/вывода А2, А3 и одноконтактное реле. Контроллер ПЛК 160 имеет 8 аналоговых входов, 4 аналоговых выхода, 16 дискретных входов, 12 дискретных выходов. В связи с недостаточным количеством аналоговых входов на контроллере, были добавлены модули аналогового ввода/вывода ТМА-301. Подключение этих модулей было реализовано при помощи интерфейса RS-485. На аналоговые входы заводятся аналоговые сигналы, которые поступают в поле и проходят через измерительные преобразователи ЕТ-422. Управление регулирующими клапанами происходит посредством подключения сигналов на аналоговые выходы. На дискретные выходы заводятся сигналы управления приводами насосов и мешалки, а именно включить / выключить.

Схема соединений представлена на ФЮРА.421000.006 Э4. Перечень используемых элементов представлен на листе ФЮРА.421000.006 ПЭ4.

### 3.6 Разработка перечня элементов щита управления

Вместе с разработкой чертежей принципиальной электрической схемы системы автоматизации в общем случае должны составляться перечни элементов.

Шкаф автоматизации работает от однофазной цепи переменного тока с напряжением 220 В. Для поддержки электробезопасной работы оборудования в щит устанавливаются автоматические выключатели QF1. Блок бесперебойного питания EF UPS 1AC/24 DC-8 (G1) необходим для преобразования напряжения сети переменного тока 220 В в постоянное напряжение 24 В. Контроллер (A1) и вторичные измерительные разделительные преобразователи ET 422 (UY1-UY7), расположенные в шкафу, питаются через блоки бесперебойного питания 24 В.

Перечень элементов, находящихся в схеме, приведен на ФЮРА.421000.006 ПЭ4.

### 3.7 Разработка общего вида щита управления

В данной выпускной квалификационной работе для размещения средств автоматизации используется щит ЩШМ – 1 (1000x500) – IP32 ГОСТ 36.13 – 76. В верхней части щита на монтажной панели расположены программируемый логический контроллер ПЛК 160 и модули аналогового ввода/ вывода ТМА-301. В средней части щита расположены измерительные преобразователи UY1...UY7, также расположены источник бесперебойного питания EF UPS 1AC/24 DC-8, 200 Вт и модульный автоматический выключатель. В нижней части щита расположены блоки зажимов для подключения полевых кабелей.

Щит позволяет производить монтаж модульной аппаратуры, так и аппаратуры обычного исполнения. Корпус обладает степенью защиты IP32.

Чертеж общего вида шкафа управления объясняет принцип его работы,

показывает его конструкцию и как взаимодействуют его части. Общий вид шкафа представлен на листе ФЮРА.42100.006 ВО.

В шкафах систем автоматизации размещают средства контроля и управления технологическим процессом, контрольно-измерительные приборы, сигнальные устройства, аппаратуру управления, автоматического регулирования, защиты и блокировки линий связи между ними. Шкафы систем автоматизации устанавливают в производственных и специализированных помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.д. Общие виды шкафов должны быть выполнены в объеме, позволяющем изготовить оборудование на специализированных заводах со всеми вырезами и креплениями, необходимыми для установки приборов, средств автоматизации и вводов проводок. Исходные материалы для проектирования общих видов: 1) функциональные схемы систем автоматизации; 2) принципиальные схемы электрические, пневматические автоматического регулирования, управления и сигнализации.

#### 4 Расчет параметров настройки ПИ-регулятора

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в трубопроводе, составленная на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте.

Основной регулируемый параметр – температура в камере, в которой реализуются циклы заморозки / оттаивания топлива. В начальный момент времени температура в камере минус 15 °С, далее реализуется нагрев путем подачи питания на нагреватель, регулятор отключен. В результате работы нагревателя мы получаем кривую разгона. Для регулирования температуры будет использоваться ПИ-регулятор. По полученной кривой разгона проведена идентификация объекта.

Кривая разгона представлена на рисунке 4.1.

## 4.1 Идентификация объекта управления

Идентификация объекта управления предназначена для получения математической модели объекта управления. В инженерной практике применяют активную идентификацию. При активной идентификации на объект подаются заранее известные возмущающие воздействия, и регистрируется выходная величина.

По произведенной кривой разгона нужно определить динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени; время запаздывания; коэффициент передачи.

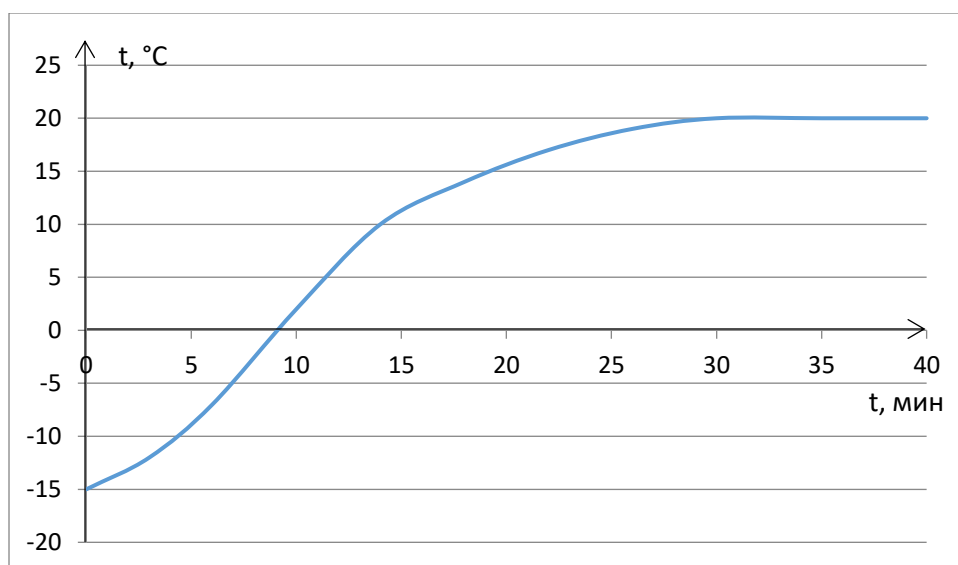


Рисунок 4.1 - Кривая разгона объекта управления

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)} e^{-p\tau}, \quad (4.1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления,  $p$  – оператор Лапласа,  $\tau$  – время запаздывания,  $T$  – постоянная времени.

На графике кривой разгона проводится касательная в максимальной точке скорости изменения величины (рисунок 4.2).

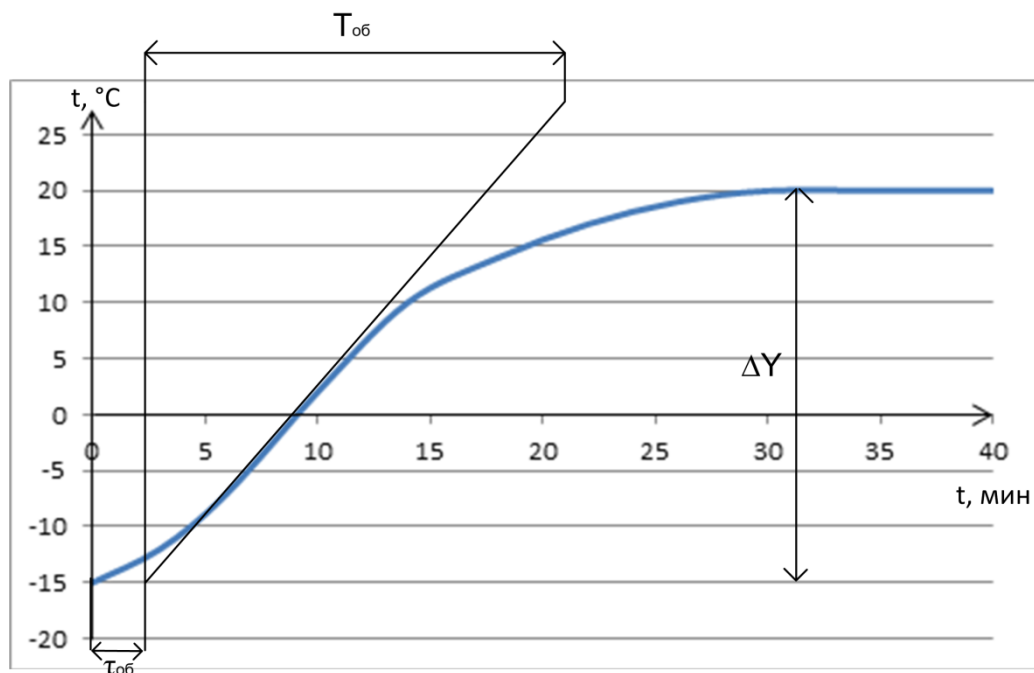


Рисунок 4.2 - Кривая разгона объекта управления

По графику определяются динамические параметры объекта:

- коэффициент усиления  $k = 35$ ;
- время запаздывания  $\tau = 120$  с;
- постоянная времени  $T = 1320$  с.

Тогда передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{35}{(1320p + 1)} e^{-120p}.$$

#### 4.2 Расчёт и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией

Структурная схема системы регулирования представлена на рисунке 4.3.

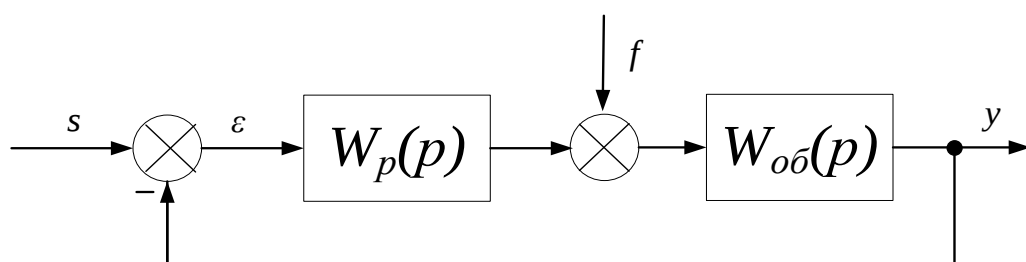


Рисунок 4.3 - Структурная схема системы регулирования

Для расчёта и построения границы заданного запаса устойчивости АСР

с ПИ-регулятором, представленной на рисунке 4.3, воспользуемся корневым методом параметрического синтеза систем автоматического регулирования с применением расширенных амплитудно-фазочастотных характеристик (РАФЧХ).

Расчет системы осуществляется для степени устойчивости равной  $\psi=0,95$ .

Зная зависимость между степенью затухания переходных процессов в заданной системе регулирования  $\psi$  и степенью колебательности  $m$ , можно определить значение заданной степени колебательности  $m$  по следующей формуле:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,95) = 0,477. \quad (4.2)$$

Используя вычислительные программные средства, предварительно задав начальное значение частоты  $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$  и шаг по частоте  $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$ , рассчитываются расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты от 0 до  $0,1 \text{ с}^{-1}$ .

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\text{Re}_{o\delta}(m, \omega) = \text{Re}(W_{o\delta}(m, i\omega)).$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\text{Im}_{o\delta}(m, \omega) = \text{Im}(W_{o\delta}(m, i\omega)).$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

$$A_{o\delta}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{o\delta}^2(m, \omega) + \text{Im}_{o\delta}^2(m, \omega)}.$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{o\delta}(m, \omega) = \arctan\left(\frac{\text{Im}_{o\delta}(m, \omega)}{\text{Re}_{o\delta}(m, \omega)}\right).$$

Результаты расчётов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

| Частота $\omega$ , $\text{с}^{-1}$ | $\text{Re}_{o\delta}(m, \omega)$ | $\text{Im}_{o\delta}(m, \omega)$ | $A_{o\delta}(m, \omega)$ |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 0                                  | 35                               | 0                                | 35                       |
| 0,005                              | 25,6                             | -27,9                            | 37,9                     |
| 0,01                               | 4,13                             | -26,7                            | 27                       |
| 0,015                              | -2,91                            | -19                              | 19,3                     |
| 0,02                               | -4,9                             | -14                              | 14,8                     |
| 0,025                              | -5,48                            | -10,7                            | 12,1                     |
| 0,03                               | -5,62                            | -8,56                            | 10,2                     |
| 0,035                              | -5,6                             | -6,99                            | 8,96                     |
| 0,04                               | -5,52                            | -5,81                            | 8,01                     |
| 0,045                              | -5,42                            | -4,87                            | 7,28                     |
| 0,05                               | -5,32                            | -4,1                             | 6,71                     |
| 0,055                              | -5,22                            | -3,45                            | 6,25                     |
| 0,06                               | -5,12                            | -2,89                            | 5,88                     |
| 0,065                              | -5,03                            | -2,4                             | 5,57                     |
| 0,07                               | -4,93                            | -1,96                            | 5,31                     |
| 0,075                              | -4,84                            | -1,56                            | 5,08                     |
| 0,08                               | -4,75                            | -1,19                            | 4,89                     |
| 0,085                              | -4,65                            | -0,851                           | 4,73                     |
| 0,09                               | -4,56                            | -0,533                           | 4,59                     |
| 0,095                              | -4,46                            | -0,235                           | 4,47                     |
| 0,100                              | -4,36                            | 0,047                            | 4,36                     |

### 4.3 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют следующий вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o\bar{o}}(m, \omega)}{A_{o\bar{o}}^2(m, \omega)}, \quad (4.3)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{o\bar{o}}(m, \omega) + \text{Re}_{o\bar{o}}(m, \omega)}{A_{o\bar{o}}^2(m, \omega)}, \quad (4.4)$$

где  $K_p$  – коэффициент передачи ПИ – регулятора,  $T_u$  – постоянная интегрирования ПИ – регулятора.

Зададим диапазон изменения частоты  $\omega = 0 \div 0,1 \text{ с}^{-1}$  с шагом  $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$ , определим настройки регулятора  $\frac{K_p}{T_u}$  и  $K_p$  в заданном диапазоне частот.

Результаты расчётов сведём в таблицу 4.2

Таблица 4.2 - Результаты расчёта кривой заданного запаса устойчивости

| частота $\omega, \text{с}^{-1}$ | $K_p/T_u$             | $K_p$    |
|---------------------------------|-----------------------|----------|
| 0                               | 0                     | -0,0286  |
| 0,005                           | $0,119 \cdot 10^{-3}$ | -0,00862 |
| 0,01                            | $0,449 \cdot 10^{-3}$ | 0,0118   |
| 0,015                           | $0,945 \cdot 10^{-3}$ | 0,0324   |
| 0,02                            | $0,157 \cdot 10^{-3}$ | 0,0528   |
| 0,025                           | $0,227 \cdot 10^{-3}$ | 0,0730   |
| 0,03                            | $0,301 \cdot 10^{-3}$ | 0,0925   |
| 0,035                           | $0,375 \cdot 10^{-3}$ | 0,111    |
| 0,04                            | $0,444 \cdot 10^{-3}$ | 0,129    |
| 0,045                           | $0,507 \cdot 10^{-3}$ | 0,146    |
| 0,05                            | $0,558 \cdot 10^{-3}$ | 0,161    |
| 0,055                           | $0,595 \cdot 10^{-3}$ | 0,175    |

Продолжение таблицы 4.2

|       |                        |       |
|-------|------------------------|-------|
| 0,06  | $0,615 \cdot 10^{-3}$  | 0,188 |
| 0,065 | $0,617 \cdot 10^{-3}$  | 0,199 |
| 0,07  | $0,597 \cdot 10^{-3}$  | 0,208 |
| 0,075 | $0,554 \cdot 10^{-3}$  | 0,216 |
| 0,08  | $0,488 \cdot 10^{-3}$  | 0,222 |
| 0,085 | $0,397 \cdot 10^{-3}$  | 0,226 |
| 0,09  | $0,280 \cdot 10^{-3}$  | 0,228 |
| 0,095 | $0,137 \cdot 10^{-3}$  | 0,229 |
| 0,100 | $-0,303 \cdot 10^{-4}$ | 0,228 |

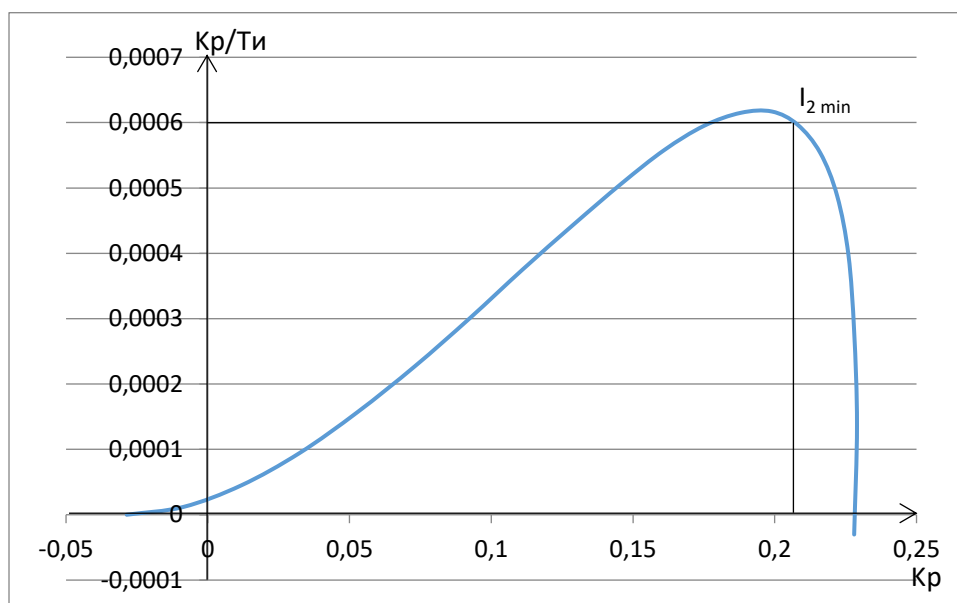


Рисунок 4.4 - Кривая заданного запаса устойчивости

Полученная кривая является линией заданной степени затухания  $\Psi = \Psi_{зад} = 0,95$  процесса регулирования, что соответствует степени колебательности  $m = 0,477$ . Таким образом, все значения  $\frac{K_p}{T_u}$  и  $K_p$ , лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания (в данном случае  $\Psi = \Psi_{зад} = 0,95$ ).

#### 4.4 Определение оптимальных параметров настройки ПИ – регулятора

Поиск оптимальных параметров настройки регулятора осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования, представленной на рисунке 4.4, до достижения экстремума принятого критерия качества. В качестве принятого критерия качества указан второй интегральный критерий.

Для апериодических и колебательных переходных процессов целесообразно применять квадратичную интегральную оценку типа:

$$I_2 = \int_0^{\infty} x^2 dt$$

Минимуму данной интегральной оценки соответствует точка  $0,95 \cdot \max(K_p/T_u)$  на линии заданного запаса устойчивости в сторону большего значения частоты (правее максимума).

Используя данные таблицы 4.2 и рисунка 4.4, определяем значение  $\max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,199$ , тогда получим следующие оптимальные параметры настройки ПИ – регулятора:

$0,95 \cdot \max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,18905$ , из рисунка 4.4 определяем соответствующие параметры настройки:

$$K_p = 0,000617 \text{ и } \frac{K_p}{T_u} = 0,18905$$

Резонансная частота замкнутой системы  $\omega_{рез} = 0,065 \text{ с}^{-1}$ .

Определим постоянную интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{0,000617}{0,18905} = 0,0033 \text{ с.}$$

#### 4.5 Расчёт, построение и оценка качества переходных процессов в замкнутой АСР при возмущении $f$ , идущем по каналу возмущающего воздействия

#### 4.6 Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{s-y} = \frac{W_{об}(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_{об}(p) \cdot W_p(p)},$$

где  $W_{об}(p)$  - передаточная функция объекта,  $W_p(p)$  - передаточная функция регулятора.

Используя программу MathCad, предварительно задав диапазон изменения частоты  $\omega = 0 \div 0,1 \text{ с}^{-1}$  с шагом  $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$ , рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой АСР по каналу задающего воздействия:  $\text{Re}_{з.с.}(\omega)$ . Результаты расчёта сведём в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

| частота $\omega$ , $\text{с}^{-1}$ | $\text{Re}_{з.с.}(\omega)$ |
|------------------------------------|----------------------------|
| 0                                  | 1                          |
| 0,005                              | 1,07                       |
| 0,01                               | -1,2                       |
| 0,015                              | -0,483                     |
| 0,02                               | -0,12                      |
| 0,025                              | 0,0360                     |
| 0,03                               | 0,105                      |
| 0,035                              | 0,129                      |
| 0,04                               | 0,122                      |
| 0,045                              | 0,0899                     |
| 0,05                               | 0,0369                     |
| 0,055                              | -0,0265                    |

Продолжение таблицы 4.3

|       |         |
|-------|---------|
| 0,06  | -0,0783 |
| 0,065 | -0,0940 |
| 0,07  | -0,0695 |
| 0,075 | -0,0246 |
| 0,08  | 0,0182  |
| 0,085 | 0,0468  |
| 0,09  | 0,0577  |
| 0,095 | 0,0513  |
| 0,100 | 0,0303  |

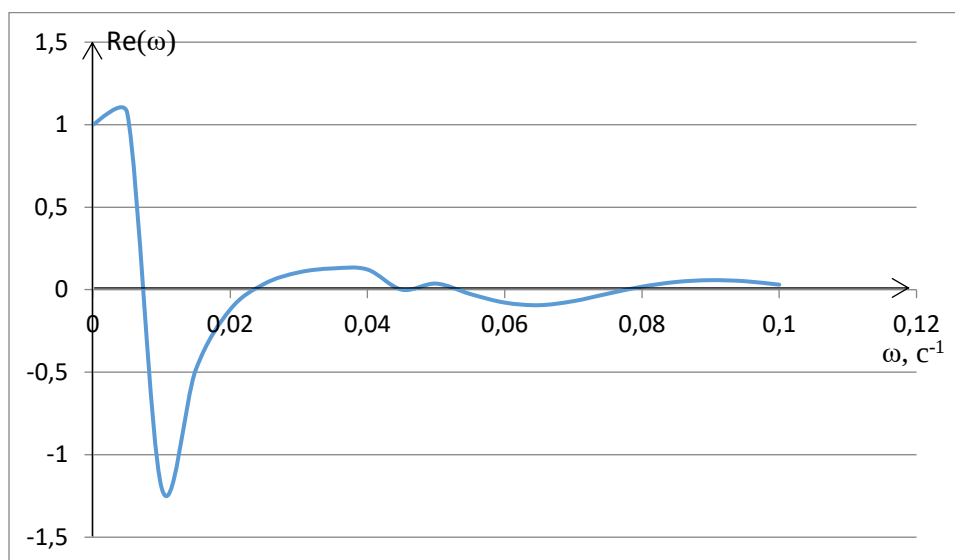


Рисунок 4.5 - График ВЧХ замкнутой системы

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^1 \frac{Re_{з.с}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega,$$

где 0,1 частота среза, при которой график  $Re(\omega)$  стремится к 0, определяется эта частота из графика ВЧХ.

Задав диапазон изменения времени переходного процесса  $t=0 \div 2500$  с с шагом  $\Delta t = 125$  с, рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР. Результаты расчета представлены в таблице 4.4

Таблица 4.4 - Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР

| время $t$ , с | температура $T$ , °C |
|---------------|----------------------|
| 0             | -15                  |
| 125           | -14,0067             |
| 250           | 13,609               |
| 375           | 35,19                |
| 500           | 38,725               |
| 625           | 30,85                |
| 750           | 22,03                |
| 875           | 17,641               |
| 1000          | 17,55                |
| 1125          | 19,202               |
| 1250          | 20,49                |
| 1375          | 20,805               |
| 1500          | 20,49                |
| 1625          | 20,07                |
| 1750          | 19,867               |
| 1875          | 19,867               |
| 2000          | 19,937               |
| 2125          | 20,035               |
| 2250          | 20,035               |
| 2375          | 20,035               |
| 2500          | 20                   |

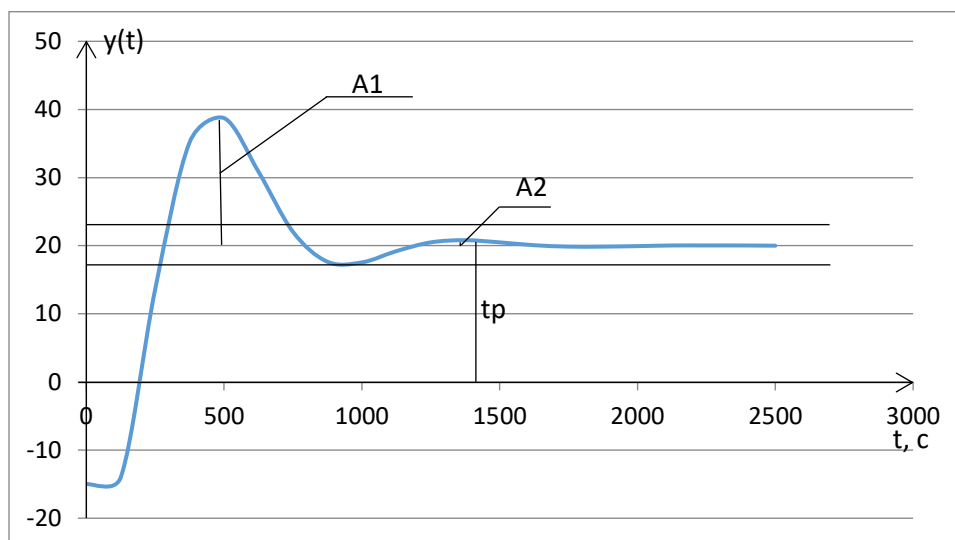


Рисунок 4.6 - Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

#### 4.7 Оценка качества регулирования

Под качеством регулирования понимают совокупность показателей или критериев, позволяющих оценить характер отклонения регулируемой величины под действием изменяющихся возмущений и судить о том, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям при заданных конкретных ограничениях.

Используя данные таблицы 4.4 и рисунка 4.6, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР.

Прямые критерии качества:

1.Максимальная динамическая ошибка:  $A_1=18,725$ ;

2.Перерегулирование:  $\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 \% = \frac{18,725}{20} \cdot 100 \% = 93,6 \%$ ,

где  $y(\infty)$  - уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса  $t$ ;

3.Степень затухания переходного процесса:  $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,805}{18,725} = 0,95$

где  $A_2 = 0,805$  - второй максимальный выброс регулируемой величины;

4. Статическая ошибка:  $\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 20 - 20 = 0$

где  $S$  – сигнал задающего воздействия ;

5. Время регулирования:  $t_p = 1400$  с при величине  $\delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 1,75$ .

#### 4.8 Переходный процесс при возмущении $f$ , идущем по каналу возмущающего воздействия

Для построения переходного процесса нужно составить передаточную функцию системы по каналу регулирующего воздействия и по программе Mathcad рассчитать ВЧХ системы.

$$W_{f-y}(p) = \frac{W_{об}(p)}{1 + W_{об}(p) \cdot W_p(p)},$$

Задав диапазон изменения частоты  $\omega = 0 \div 0,40$  с<sup>-1</sup> с шагом  $\Delta\omega = 0,008$  с<sup>-1</sup>, рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой АСР:  $\text{Re}_{з.с.}(\omega)$ . Результаты расчёта сведём в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Результаты расчета ВЧХ системы

| частота $\omega$ , с <sup>-1</sup> | $\text{Re}_{з.с.}(\omega)$ |
|------------------------------------|----------------------------|
| 0                                  | 0                          |
| 0,005                              | 6,63                       |
| 0,01                               | -4,67                      |
| 0,015                              | -2,48                      |
| 0,02                               | -0,756                     |
| 0,025                              | 0,0541                     |
| 0,03                               | 0,438                      |
| 0,035                              | 0,588                      |
| 0,04                               | 0,581                      |
| 0,045                              | 0,445                      |
| 0,05                               | 0,202                      |

Продолжение таблицы 4.5

|       |        |
|-------|--------|
| 0,055 | -0,101 |
| 0,06  | -0,357 |
| 0,065 | -0,445 |
| 0,07  | -0,339 |
| 0,075 | -0,129 |
| 0,08  | 0,0754 |
| 0,085 | 0,216  |
| 0,09  | 0,272  |
| 0,095 | 0,247  |
| 0,100 | 0,15   |

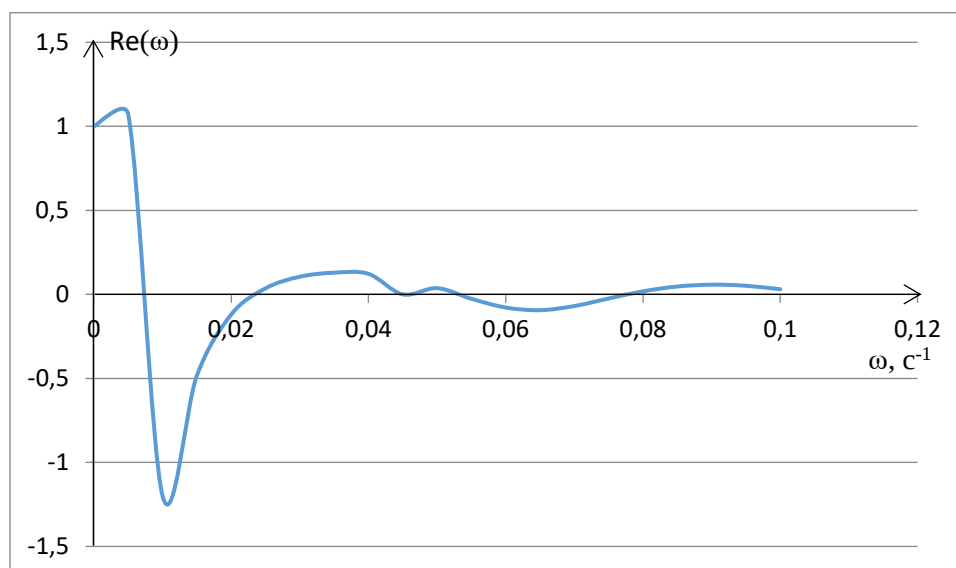


Рисунок 4.7 - График ВЧХ замкнутой системы

Переходный процесс по каналу возмущающего воздействия рассчитаем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,1} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega,$$

где 0,1 частота среза определяемая из графика ВЧХ изображенного на рисунке 4.7. Задав диапазон изменения времени переходного процесса  $t=0 \div 2500 \text{ с}$

шагом  $\Delta t=125$  с, рассчитываем переходный процесс АСР по каналу регулирующего воздействия. Результаты представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Результаты расчета переходного процесса АСР по каналу возмущающего воздействия

| время $t$ , с | температура $T$ , °C |
|---------------|----------------------|
| 0             | 0                    |
| 125           | 0,1338               |
| 250           | 3,276                |
| 375           | 4,726                |
| 500           | 3,684                |
| 625           | 1,681                |
| 750           | 0,1837               |
| 875           | -0,3550              |
| 1000          | -0,2510              |
| 1125          | 0,01209              |
| 1250          | 0,1543               |
| 1375          | 0,1423               |
| 1500          | 0,06254              |
| 1625          | -0,002908            |
| 1750          | -0,02544             |
| 1875          | -0,01757             |
| 2000          | -0,002410            |
| 2125          | 0,006170             |
| 2250          | 0,006456             |
| 2375          | 0,002864             |
| 2500          | -0,0002910           |

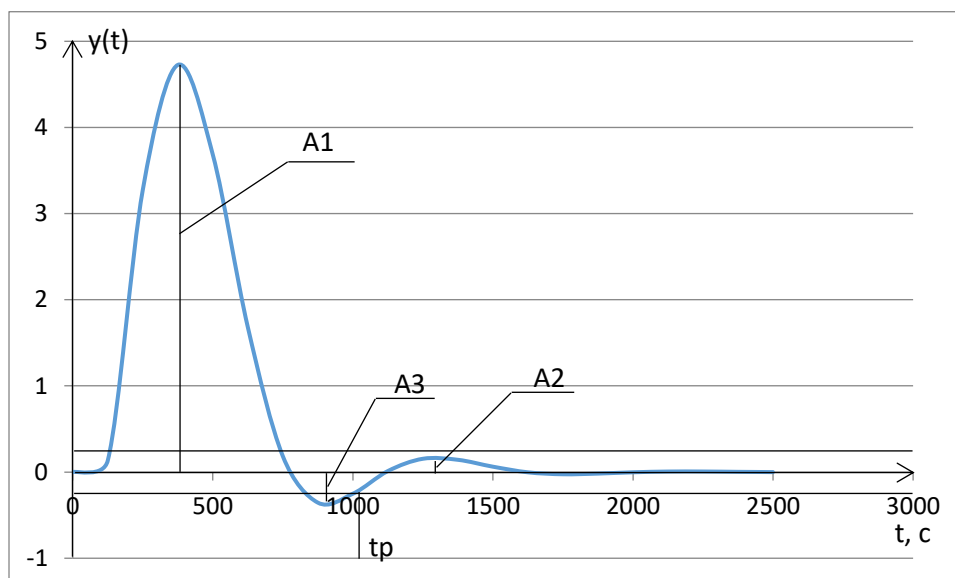


Рисунок 4.8 - График переходного процесса в АСР по каналу возмущающего воздействия

Используя данные таблицы 4.6 и рисунка 4.8, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия.

Прямые критерии качества:

1. Максимальная динамическая ошибка:  $A_1 = 4,726$ ;

2. Перерегулирование:  $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 \% = \frac{0,355}{4,726} \cdot 100 \% = 7,5 \%$ ,

где  $A_3 = 0,355$  - первое минимальное отклонение регулируемой величины;

3. Динамический коэффициент регулирования  $R_d$ :

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 \% = \frac{0,355 + 0}{1} \cdot 100 \% = 35,5 \%,$$

где  $K_{об} = 1$  - коэффициент передачи объекта;

4. Степень затухания переходного процесса:  $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,1543}{4,726} = 0,97$ ,

где  $A_2 = 0,1543$  - второй максимальный выброс регулируемой величины;

5. Статическая ошибка:  $\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0$ ;

6. Время регулирования:  $t_p = 1005$  с при величине  $\delta = 0,05 \cdot K_{об} = 1,75$ .

## 5 Мнемосхема технологического процесса

Выбор структуры управления объектом автоматизации оказывает существенное влияние на эффективность его работы, стоимость системы регулирования, её надёжности и ремонтпригодности. Система автоматического регулирования может состоять из одного или нескольких уровней управления (одноуровневые и многоуровневые системы).

Полевой уровень включает в себя местные показывающие приборы, первичные средства измерения и датчики технологических параметров, исполнительные механизмы и органы местного управления. На нижнем уровне выполняется контроль технологических параметров с заданной точностью и периодичностью; преобразование измеренных параметров в унифицированные электрические сигналы; контроль состояния исполнительных механизмов и сигнализаторов технологических параметров; интерфейс с аппаратурой управления исполнительными механизмами.

К среднему уровню относятся щит управления, построенный на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые обеспечивают сбор информации, поступающей с датчиков технологических параметров и формирование команд на исполнительные механизмы, и содержащий вторичные средства измерения, выполняющие функции преобразования сигналов от датчиков нулевого уровня до контроллерного оборудования, а также искробезопасные барьеры и преобразователи. На среднем уровне выполняется сбор и первичная обработка технологической информации, поступающей от датчиков и измерительных преобразователей, а также информации по учету и контролю количества и сопутствующих параметров газа; автоматическое тестирование элементов местной автоматики и контроллеров блоков управления; передача информации на верхний уровень.

На верхнем уровне выполняется сбор и концентрация информации о ходе технологического процесса от контроллеров и станций нижнего уровня управления; составление оперативных сводок, отчетных и справочных

документов; внутренняя обработка и хранение информации, формирование базы данных; формирование и передача на нижний уровень управляющих воздействий по поддержанию заданных технологических режимов; диагностики работы технологического оборудования, технических и программных средств системы управления.

Структура управления – есть сумма всех частей автоматической системы, на которые она может быть поделена по какому-либо показателю. Также структура управления – это каналы передачи воздействий между частями автоматической системы. При этом эффективность работы объекта автоматизации, относительная стоимость, ремонтпригодность, а также надежность напрямую зависят от выбора структуры управления объектом автоматизации.

В рамках настоящей работы рассматривается система приготовления гелеобразного топлива. Система состоит из: хранилищ жидкого топлива, дистиллированной воды и поливинилового спирта. Также для реализации микроэмульгирования этих компонентов в единую композицию система включает в себя специальный бак со смешивающим устройством по типу вертикально приводной мешалки. Для того чтобы добиться определённого состояния топлива необходимо регулировать ряд параметров, таких как: температура смешивающихся компонентов, объёмное соотношение смеси эмульгаторов и объёмное соотношение компонентов, а также регулировать частоту оборотов смешивающего устройства.

Так как зона приготовления топлива является взрывоопасной необходимо принять меры безопасности. Все компоненты будут подаваться в определённом количестве через трубопроводы в смешивающий бак, который в свою очередь закреплён на подвижной платформе. После того как все компоненты находятся в смешивающем баке, бак перемещается на станцию, где расположена вертикальная система смешивания. Эмульсионное топливо лучше всего приготавливать небольшими порциями, так как при недостаточном перемешивании компонентов двухфазная жидкость обретает нежелательные

физические свойства, например, такое как высокую вязкость.

Объектом автоматизации в данном проекте является смешивающее устройство с вертикальным приводом от редуктора.

Внешний вид мнемосхемы приведен на рис 5.1

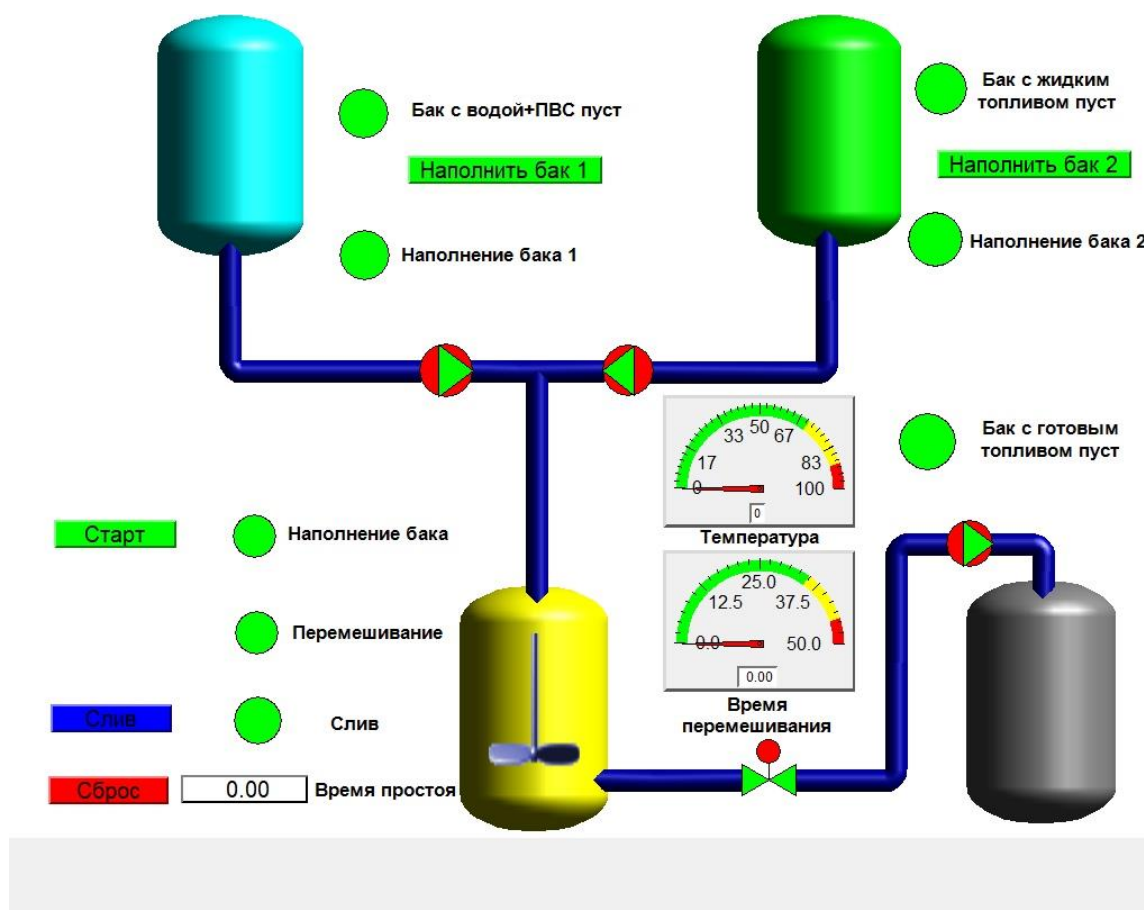


Рисунок 5.1 - Внешний вид мнемосхемы технологического процесса приготовления гелеобразного топлива

Управление процессом топливоприготовления осуществляется оператором. На щит оператора выведена сигнализация, отображающая этап процесса, а также сигнализирующая о выполнении какого-либо действия. Управление осуществляется путём нажатия кнопок. При нажатии на кнопку старт запускается алгоритм, который позволяет в определённых пропорциях заполнить емкость перемешивания 3 компонентами, а также включается сигнализация процесса наполнения бака перемешивания. После того как бак заполнится, включается механизм перемешивания, работающий в двух режимах. Работа механизма перемешивания сопровождается соответствующей

сигнализацией. 1 режим: если бак хранения пуст, то производится перемешивание в течение определённого промежутка времени и последующая перекачка готовой продукции в бак хранения. 2 режим: если бак хранения заполнен, перемешивающий механизм будет работать до тех пор, пока не освободится емкость хранения. И уже после этого будет осуществляться перекачка готового топлива. Опустошение бака хранения осуществляется путём нажатия кнопки слив. Процесс слива продукции из бака хранения сопровождается соответствующей сигнализацией. Баки с исходными компонентами имеют индикацию уровня, как и все баки, представленные на мнемосхеме. Данные емкости имеют сигнализацию опустошения. Если происходит опустошение одного из баков, загорается соответствующая лампа и вся технология останавливается. Наполнение баков с исходным веществом осуществляется путём нажатия соответствующей кнопки. Также в работе системы предусмотрена защита от случайного нажатия оператором на кнопки старта и слива, во время выполнения алгоритма заполнения.

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

Студенту:

| Группа | ФИО                           |
|--------|-------------------------------|
| 5БМ03  | Филиппову Евгению Викторовичу |

| Школа               | ИШЭ          | НОЦ         | И.Н. Бутакова                             |
|---------------------|--------------|-------------|-------------------------------------------|
| Уровень образования | Магистратура | Направление | 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» |

Тема ВКР:

Автоматическая система управления приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива

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

|                                                                                                                                      |                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Стоимость индустриального масла И-40А 53000 руб/м <sup>3</sup> , стоимость гелеобразного топлива 51 281 руб/м <sup>3</sup> |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                           | Нормы амортизации – 40 %                                                                                                   |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | Ставки НДС и социального налога                                                                                            |

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

|                                                                                                                             |                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ                                                                     | - Описание потенциальных потребителей;<br>- Анализ конкурентных технических решений;<br>- SWOT-анализ        |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований                                                                 | Планирование работ;<br>Разработка графика Ганта.<br><br>Формирование бюджета затрат на научное исследование. |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | Описание потенциального эффекта                                                                              |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность            | ФИО                    | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН ШБИП ТПУ | Спицына Любовь Юрьевна | К.Э.Н                  |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5БМ03  | Филиппов Евгений Викторович |         |      |

## 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью написания данного раздела является анализ финансово – экономических аспектов разработанной автоматической системы управления приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива.

Для выполнения данной задачи необходимо:

- 1) составить перечень работ и оценить время их выполнения;
- 2) составить смету затрат на проект;
- 3) составить смету затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта;
- 4) определить экономическую эффективность проекта.

### 6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Объектом разработки является система автоматического управления температуры многокомпонентного гелеобразного топлива на стадии его приготовления. Потенциальными потребителями системы регулирования температуры могут выступать промышленные предприятия (производство продуктов питания, химических веществ), объекты жилищно-коммунальной сферы (котельные), лаборатории. Сегментирование рынка проводится по сфере использования и по размеру компании-заказчика. Карта сегментирования приведена в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1 - Карта сегментирования

|                    |         | Сфера использования      |             |             |
|--------------------|---------|--------------------------|-------------|-------------|
|                    |         | Промышленные предприятия | Объекты ЖКХ | Лаборатории |
| Размер организации | Крупные |                          |             |             |
|                    | Средние |                          |             |             |
|                    | Мелкие  |                          |             |             |

В приведённой карте сегментирования показано, что для реализации разработки подходят мелкие предприятия пищевой и химической промышленности, объекты ЖКХ, мелкие и средние лаборатории. Для использования в более крупных организациях требуется внедрить в систему поддержку промышленных сетей и настроить взаимодействие со SCADA-системами.

## 6.2 Анализ конкурентных технических решений

На российском рынке в качестве производителей систем автоматического регулирования температуры выделяются компании «ОВЕН», «МЕТРАН».

Компания «ОВЕН» специализируется на изготовлении различного вида датчиков и контроллеров, в том числе и для САР температуры. Помимо поставок оборудования компания осуществляет разработку и внедрение проектов автоматизации на собственном оборудовании. Терморегуляторы компании «ОВЕН» способны производить автоматическую настройку параметров в зависимости от объекта автоматизации.

Челябинское производственное предприятие «МЕТРАН». Основные направления деятельности – регулирующие клапаны и регуляторы, распределенные системы управления, средства измерений давления, температуры, уровня, расхода; вычислители расхода, метрологическое оборудование и др.

Проведем анализ конкурентных технических решений с помощью сравнительной таблицы, которая приведена в таблице 6.2.1. Под цифрами 1, 2, 3 – разрабатываемый проект, «ОВЕН», «МЕТРАН», соответственно.

Таблица 6.2.1 - Сравнение конкурирующих технических решений

| Критерии<br>оценки                                                 | Вес<br>критери<br>я | Баллы |    |    | Конкурентоспособност<br>ь |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|----|----|---------------------------|------|------|
|                                                                    |                     | 1     | 2  | 3  | 1                         | 2    | 3    |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности                   |                     |       |    |    |                           |      |      |
| 1. Удобство в эксплуатации                                         | 0,1                 | 4     | 4  | 5  | 0,4                       | 0,4  | 0,5  |
| 2. Надежность                                                      | 0,2                 | 4     | 3  | 4  | 0,8                       | 0,6  | 0,8  |
| 3. Функциональна<br>я мощность<br>(предоставляемые<br>возможности) | 0,25                | 4     | 4  | 5  | 1                         | 1    | 1,25 |
| 4. Простота<br>эксплуатации                                        | 0,05                | 4     | 3  | 4  | 0,2                       | 0,15 | 0,2  |
| 5. Качество<br>интеллектуальног<br>о интерфейса                    | 0,15                | 3     | 4  | 5  | 0,3                       | 0,6  | 0,75 |
| Экономические критерии оценки эффективности                        |                     |       |    |    |                           |      |      |
| 1. Цена                                                            | 0,15                | 4     | 2  | 4  | 0,6                       | 0,3  | 0,6  |
| 2.<br>Предполагаемый<br>срок эксплуатации                          | 0,1                 | 4     | 4  | 5  | 0,4                       | 0,4  | 0,5  |
| Итого                                                              | 1                   | 27    | 24 | 32 | 3,7                       | 3,45 | 4,6  |

По результатам расчётов табл. 6.2.1 можно заключить, что разрабатываемая система конкурентоспособна на рынке. Разработка проигрывает аналогичным системам в удобстве: компании «ОВЕН» за счёт отсутствия возможности автоматической идентификации и настройке объекта; компании «Инсат» за счёт отсутствия взаимодействия со SCADA-системами на данном этапе разработки. К сильным сторонам можно отнести точность измерения температуры, надёжность (за счёт предварительного моделирования и возможности применения сложных алгоритмов управления), а также цену разработки (экономия за счёт переноса управляющих функций ПЛК на программный пакет MATLAB).

### 6.3 SWOT-анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. В силу того, что разработка системы автоматического регулирования температуры является лишь частным способом применения рассмотренного подхода, при SWOT-анализе рассматриваются сильные и слабые стороны, возможности и угрозы применительно к способу решения поставленной задачи. На основании анализа делается вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта.

Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в табл. 6.3.1.

Таблица 6.3.1 - Матрица SWOT-анализа

| Сильные стороны                                                                                                                                                                                   | Возможности                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Доступная стоимость<br>2. Высокая функциональность и надежность оборудования<br>3. Простота и удобство эксплуатации<br>4. Использование современных технологических решений<br>5. Безопасность | 1. Повышение стоимости конкурентных разработок<br>2. Высокий спрос инвесторов к новым разработкам<br>3. Увеличение стоимости на электроэнергию |
| Слабые стороны                                                                                                                                                                                    | Угрозы                                                                                                                                         |
| 1. Сложность монтажа<br>2. Сложность оборудования<br>3. Низкая адаптивность системы                                                                                                               | 1. Повышение цен на компоненты системы<br>2. Усовершенствование конкурентных решений                                                           |

Был проведен SWOT - анализ, который позволил выявить слабые и сильные стороны, возможности и угрозы. При помощи SWOT – анализа можно также выработать стратегии по превращению слабых сторон в сильные,

угроз в возможности, выявить или разработать основное конкурентное преимущество.

В ходе SWOT-анализа были найдены сильные стороны и возможности проекта: удешевление оборудования позволит снизить стоимость системы; высокая функциональность и надежность оборудования позволяет увеличить эффективность системы в целом. Слабой стороной проекта является возможность использования слишком дорогого оборудования, приводящее к чрезмерным расходам.

По итогам выполнения SWOT-анализа выбрана наиболее эффективная стратегия развития: в перспективе нужно пользоваться удешевлением оборудования и развитием ПО и снижать расходы на него, отдавая предпочтение более простому, но не менее надежному.

#### 6.4 Планирование научно - исследовательской работы

##### 6.4.1 Структура работ

При организации процесса реализации проекта необходимо планировать занятость каждого из участников и сроки проведения работ. Для оценки времени выполнения проекта необходимо составить перечень всех выполняемых работ и время, затраченное на их выполнение. Для этого был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках разработки проекта, а также приведены исполнители по каждому виду работ, а также их загруженность.

Таблица 6.4.1.1 - Структура работ

| Наименование работ                                  | Исполнители          | Загрузка исполнителей |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Постановка целей и задач, получение исходных данных | Научный руководитель | 100%                  |

Продолжение таблицы 6.4.1.1

|                                                              |                         |                          |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Анализ литературы                                            | Инженер                 | 100%                     |
|                                                              | Научный<br>руководитель | 30%                      |
| Наименование работ                                           | Исполнители             | Загрузка<br>исполнителей |
| Проведение экспериментальных исследований                    | Инженер                 | 100%                     |
| Анализ результатов исследования                              | Инженер                 | 100%                     |
|                                                              | Научный<br>руководитель | 50%                      |
| Разработка схмотехнической документации, подбор оборудования | Инженер                 | 100%                     |
|                                                              | Научный<br>руководитель | 10%                      |
| Проектирование мнемосхемы                                    | Инженер                 | 100%                     |
|                                                              | Научный<br>руководитель | 10%                      |
| Оформление пояснительной записки ВКР                         | Инженер                 | 100%                     |
| Подведение итогов                                            | Инженер                 | 100%                     |
|                                                              | Научный<br>руководитель | 80%                      |

#### 6.4.2 Разработка графика проведения научно-технического исследования

Ожидаемая продолжительность работ оценивается с помощью опытно-статистического метода. Для расчета ожидаемой продолжительности работ воспользуемся экспертным способом, для этого воспользуемся следующей формулой:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (1)$$

Где  $t_{min}$  – минимальное значение продолжительности работ, дн.;

$t_{max}$  – максимальное значение продолжительности работ, дн.;

Для построения линейного графика проведения работ необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет длительности в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (2)$$

где  $t_{ож}$  – вероятное (ожидаемое) значение продолжительности работ, дн.;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающих влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, принимаем равным 1;

$K_{д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных издержек и согласование работ, принимаем равным 1;

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к} \quad (3)$$

Где  $T_{к}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни (365);

$T_{\text{вд}}$  – выходные дни (52);

$T_{\text{пд}}$  – праздничные дни (10).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205 \quad (5)$$

По данным таблицы 6.4.1.1 составлена продолжительность этапов работ и их трудоемкость по исполнителям, занятым на каждом этапе (таблица 6.4.2.1). Также построен линейный график осуществления проекта (таблица 6.4.2.2).

Таблица 6.4.2.1 - Расчет трудозатрат на выполнение работ

| Этап                                                         | Исполнители | Продолжительность работ, дни |           |             | Трудоемкость работ по исполнителям, чел.-дн. |             |              |               |
|--------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|-----------|-------------|----------------------------------------------|-------------|--------------|---------------|
|                                                              |             |                              |           |             | $T_{рд}$                                     |             | $T_{кд}$     |               |
|                                                              |             | $t_{min}$                    | $t_{max}$ | $t_{ож}$    | НР                                           | И           | НР           | И             |
| Постановка целей и задач, получение исходных данных          | НР          | 1                            | 2         | 1,4         | 1,4                                          | –           | 1,69         | –             |
| Анализ литературы                                            | НР, И       | 3                            | 6         | 5,4         | 1,62                                         | 5,4         | 1,95         | 6,51          |
| Проведение экспериментальных исследований                    | НР, И       | 25                           | 35        | 29          | –                                            | 29          | –            | 34,95         |
| Анализ результатов исследования                              | НР, И       | 6                            | 9         | 7,2         | 3,6                                          | 7,2         | 4,34         | 8,68          |
| Разработка схемотехнической документации, выбор оборудования | НР, И       | 14                           | 21        | 16,8        | 1,68                                         | 16,8        | 2,02         | 20,24         |
| Проектирование мнемосхемы проекта                            | НР, И       | 8                            | 12        | 9,6         | 0,96                                         | 9,6         | 1,16         | 11,57         |
| Оформление пояснительной записки ВКР                         | НР, И       | 8                            | 12        | 9,6         | –                                            | 9,6         | –            | 11,57         |
| Подведение итогов                                            | И           | 5                            | 7         | 5,8         | 4,64                                         | 5,8         | 5,59         | 6,99          |
| <b>Итого:</b>                                                |             |                              |           | <b>84,8</b> | <b>13,9</b>                                  | <b>83,4</b> | <b>16,75</b> | <b>100,51</b> |

Таблица 6.4.2.2 - Диаграмма Ганта

| Этап | НР   | И     | Март        |             |   |   |   | Апрель |   |   |             |             | Май         |   |   |             |   | Июнь |   |             |     |  |
|------|------|-------|-------------|-------------|---|---|---|--------|---|---|-------------|-------------|-------------|---|---|-------------|---|------|---|-------------|-----|--|
|      |      |       |             | 0           | 5 | 0 | 5 | 0      | 5 | 0 | 5           | 0           | 5           | 0 | 5 | 0           | 5 | 0    | 5 | 100         | 105 |  |
| 1    | 1,69 | –     |             |             |   |   |   |        |   |   |             |             |             |   |   |             |   |      |   |             |     |  |
| 2    | 1,95 | 6,51  | <div></div> | <div></div> |   |   |   |        |   |   |             |             |             |   |   |             |   |      |   |             |     |  |
| 3    | –    | 34,95 |             |             |   |   |   |        |   |   |             |             |             |   |   |             |   |      |   |             |     |  |
| 4    | 4,34 | 8,38  |             |             |   |   |   |        |   |   | <div></div> | <div></div> |             |   |   |             |   |      |   |             |     |  |
| 5    | 2,02 | 20,24 |             |             |   |   |   |        |   |   |             | <div></div> | <div></div> |   |   |             |   |      |   |             |     |  |
| 6    | 1,16 | 11,57 |             |             |   |   |   |        |   |   |             |             |             |   |   | <div></div> |   |      |   |             |     |  |
| 7    | –    | 11,57 |             |             |   |   |   |        |   |   |             |             |             |   |   |             |   |      |   |             |     |  |
| 8    | 5,59 | 6,99  |             |             |   |   |   |        |   |   |             |             |             |   |   |             |   |      |   | <div></div> |     |  |

НР – ; И – 

## 6.5 Бюджет научно-технического исследования

Планирование бюджета позволяет оценить затраты на проведение исследования до его фактического начала и позволяет судить об экономической эффективности работы. В данном разделе подсчитываются следующие статьи расходов:

- материальные затраты;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

### 6.5.1 Расчет материальных затрат

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на материалы, расходуемые непосредственно в процессе выполнения работ. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи. Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов ( $5 \div 20 \%$ ).

Таблица 6.5.1.1 - Материальный затраты

| Наименование материалов                   | Цена за ед., руб. | Кол-во | Сумма, руб. |
|-------------------------------------------|-------------------|--------|-------------|
| Бумага для принтера формата А4 500 листов | 219               | 1 уп.  | 219         |
| Картридж для принтера                     | 1550              | 1 шт.  | 1550        |
| Масло индустриальное                      | 53                | 10 л.  | 530         |
| <b>Итого:</b>                             |                   |        | <b>2299</b> |

Допустим, что ТЗР составляют 7 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТХР равны  $C_{\text{мат}} = 2299 \cdot 1,07 = 2459,96$  руб.

### 6.5.2 Расчет затрат на заработную плату

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера. Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/25,083, \quad (6)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Для учета в составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{пр}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп.зп}} = 1,188$ ;  $K_{\text{р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{\text{и}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$  (при шестидневной рабочей неделе).

Таблица 6.5.2.1 - Затраты на заработную плату

| Исполнитель   | Оклад,<br>руб./мес | Среднедневная<br>ставка,<br>руб./раб.день | Затраты<br>времени,<br>раб.дд | Коэффициент | Фонд<br>з/платы,<br>руб |
|---------------|--------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------|
| НР            | 49664              | 1980                                      | 14                            | 1,699       | 47096,28                |
| И             | 9489               | 378,3                                     | 84                            | 1,699       | 53898,46                |
| <b>Итого:</b> |                    |                                           |                               |             | <b>100994,74</b>        |

### 6.5.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, в нашем случае:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3 = 100994,74 \cdot 0,3 = 30298,42 \text{ руб.}$$

### 6.5.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (7)$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $C_{\text{э}} = 5,748$  руб/кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется из расчета, что продолжительность рабочего дня инженера составляет 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (8)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени.

В ряде случаев возможно определение  $t_{\text{об}}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c, \quad (9)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности равен 1.

Таблица 6.5.4.1 – Расчет затрат на технологическую электроэнергию

| Наименование оборудования | Время работы оборудования, час | Потребляемая мощность, кВт | Затраты, руб. |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| Персональный компьютер    | 667·0,8                        | 0,5                        | 3067,13       |
| Лазерный принтер          | 20                             | 0,1                        | 34,5          |
| Магнитная мешалка         | 90                             | 0,6                        | 310,4         |
| Криостат                  | 90                             | 2,5                        | 1293,3        |
| <b>Итого:</b>             |                                |                            | <b>4705,3</b> |

### 6.5.5 Расчет амортизационных расходов

В данном разделе рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. Используется формула:

$$C_{\text{ам}} = \frac{H_{\text{а}} \cdot C_{\text{об}} \cdot t_{\text{рф}} \cdot n}{F_{\text{д}}} \quad (10)$$

где  $H_{\text{а}}$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{\text{об}}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования (для шестидневной рабочей недели 2408 часов);

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Стоимость персонального компьютера составляет 50000 руб., время использования 534 часа, годовая норма амортизации оборудования 40 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$C_{\text{ам.пк}} = \frac{0,4 \cdot 50000 \cdot 534}{2408} = 4435.22 \text{ руб.};$$

Стоимость лазерного принтера составляет 20000 руб., время использования 60 часов, годовая норма амортизации оборудования 50 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$C_{\text{ам.лп}} = \frac{0,5 \cdot 20000 \cdot 60}{2408} = 249.17 \text{ руб}$$

Итого начислено амортизации 4684,39 руб.

#### 6.5.6 Расчет прочих расходов

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1, \quad (10)$$

В данном случае:

$$C_{\text{проч}} = (2459,96 + 100994,74 + 30298,42 + 7056,25 + 4684,39) \cdot 0,1 = 14549,38 \text{ руб.}$$

#### 6.5.7 Расчет общей себестоимости разработки

Таблица 6.5.7.1 - Бюджет НТИ

| Статья затрат                 | Условное обозначение | Сумма, руб.      |
|-------------------------------|----------------------|------------------|
| Материалы и покупные изделия  | $C_{\text{мат}}$     | 2459,96          |
| Основная заработная плата     | $C_{\text{зп}}$      | 100994,74        |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$     | 30298,42         |
| Расходы на электроэнергию     | $C_{\text{эл.}}$     | 7056,25          |
| Амортизационные отчисления    | $C_{\text{ам}}$      | 4684,39          |
| Прочие расходы                | $C_{\text{проч}}$    | 14549,38         |
| <b>Итого:</b>                 |                      | <b>160043,14</b> |

Таким образом, затраты на разработку  $C = 160043,14$  руб.

### 6.5.8 Расчет прибыли

Поскольку мы не располагаем данными для применения сложных методов расчета прибыли примем её в размере 20 % от полной стоимости проекта: 32008,63 руб.

### 6.5.9 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это  $(160043,14 + 32008,63) \cdot 0,2 = 38410,35$  руб.

#### 6.5.9.1 Цена разработки проекта

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае цена составляет  $C = 160043,14 + 32008,63 + 38410,35 = 23062,12$  руб.

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

Актуальным аспектом выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта.

Поскольку данная работа в первую очередь носит исследовательский характер, поэтому в данном случае возможно использование только относительных оценок.

Использование гелеобразного топлива позволяет снизить расход индустриального масла на 20 %. Исходя из этого можно сделать вывод, что при пересчете на 1 литр сжигаемого топлива получаем следующий экономический эффект, который определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{\text{д.т.}} - I_{\text{э.т.}} \quad (11)$$

где  $I_{\text{д.т.}}$  – издержки производства при использовании индустриального масла;

$I_{\text{э.т.}}$  – издержки производства при использовании гелеобразного

топлива.

Цена одного литра индустриального масла с учетом ТЗР составляет 55 руб., следовательно, стоимость эквивалентного количества гелеобразного топлива составляет 53 руб., таким образом, предполагаемый экономический эффект при производстве соответствующего количества тепловой энергии:

$$\mathcal{E} = 55 - 53 = 2 \text{руб.}$$

Данная оценка носит лишь приблизительный характер, для более точной оценки экономического эффекта требуется проведение дополнительных исследований на реальных энергетических установках.

#### Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе выполнения данного раздела оценены экономические аспекты исследуемого подхода к построению системы автоматического регулирования температуры:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена на небольших предприятиях пищевой, химической промышленности, объектах ЖКХ, а также в лабораториях (см. подраздел 6.1.1).

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. Выявлено два конкурента: компания «ОВЕН» и Челябинское производственное предприятие «МЕТРАН». Разрабатываемая система на текущем этапе уступает конкурентам по удобству использования (см. подраздел 6.2), однако выигрывает за счёт применения программного пакета MATLAB, позволяя применять математическое моделирование и сложные алгоритмы управления в совокупности со сравнительно дешёвым ПЛК.

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: рост спроса на адаптивные и интеллектуальные системы; повышенные требования к безопасности; оптимизация затрат на предприятии. Возможные пути снижения

влияния выявленных угроз представлены в подразделе 6.3.

4. Был произведен подсчет затрат на разработку, исходя из этого можно сформировать вывод о том, что основной статьей расходов является расходы на заработную плату – 100994,74 руб. (60%), на втором месте расходы на соц. Нужды – 30298,42 руб (17%), Затем идут накладные расходы – 16627 руб (9%), прочие расходы – 14549,38 руб. (8%). расходы на электроэнергию – 4705,3 руб.(2%). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 4684,39 руб. и материальные затраты – 2299 руб.(4). Общий бюджет разработки составил 160043,14 руб.

5. В заключительной части была рассчитана экономическая эффективность внедряемой разработки.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                    |
| 5БМ03         | Филиппову Евгению Викторовичу |

|                     |                     |                        |                                                 |
|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Школа</b>        | <b>Магистратура</b> | <b>Отделение (НОЦ)</b> | <b>Направление/специальность</b>                |
| Уровень образования |                     |                        | 13.04.01<br>«Теплоэнергетика<br>и теплотехника» |

Тема ВКР:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Автоматическая система управления приготовления многокомпонентного гелеобразного топлива</b>                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1. Характеристика объекта исследования                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Создание автоматической системы управления температуры многокомпонентного гелеобразного топлива на стадии его приготовления                                                                                                                                                                                                                     |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</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>- ФЗ №181 «Об основах охраны труда в РФ Конституция РФ</li> <li>-ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ.</li> <li>Оборудование производственное.</li> <li>Общие эргономические требования.</li> <li>- Конституция РФ</li> </ul>                                                                                           |
| <b>2. Производственная безопасность:</b><br>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов<br>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Повышенный уровень шума</li> <li>-Отклонение показателей микроклимата</li> <li>Повышенный уровень электромагнитных излучений</li> <li>- Поражение электрическим током</li> <li>- Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов</li> <li>- Движущиеся части машин и механизмов</li> </ul> |
| <b>3. Экологическая безопасность:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | – Влияние рассматриваемого объекта исследования на атмосферу и гидросферу, методы минимизации ущерба окружающей среде                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Короткое замыкание</li> <li>-Самовозгорание</li> <li>-Не соблюдение техники безопасности</li> </ul>                                                                                                                                                                                                    |

|  |                                                                                                  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | -Перегрузка сетей, которая ведет<br>сильный нагрев токоведущих<br>элементов и загорание изоляции |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность            | ФИО                         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ООД<br>ТПУ | Сечин Александр<br>Иванович | Д.Т.Н.                    |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 5БМ03  | Филиппов Евгений Викторович |         |      |

## 7 Социальная ответственность

Промышленные объекты, задачей которых является производство топлива представляют опасность для окружающей среды, так же, как и любые другие объекты химической и нефтегазовой промышленности. Опасным фактором таких производств являются взрывоопасные компоненты, используемые для производства продукции. Так же немаловажным фактором является токсичность химических компонентов. Поэтому в помещении, где хранятся и смешиваются компоненты топливных микроэмульсий необходима вентиляция. Для защиты от воздействия химических компонентов, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда. Из-за работы насосов и смешивающей установки в производственном помещении создаётся шум, что также негативно влияет на организм человека и окружающую среду.

### 7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основой правового законодательства является Конституция, т. е, законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей.

Существуют принятые нормы в области охраны труда:

- 1) на первом месте жизнь и здоровье работника, а потом уже результат производственной деятельности предприятия;
- 2) единые нормативные требования по охране труда;
- 3) защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве.

Действующим нормативом по охране труда является ГОСТ 12.0.004 - 2015.

#### 7.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические,

лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Условия труда - совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.

Рабочее место - место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя. Средства индивидуальной и коллективной защиты работников - технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных и (или) опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения.

Требования охраны труда – государственные нормативные требования охраны труда, в том числе стандарты безопасности труда, а также требования охраны труда, установленные правилами и инструкциями по охране труда (часть десятая введена Федеральным законом от 30.06.2006 N 90-ФЗ) (в ред. Федерального закона от 24.07.2009 N 206-ФЗ).

Профессиональный риск - вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных настоящим кодексом, другими федеральными законами. Порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ).

Также необходимо соблюдать временной режим работы персонала при проведении экспериментов. Время проведения экспериментов не должно превышать 4 часов. В противном случае возможно снижение внимательности и работоспособности персонала.

### 7.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Выполняя планировку рабочего места, необходимо учитывать следующее:

- 1) проход слева, справа и спереди от стола должен составлять 500 мм;
- 2) расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно - цифровых знаков и символов;
- 3) окраска дизайна ПЭВМ должна быть выполнена в спокойных мягких тонах;
- 4) корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики;
- 5) конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;
- 6) все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

## 7.2 Производственная безопасность.

### 7.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Таблица 7.1 - Опасные и вредные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)                                    | Этапы работы |              |              | Нормативные документы                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                 | Разработка   | Изготовление | Эксплуатация |                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1. Повышенный уровень шума                                      |              | +            | +            | Шумы – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [1]<br>Микроклимат – СанПиН 2.2.4.548 – 96 [2]<br>Электромагнитное излучение - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [3]<br>Электробезопасность – ГОСТ 12.1.038-82 [4]<br>Защита от тепловых воздействий ГОСТ Р 30331.4-95 [5] |
| 2. Отклонение параметров микроклимата                           | +            | +            | +            |                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений                | +            | +            | +            |                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4. Поражение электрическим током                                | +            | +            | +            |                                                                                                                                                                                                                                                |
| 5. Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов | +            | +            | +            |                                                                                                                                                                                                                                                |
| 6. Движущиеся части машин и механизмов                          | +            | +            | +            |                                                                                                                                                                                                                                                |

Проведение экспериментальных исследований подразумевало работу с легковоспламеняющимися веществами, в частности масло промышленное И-40А. Марки масла промышленного классифицируют в соответствии с ГОСТ 20799-88.

Масло как типичный нефтепродукт при длительном и частом воздействии на кожный покров может привести к кожным заболеваниям. Попадая через кожный покров в организм человека масло способно вызывать отравления. Пары нефтепродуктов также оказывают на человека раздражающее и наркотическое действие. При больших концентрациях паров возможны потери сознания, а также нарушения сердечной деятельности.

Используемые в ходе проведения экспериментов жидкости являются легко воспламеняемыми. Пары гелеобразного топлива под действием источника зажигания способны вспыхивать при температуре 51 °С, поэтому при проведении экспериментов в обязательном порядке следует соблюдать правила пожарной безопасности

### 7.2.2 Отклонение параметров микроклимата

Находясь на рабочем месте в производственном помещении человек подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на тепловое состояние организма. Основными параметрами производственного микроклимата являются действующими на организм человека температура влажность и скорость движения воздуха, а также температура окружающих поверхностей.

Работа на ПК в офисном помещении относится к классу легких работ с энергозатратами 150 ккал/час. Для данного типа работ допустимые величины микроклимата должны обеспечиваться при следующих условиях:

- перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 4 °С.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать данным таблицы 7.2:

Таблица 7.2 - Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

| Период года | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодное    | 21-23                   | 60-40                              | < 0,1                          |
| Теплое      | 22-24                   | 60-40                              | < 0,1                          |

В таблице 7.3 приведены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах.

Таблица 7.3 - Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С  |                          | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с     |                                      |
|-------------|--------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
|             |                                            | ниже оптимальных величин | выше оптимальных величин |                                    | ниже оптимальных величин, не более | выше оптимальных величин, не более** |
| Холодный    | Iб (140 – 174)                             | 19,0 – 20,9              | 23,1 – 24,0              | 15 - 75                            | 0,1                                | 0,2                                  |
| Теплый      | Iб (140 – 174)                             | 20,0 – 21,9              | 24,1 – 28,0              | 15 - 75 *                          | 0,1                                | 0,3                                  |

\* При температурах воздуха 25° С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии со специальными требованиями

\*\* При температурах воздуха 26 - 28° С скорость движения воздуха в теплый период года должна приниматься в соответствии со специальными требованиями

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров на рабочем месте используются системы вентиляции и отопления.

Вредным веществом, содержащимся в воздухе, является углекислый газ, CO<sub>2</sub>. Предельная норма содержания CO<sub>2</sub> в воздухе, согласно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» составляют 20 мг/м<sup>3</sup>. Проблему уменьшения содержания CO<sub>2</sub> в воздухе также можно решить с помощью системы кондиционирования.

### 7.2.3 Расчёт искусственного освещения

В качестве исходных данных будет использовано помещение операторной с размерами: длина 8 м (А), ширина 7 м (В), высота 3,5 м (Н). Высота рабочей поверхности  $h_{rp} = 0,8$  м. Требуется создать освещенность  $E = 300$  Лк согласно СНиП 23-05-95\* для системы общего освещения. Коэффициент отражения стен, оклеенных светлыми обоями  $R_c = 70$  %, свежепобеленного потолка  $R_n = 50$  %.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

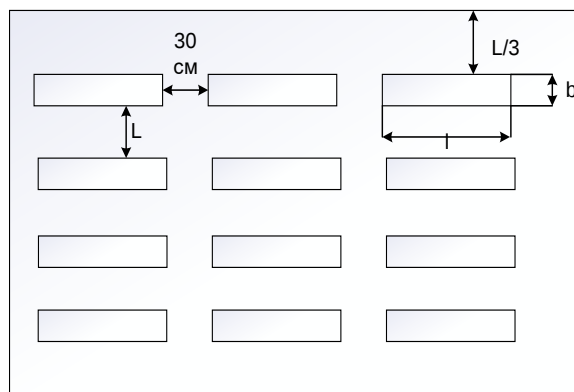


Рисунок 7.1 – Условное изображение люминесцентного освещения

Выбираем светильники типа ОД,  $\lambda = 1,4$  м.

Приняв  $h_c = 1$  м, получаем:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 3,5 - 1 - 0,8 = 1,7 \text{ м.}$$

Причём высота подвеса  $h_{pn}$  равна 2,5 м (рисунок 7.2), что является допустимым значением для принятого типа светильников.

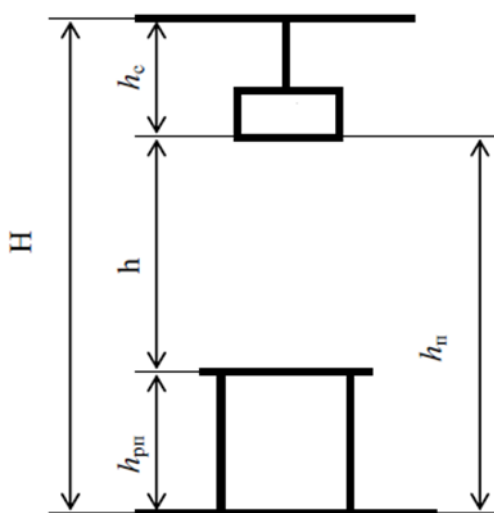


Рисунок 7.2 – Условное изображение допустимых расстояний между оборудованием

Расстояние между светильниками:

$$L = 1,4 \cdot 1,7 = 2,38 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 0,79 \text{ м.}$$

Определяем количество рядов светильников и количество светильников в ряду:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3}L}{L} + 1 = \frac{7 - \frac{2}{3} \cdot 2,38}{2,38} + 1 \approx 3;$$

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3}L}{l_{\text{св}} + 0,5} = \frac{8 - \frac{2}{3} \cdot 2,38}{1,230 + 0,5} \approx 4.$$

Размещаем светильники в четыре ряда. В каждом ряду можно установить 3 светильника типа ОД (с длиной  $l=1,230$  м; шириной  $b=0,265$  м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 30 см.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 3 \cdot 2 \cdot 4 = 24$ .

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 7}{1,7 \cdot (8 + 7)} = 2,196 \approx 2,2.$$

Определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 62\% \quad \text{или} \quad \eta = 0,62.$$

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5;  
 $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчетах берется равным 1,1.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,62 \cdot 24} = 1862,9 \text{ Лм.}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу -

ЛХБ 30 Вт с потоком 1940 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \leq +20\%;$$

$$-10\% \leq \frac{1940 - 1862,9}{1940} \cdot 100\% = 3,97\% \leq +20\% - \text{входит в диапазон.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \frac{24 \cdot 30}{0,75} = 960 \text{ Вт.}$$

#### 7.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электрическое оборудование, располагающееся в производственном помещении, является источников электромагнитных полей.

ЭМИ (электромагнитное излучение) оказывает негативное влияние на нервную, эндокринную и сердечно-сосудистую систему. Длительное нахождение в его зоне вызывает головные боли, бессонницу, стресс.

Степень воздействия ЭМИ на организм человека зависит от напряжения, которое проходит через окружающее оборудование. Чем выше напряжение, тем сильнее воздействие электромагнитных волн. В таблице 3 показаны предельно допустимые нормы.

Таблица 7.4 - Предельно допустимые нормы ЭМИ для производственных помещений

| Диапазоны частот | Предельно допустимая энергетическая экспозиция          |                                                     |                                                          |
|------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                  | По электрической составляющей,<br>(В/м) <sup>2</sup> *ч | По магнитной составляющей,<br>(А/м) <sup>2</sup> *ч | По плотности потока энергии<br>(мкВт/см <sup>2</sup> )*ч |
| 300 кГц – 3МГц   | 20000,0                                                 | 200,0                                               |                                                          |
| 3-30 МГц         | 7000,0                                                  | Не разработаны                                      | -                                                        |
| 30-50 МГц        | 800,0                                                   | 0,72                                                | -                                                        |
| 50-300 МГц       | 800,0                                                   | Не разработаны                                      | -                                                        |
| 300 МГц -300 ГГц | -                                                       | -                                                   | 200,0                                                    |

На предприятиях эффективным средством защиты от ЭМИ является снижение времени нахождения вблизи источника, это достигается нормированным рабочим графиком и обязательными перерывами в течение рабочего дня. Также персонал во время работы обеспечен специальной одеждой, или работа производится с помощью экранизирующих устройств.

#### 7.2.5 Повышенный уровень шума

Одним из методов уменьшения воздействия шума в лаборатории является снижение или ослабление шума в его источниках - генераторы, нагреватели, нагнетатели, трансформаторы, вентиляторы, компрессоры. Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума. В качестве индивидуальных средств защиты от шума могут использоваться специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума.

Таблица 7.5 - Допустимые уровни шума (ГОСТ 12.1.003-2014)

| Рабочие места | Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц |     |     |     |      |      |      |      | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------------------------------------------------|
|               | 63                                                                                       | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |                                                   |
| ОРУ           | 99                                                                                       | 92  | 86  | 83  | 80   | 78   | 76   | 74   | 85                                                |

#### 7.2.6 Поражение электрическим током

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В, есть вероятность электропоражения.

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаизолированного от земли человека к незаизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

### 7.2.7 Повышенная температура поверхностей оборудования материалов

Во время работы с криостатом некоторые части оборудования сильно нагреваются (задняя крышка криостата, насосный отсек). Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам. Согласно ГОСТ Р 30331.4-95, мерами предосторожности являются:

- не прикасайтесь к нагретым частям оборудования во время его работы (или после завершения работы при остывании печи);
- соблюдайте осторожность при работе с исследуемыми нагретыми образцами;
- выполняйте все работы по обслуживанию и чистке оборудования только при полностью отключенном от сети питания оборудовании и после остывания нагретых частей;
- используйте верхонки для защиты рук от ожогов.

### 7.2.8 Движущиеся части машин и механизмов

Существует опасность получения травмы подвижными элементами смешивающего устройства. Перед включением устройства следует убедиться в отсутствии каких-либо препятствий на пути лопастей.

Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации смешивающего устройства необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;
- запрещается эксплуатация устройства при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами;
- при эксплуатации необходимо следить за чистотой всех механизмов устройства и двигателя, периодически очищать их от пыли и грязи. Обтирочные материалы, которыми очищается устройство, не должны оставлять следов и ворса на протираемых поверхностях.

### 7.2.9 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя от действий опасных и вредных факторов

Для предотвращения ожогов при работе с криостатом необходима специализированная одежда, и выполнение техники безопасности для химических лабораторий.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током соблюдаются требования:

- при производстве монтажных работ используются только исправные инструменты, аттестованные службой КИПиА;

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

- при включенном сетевом напряжении работы на задней панели запрещены;

- все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом;

- постоянное наблюдение за исправностью электропроводки.

Для уменьшения воздействия шума на организм человека были проведены следующие мероприятия:

- проверена точность сборки установки, для устранения люфтов;

для уменьшения загазованности и влажности в помещении устанавливается вытяжная система.

Помещение оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией с нижним и верхним отсосом, обеспечивающей равномерный приток свежего воздуха и удаление загрязненного. Приточно-вытяжная вентиляция во время проведения экспериментов работает постоянно.

### 7.3 Экологическая безопасность

Загрязнение (окружающей среды, природной среды, биосферы) – это привнесение в окружающую среду (природную среду, биосферу) или возникновение в ней новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов (загрязнителей), или превышение их естественного среднесуточного уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

#### 7.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В процессе хранения гелеобразного топлива в открытых емкостях может происходить испарение. Пары нефтепродуктов, как известно, могут содержать значительное количество вредных веществ, таких как оксиды серы и азота. Смешиваясь с воздухом вредные вещества могут нанести серьезный ущерб жизни и здоровью человеческого организма, а также может отразиться на состоянии окружающей среды. Поэтому хранение гелеобразного топлива необходимо производить в герметичном закрытом баке.

Дистиллированная вода и поливиниловый спирт не настолько губительны для окружающей среды и организма человека, но в целях безопасности и экономии компонентов хранение необходимо производить в герметичных закрытых баках.

#### 7.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Антропогенные выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ – один из основных факторов, обуславливающих изменение химического состава атмосферы и ее теплового баланса. Как показано в исследованиях, процессы добычи, переработки и сжигания органического топлива являются источником 80 % суммарных объемов выбросов в атмосферу, в том числе 90 % диоксида углерода, изменения содержания которого называют основной причиной современного повышения температуры.

Негативное влияние вредных компонентов на здоровье населения, флору и фауну, объекты и сооружения не ограничивается территорией,

прилегающей к источникам выбросов, а распространяется на сотни и тысячи километров. Поэтому в настоящее время загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер, а расходы на ее охрану стали соизмеримы с величиной экологического ущерба.

### 7.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для уменьшения воздействия паров гелеобразного топлива и смеси поверхностно активных веществ, выделяющихся при длительном хранении необходимо принять ряд мер по изоляции и герметизации емкостей хранения, а также узлов, производящих перекачку и слив как компонентов в отдельности, так и уже готовой микроэмульсии. В качестве емкостей хранения необходимо выбирать закрытые баки и уплотнителями на крышках и местах стыка трубопровода. Также рекомендуется произвести дополнительные меры по герметизации емкостей и узлов транспортировки.

### 7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

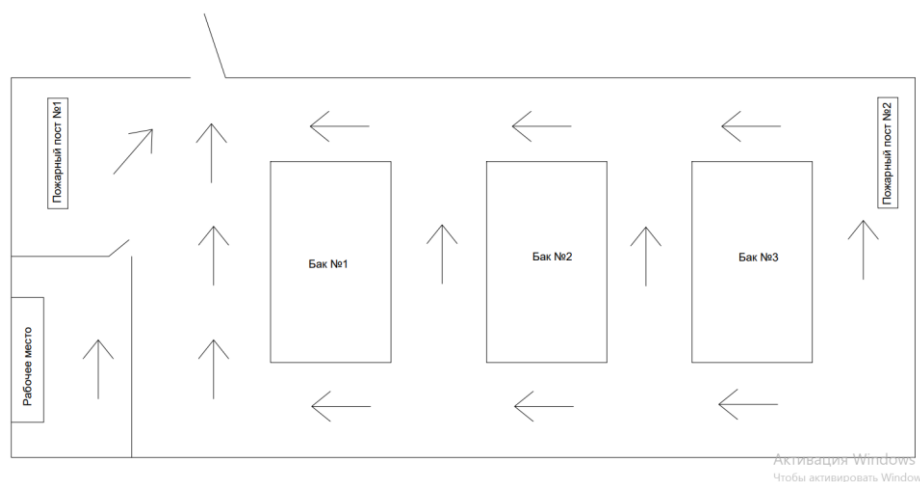


Рисунок 7.3 план эвакуации

На рисунке 7.3 изображен план эвакуации помещения при ЧС. Стрелочками указывается пути эвакуации, эвакуационные выходы, обеспечивающие организованное движение людей наружу из помещений, где есть вероятность влияния на них опасных факторов пожара. На пожарных постах 1,2 размещены первичные средства пожаротушения (огнетушители, ящики с песком). На рабочем месте находится телефон для вызова экстренных служб.

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

В лаборатории и на производстве наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо хранить, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них. Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха.

Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

#### 7.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Особое внимание стоит уделить пожаробезопасности и электробезопасности. При функционировании криостата существуют риски возникновения опасных ситуаций, как и при работе любого высокомоощного электрического прибора. Так как установка работает в режиме нагрев/охлаждение, одним из таких рисков является перегрев оборудования выше температуры, рассчитанной для его стабильной работы, что может

привести к воспламенению экспериментального стенда, а вследствие и лаборатории. Для предотвращения появления такой ситуации необходимо тщательно следить за изменением температуры в насосном отсеке и следить за правильностью подключения к электрической сети. Также, причиной возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с возгоранием помещения, может послужить короткое замыкание в проводке экспериментального стенда.

Поэтому, для предотвращения возгорания помещение должно быть оборудовано средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи.

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

Во избежание вышеперечисленных ситуаций необходимо осуществлять:

- 1) качественный монтаж технических средств автоматизации;
- 2) подбор кабелей нужного сечения;
- 3) произвести заземление оборудования;
- 4) при изнашивании какого-либо электрического элемента системы

произвести его замену.

#### Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» были рассмотрены и проанализированы вопросы, обуславливающие социальную ответственность для разработанной системы

В итоге по разделу «Социальная ответственность» были изучены: негативные воздействия на окружающую среду; выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве; указаны методики и средства борьбы с этими факторами; описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению, а также описаны требования по поведению персонала при ЧС.

В конце хочется отметить, что на данный момент упадок окружающей среды связана с тем, что на больших предприятиях установлено устаревшее оборудование, которое не имеет новейших систем фильтрации, соответственно идет увеличение выбросов и отходов. Из этого следует, что нужно устанавливать новое оборудование, регулирующее работу котлов, как итог идет сокращение пагубного влияния на атмосферу и литосферу, так же исходя их моей работы можно предложить замену твердого топлива на композиционное.

## Заключение

В рамках настоящей выпускной квалификационной работы разработана автоматическая система управления процессом приготовления гелеобразного топлива.

Эта система является трехуровневой. Первый или полевой уровень включает в себя датчики измерения температуры, уровня, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы с указателем положения. Средний уровень занимает регулирующее устройство, реализованное в качестве программируемого логического контроллера. А также имеется возможность управления процессом дистанционно с верхнего уровня системы управления посредством АРМ-оператора с установленной SCADA-системой.

Также разработан комплект проектной и конструкторской документации: структурная схема, функциональная схема, заказная спецификация, схема монтажная схема, принципиальная электрическая, перечень элементов, общий вид щита управления. Выполнен расчет оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.

При эксплуатации реальных объектов, работающих на гелеобразных микроэмульсиях, важно контролировать состояние топлива. Экспериментально были определены температурные диапазоны стабильности топливных композиций в зависимости от концентрации ПАВ. Для эффективно использования микроэмульсионного топлива необходимо соблюдать температурные условия таким образом, чтобы температура микроэмульсии соответствовала диапазону устойчивого состояния.

Проведена оценка экономической эффективности проекта при его внедрении на практике.

Рассмотрено влияние вредных факторов на организм человека и окружающую среду в процессе работы технологического оборудования.

Разработаны инструкции и мероприятия по устранению и минимизации влияния негативных факторов производства.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kadota T, Yamasaki H. Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. *Prog Energy Combust Sci* 2002; 28:385–404.
2. Debnath BK, Saha UK, Sahoo N. A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 42:196–211.
3. Lif A, Holmberg K. Water-in-diesel emulsions and related systems. *Adv Colloid Interface Sci* 2006;126:231–239.
4. Lijian Leng, Xingzhong Yuan, Guangming Zeng, Hou Wang. The comparison of oxidative thermokinetics between emulsion and microemulsion diesel fuel. *Adv Energy Conversion and Management* 2015; 101; 364–370
5. Neuma CD, Silva AC, Neto AAD. New microemulsion systems using diesel and vegetable oils. *Fuel* 2001; 80:75–81.
6. Lin YC, Lee WJ, Chao HR, Wang SL, Tsou TC, Chang Chien GP, et al. Approach for energy saving and pollution reducing by fueling diesel engines with emulsified biosolution/biodiesel/diesel blends. *Environ Sci Technol* 2008; 42:3849–55
7. A. Lif, K. Holmberg, Water-in-diesel emulsions and related systems, *Adv. Colloid Interface Sci.* 2006; 123: 231–239.
8. R. Ochoterena, A. Lif, M. Nydén, S. Andersson, I. Denbratt, Optical studies of spray development and combustion of water-in-diesel emulsion and microemulsion fuels, *Fuel* 2010; 89: 122–132.
9. Debnath BK, Saha UK, Sahoo N. A comprehensive review on the application of emulsions as an alternative fuel for diesel engines. *Renew Sust Energ Rev* 2015; 42:196 – 211.
10. Lin Ch-Y, Lin Sh-A. Effects of emulsification variables on fuel properties of two- and three - phase biodiesel emulsions. *Fuel* 2007; 86:210 – 7.
11. Термопреобразователь сопротивления медный ТСМ Метран – 243 (50М) 2019. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.td-utr.ru>. –

Загл. с экрана.

12. Рефлексный микроволновый уровнемер MicroTrek 2019. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://www.rospribor.com> свободный. – Загл. с экрана.

13. Модуль аналогового ввода/вывода ТМА-301. [Электронный каталог]. – Режим доступа <https://www.elesy.ru> свободный. – Загл. с экрана.

14. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

15. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.

16. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности

17. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

18. ГОСТ 30331.4-95. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий

Приложение А  
(справочное)

**Automatic control system for the multicomponent gel fuel preparation**

Студент

| Группа | ФИО                            | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 5БМ03  | Филиппов Евгений<br>Викторович |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность       | ФИО                             | Ученая<br>степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------|---------|------|
| Доцент<br>ИШФВП | Пискунов Максим<br>Владимирович | к.ф.-м.н.,<br>доцент         |         |      |

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

| Должность | ФИО                            | Ученая<br>степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|------------------------------|---------|------|
| Доцент    | Пташкин Александр<br>Сергеевич | к.ф.н.,<br>доцент            |         |      |

## 1 Introduction

Currently, researchers of fuel technologies are engaged in solving the most significant group of problems. In particular, research is being carried out related to the creation of technology that helps to minimize fuel consumption, increase usage efficiency, as well as increase the dynamics of the combustion process, reduce anthropogenic emissions from fuel combustion, improve the completeness of fuel combustion, improve the quality of the fuel obtained during manufacturing, and at the same time reduce the economic costs of production.

Non-metallized and metallized gel fuels (GF) based on combustible liquids are a promising alternative energy resource, offering the benefits of conventional solid (coal, oil shale, metallized composite solid fuel) and liquid (gasoline, diesel fuel, kerosene, alcohol, ligroin, fuel oil) fuels. Gel fuels do not suffer from some drawbacks typical of widely used liquid and solid fuels in terms of storage, transportation and energy characteristics in the context of the aerospace industry. Moreover, GF production from waste petroleum products and their subsequent recovery to generate energy offer a solution to pressing environmental problems caused by air and soil pollution from liquid hydrocarbons. Another aspect they deal with is providing and improving the energy and performance characteristics of technological systems and equipment in transport and in the power industry, as well as fuel storage, transportation and combustion. Several studies have shown that GF have lower volatility and sensitivity to impact, friction and electrostatic discharge than widespread liquid fuels [1]. In contrast to liquid fuels, GF do not require special ambient conditions or containers with extra protection from leakage and spills. At present, there are GF compositions whose energy characteristics are higher than those of solid fuels. Their specific impulse is, in particular, 300–350 s of thrust at 1 kg of propulsion per 1 kg of fuel. They are also highly resistant to crack formation in the fuel charge structure. The latter rules out an uncontrolled increase in the area and rate of the fuel combustion [2].

There are two well-known methods currently used to produce GF: one is based on polymerization with phase separation, the other involves cryogelling. GF

produced by these methods have a macroporous structure whose cells are filled with fine droplets of combustible liquid, e.g., waste petroleum products, if environmental problems are to be addressed. The heating of GF during their combustion destroys the polymer matrix containing water and thickener. This yields a combustible mixture consisting of the aqueous solution of polymer and a combustible liquid. It was found that the combustion of droplets of this mixture under the typical furnace conditions of energy generation equipment occurs with their complete (micro-explosion) or partial (puffing, i.e., local micro-explosion) dispersion. The dispersion increases the effective surface area of the fuel, thus enhancing the ignition and accelerating the burnout of its components. At present, the ignition and combustion behavior of fuel droplets during dispersion in free fall after the exposure to radiant heating or radiant-convective heating, when a droplet is stationary on a dedicated holder, are well understood [3]. In practice, GF are atomized in a furnace using spray nozzles or flow nozzles. The average velocity of GF fragments after spraying ranges from 0.23 m/s to 38.20 m/s. At such velocities, only part of GF burns in free fall when sprayed, which accounts for the conditions under which this process is explored: a stationary particle on a dedicated holder and when it is free falling. Before ignition, some GF particles are in contact with the inner walls and surfaces of combustion chambers or furnaces, heated to high temperatures. This corresponds to the conditions when GF particles are placed on a surface heated to typical combustion temperatures in furnaces and combustion chambers. To date, there are no studies on the ignition, combustion and burnout of GF particles when they disperse during conductive heating on ceramic surfaces with temperatures corresponding to furnaces. The heat of combustion of GF can be significantly increased by adding micro- or nanoparticles of metals to the composition. Such fuels are mainly developed experimentally by using possible components one by one to produce combinations and test them in the combustion experiments.

Gel fuels are burned in combustion chambers made of ceramic materials in the aerospace equipment, since they offer a number of advantages over metals. These are high heat, scale, crack and wear resistance coupled with a long life cycle under

the conditions of high-temperature oxidation at 1200–1600 °C [4].

## 2 Experimental methods

### 2.1. Fuel preparation

Using the method described in our previous study, a group of non-metallized and metallized GF based on waste petroleum products was produced (Table 1).

**Table 1.** GF compositions.

| No. of composition | Component concentrations, wt% |           |                  |                |
|--------------------|-------------------------------|-----------|------------------|----------------|
|                    | Aqueous solution of PVA       | Waste oil | Copper particles | Iron particles |
| 1                  | 50                            | 50        | –                | –              |
| 2                  | 35                            | 35        | 30               | –              |
| 3                  | 35                            | 35        | –                | 30             |

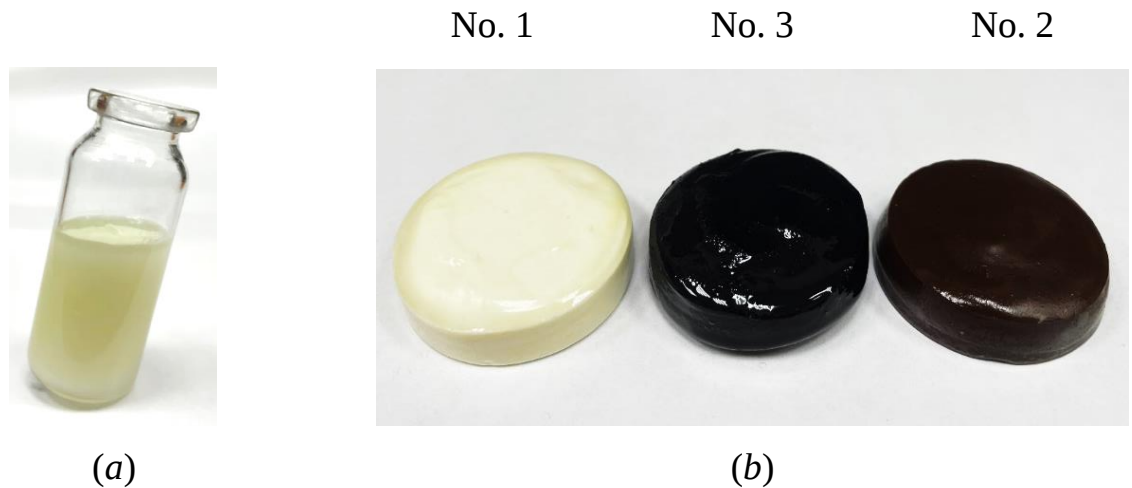
Fuel production and sample (particles) preparation for ignition experiments comprised three main stages.

At the first stage, a PVA powder (Kuraray Poval 15-99, 4% viscosity (DIN 53015) 13.4 mPa s, degree of hydrolysis 99.2%, 0.8% residual acetyl content (Kuraray Co., Ltd, Japan)) was dissolved in water with no more than 5  $\mu$ S/cm at 80 °C. To enhance the powder dissolution, an ES-8300 D paddle mixer (Ekros, Russia) was used at 500 rpm. As a result of this procedure, a 10 wt% aqueous solution of PVA was obtained.

At the second stage, I-40A industrial oil (kinematic viscosity 61–75 cSt (at 40 °C); density 868 kg/m<sup>3</sup> (at 20 °C); ash content no more than 0.005 wt%; freezing temperature below minus 15 °C; flash temperature at or above 220 °C) and Tween 80 emulsifier (polyxyethylene (20) sorbitan monooleate (Vecton, Russia)) were added to the aqueous solution of PVA. A high-speed GJ-3S agitator (Qingdao ChuangMeng Instrument Co., Ltd., China) was applied at 11,000 rpm to turn the mixture into emulsion. To prepare metallized GF, fine solid particles of copper

nanopowder (98 wt% Cu + 2 wt% other chemical elements, particle size 50–110 nm, (Plasmoterm, Russia)) or iron nanopowder (20–30 wt% C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> + Fe, particle size 90–110 nm (Advanced powder technologies, Russia) were added to the emulsion consisting of waste oil and emulsifier. The mixture was stirred with a paddle mixer at 500 rpm to get a homogeneous structure.

At the third stage, the gel-like structure of the fuel was formed. The resulting emulsion and slurry were poured into containers 20 mm in diameter and height. After a *freezing/thawing* cycle at -15 °C and +20 °C, the fuel turned from liquid to gel (Fig. 1). Each stage of the *freezing/thawing* cycle lasted at least 12 hours.



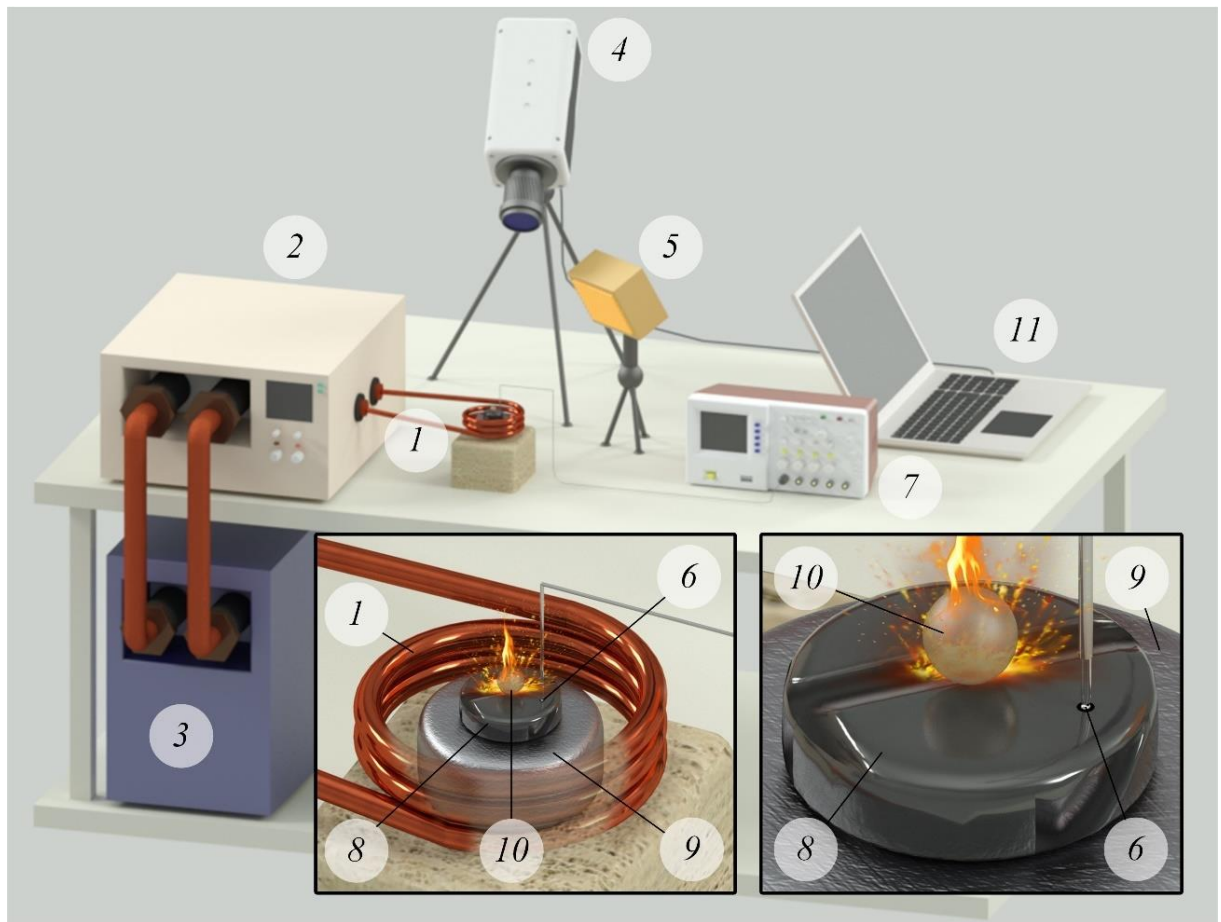
**Fig. 1.** Appearance of primary fuel emulsion (a) and GF pellets (b).

## 2.2 Method and equipment to study the ignition and combustion of non-metallized and metallized GF exposed to conductive heating on ceramic surfaces

Figure 2 presents the layout of the setup used to conduct experimental research into the ignition and combustion of combustible liquid droplets and GF particles on heated surfaces of submicron SiC ceramics. The experimental setup includes an inductor spiral 1, an inductor power unit 2, a chiller 3 (all of them by Jinlai, China), a complex to record fast processes 4 based on a high-speed Phantom v411 color video camera (Vision Research, USA) and a PT-V9 LED spotlight 5 (MultiLED, Germany), a system to record temperatures based on a fast-response type K

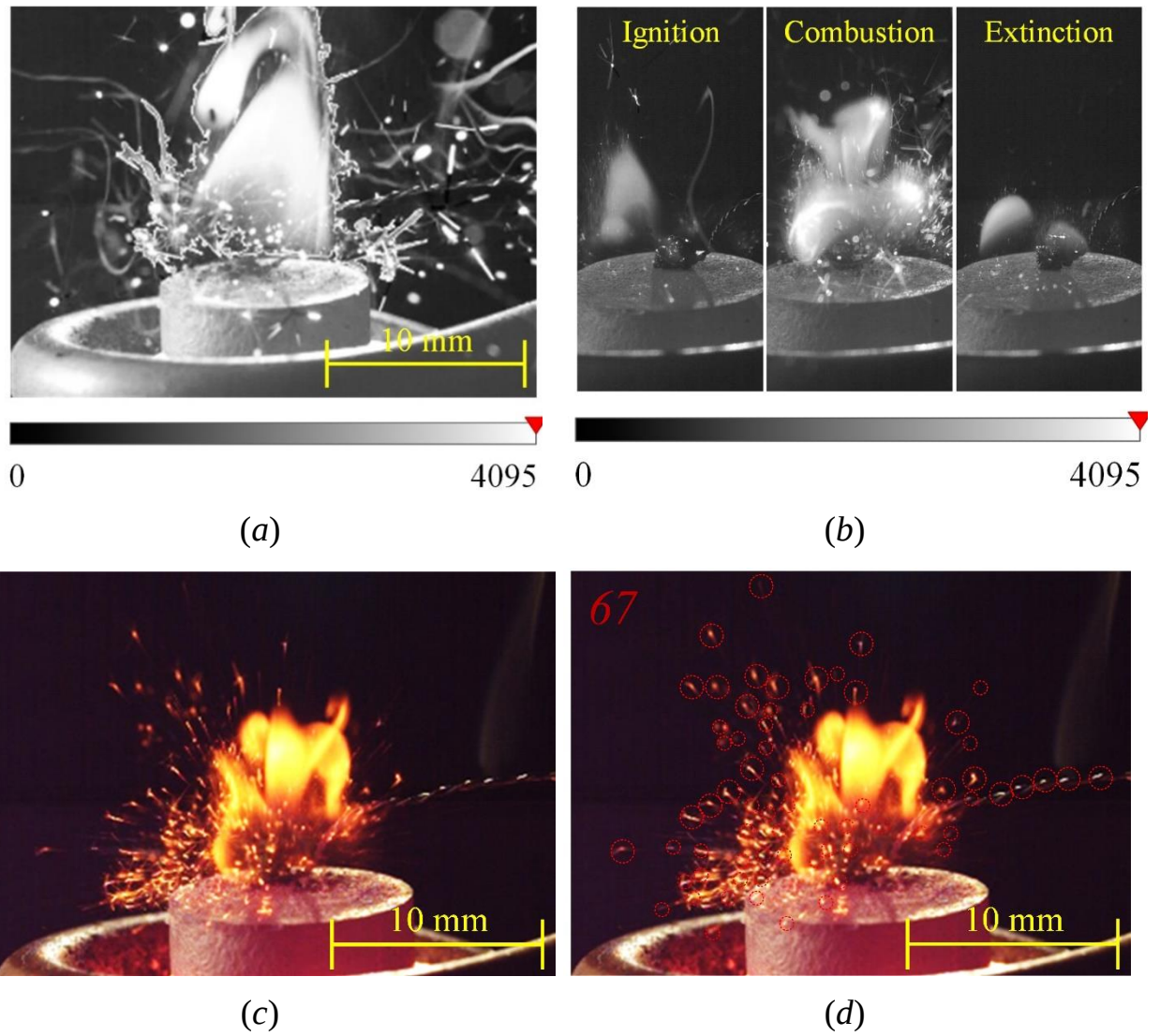
thermocouple 6, XCIB-K-4-4-10 (Omega, USA) and a multichannel oscilloscope 7, DS1104B (Rigol, China).

The ceramic samples 8 were placed on a metal cylinder 9 made of heat- and scale-resistant AISI 310S steel. A layer of Gripcott NF thermal compound (Molydal, France) was applied between the metal cylinder surface and the ceramic sample to provide ideal thermal contact (without irregularities, gaps and air layers). The steel cylinder was heated by Foucault currents when exposed to an alternating magnetic field 1 generated by the inductor spiral 2. The chiller 3 was used to cool the strength elements of the inductor and the spiral. The ceramic sample was heated through the thermal conductivity from the metal cylinder. When the necessary temperature (850 °C) was reached, a GF particle 10 (or a combustible liquid droplet) with a mass of 10 mg and initial temperature of 25 °C was placed on the ceramic surface. It should be noted that 850 °C is the average temperature of furnace walls in contemporary power generation plants [39]. A thermocouple junction controlling the ceramic surface temperature was positioned in a valley shaped as a half-sphere (with a diameter corresponding to two thermocouple junction diameters), filled with a high-temperature thermal compound. The error of temperature measurement did not exceed 0.4%.



**Fig. 2.** Scheme of experimental setup: 1 – inductor spiral; 2 – inductor power unit; 3 – chiller; 4 – high-speed video camera; 5 – LED spotlight; 6 – thermocouple; 7 – oscilloscope; 8 – ceramic sample; 9 – metal cylinder; 10 – GF particle; 11 – personal computer.

The ignition and combustion video frames obtained at a frame rate of 2000 fps at a resolution of 600×480 pixels and 12 bit were processed using the Tema Automotive software (Image Systems AB, Sweden) and Phantom Camera Control software (Vision Research, USA) installed on the personal computer 11. The experiments were conducted under identical laboratory conditions with good repeatability at an ambient temperature of 25 °C and relative humidity about 45%. Figure 3 presents typical images illustrating the video frame processing stages.



**Fig. 3.** Typical images illustrating the stages of video frame processing, ignition and combustion of GF: moment of ignition (Phantom Camera Control software) (a); stages of ignition, combustion and burnout of gel fuel particle (Tema Automotive software) (b); number of local micro-explosions of GF melt droplet (Tema Automotive software) (c); average size and velocity of fragments breaking away in the fuel melt droplet dispersion (d).

The characteristics  $t_d$ ,  $t_{\text{burn}}$ ,  $d_{\text{av}}$ ,  $N$  and  $V$  were determined using well-tested techniques [40] that are briefly described below.

The moment when a GF particle (a combustible liquid droplet) contacts a heated ceramic surface was taken as the starting point of the ignition delay. The moment of the gas-vapor mixture ignition (Fig. 3a) was taken as the finishing point

of the ignition delay ( $t_d$ ). The random error of experimental determination of the ignition delay time did not exceed 10%, the systematic error was 0.5%.

The burnout time was calculated as a period between the moments corresponding to two events (Fig. 3b). The first event is the fuel ignition, which was recorded when the threshold luminous intensity in the recording area was achieved. The video recording processing algorithm measured the values of the shades of gray (from 0 (black) to 4095 (white)) frame by frame, in each point (pixel) of the recording area. The original color video frames were converted into black and white to process them using the corresponding algorithm. The luminous intensity interval of 3520–4095 indicated the fuel combustion in this color layout (luminance in the vicinity of the droplet due to a rapid exothermic reaction of the combustible gas mixture). The ignition moment was recorded automatically when the luminous intensity reached or exceeded 3520 (in the shades of gray) in any point around the fuel droplet being monitored. After the ignition moment was determined, the video recording processing algorithm monitored the sustainability of this process by an increase in the average luminous intensity in the recording area. The second event is flame extinction recorded by a decrease in the luminous intensity until it reaches 3520 (in the shades of gray).

The lowest heating source temperature at which the fuel was ignited (hereafter MIT) was determined experimentally by varying the heating source temperature ( $T_s$ ) in a wide range. In each set of experiments,  $T_s$  was increased with an increment of 5 °C starting from 500 °C until the fuel was steadily ignited. At each heating source temperature ( $T_s$ ), a set of at least 10 experiments was conducted under identical conditions. The criterion used to determine the MIT was sustainable ignition in each set of experiments. The systematic error of experimental determination of MIT did not exceed 10%.

The number of local micro-explosions ( $N$ ) of the GF melt droplet was determined automatically when processing the video recordings using the Tema Automotive software (Fig. 3c). The diameter of particles set in the software was from 0.05 to 2.20 mm to monitor them in the recording area. The value of 0.05 mm

is conditioned by the video recording resolution, whereas the value of 2.20 mm stems from the maximum possible size of the fragment provided that the initial droplet (with a mass of 10 mg and a size of 2.80 mm) separates into two identical ones (with a mass of 5 mg and a size of 2.20 mm). The video processing algorithm determined the number of moving particles in the specified size range (from 0.05 to 2.20 mm) from when the GF particle contacted the heated ceramic plate until the moment the fuel completely burned out. The random error of determining the number of local micro-explosions of GF droplets did not exceed 10%.

The average size of fragments in the GF melt droplet dispersion was determined at the video processing stage (Fig. 3d). The video frame processing algorithm automatically determined the number of fine moving fragments for each droplet diameter within a time interval from the moment the GF particle contacted the heated ceramic sample surface until the complete burnout of the fuel components. Using the obtained values of  $N$ , the average size of fragments in the GF melt droplet dispersion vs. their total number was calculated in each set of experiments for each secondary droplet diameter from the range of 0.05–2.20 mm. The systematic error of experimental determination of the average fragment size did not exceed 20%.

The average velocity of fragments was determined automatically when processing the video recordings in the Tema Automotive software (Fig. 3d). At a given frame rate of 2000 fps and the video recording calibration in the focal plane, the algorithm determined the instantaneous velocity for each moving fragment in the recording area by comparing the position of a particular fragment with its position in the previous frame. The average velocity of fragments was derived from the values obtained in each set of experiments. The random error of experimental determination of the velocity of fragments in the GF melt droplet dispersion did not exceed 30%.

Supplementary material in Figures presents typical video frames of the ignition and combustion of the fuels under study at  $T_s=850\text{ }^{\circ}\text{C}$  in conditions of particle conductive heating on ceramic surfaces.

### 3 Conclusion

At the moment the decline of the environment is due to the fact that large enterprises have installed outdated equipment that does not have the latest filtration systems, respectively, there is an increase in emissions and waste. It is necessary to install new equipment that regulates the operation of boilers, as a result, there is a reduction in the harmful effect on the atmosphere and the lithosphere, it is necessary to propose the replacement of solid fuel with composite.

Thus, the MIT of non-metallized and metallized GF is 10–40 °C higher than that of combustible liquid (waste I-40 oil) in a normal state, which is the basic combustible component in the GF composition.

It is possible to control the ignition time in the ignition and combustion of liquid oil droplets, metallized and non-metallized GF particles on ceramic surfaces by varying the heating surface roughness characteristics. Because of a texture that laser processing creates on a ceramic surface, it is a promising method to control the ignition delay time of combustible liquid ( $\pm 48\%$ ), metallized and non-metallized GF ( $\pm 35\%$ ) in fairly wide ranges. To reduce the ignition times of liquid fuels, when using laser texturing of ceramic surfaces, it is necessary to create developed, multi-level roughness with Sdr more than 6.3%. To decrease the ignition delay times of GF on a laser-processed ceramic surface, it is necessary to create a texture with roughness parameters Sdr, Sq, Sz close to the respective characteristics of a polished (molecularly-smooth) heating surface.

## References

- [1] D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strishak, D.V. Feoktistov, Gel fuels: preparation, rheology, atomization, combustion, SB RAS, Novosibirsk, 2020.
- [2] B. Natan, S. Rahimi, The status of gel propellants in year 2000, in: K.K. Kuo, L.T. DeLuca (Eds.), *Combust. Energ. Mater.*, Begell House Inc., New York, 2001: pp. 172–194.
- [3] T. Valiullin, K. Vershinina, P. Strizhak, Ignition of slurry fuel droplets with different heating conditions, *Energies*. 12 (2019) 4553.  
<https://doi.org/10.3390/EN12234553>.
- [4] E.N. Kablov, D.V. Grashchenkov, N.V. Isaeva, S.S. Solntsev, Perspective high-temperature ceramic composite materials, *Russ. J. Gen. Chem.* 81 (2011) 986–991. <https://doi.org/10.1134/s107036321105029x>.