

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
АСР температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда

УДК 621.182.9-63-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Сидоров Денис Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, ООД, ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова Александра Михайловна	к.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>теплоэнергетических и теплотехнических установок</i> , автоматизированных систем управления, средств автоматизации и контроля.
P2	Формулировать задачи в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P3	Проектировать <i>теплоэнергетические и теплотехнические системы</i> , автоматизированных систем управления <i>и их компоненты</i> .
P4	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>систем теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления, их <i>оборудования</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> , автоматизированных систем управления
P6	Применять практические знания принципов и технологий <i>теплоэнергетической и теплотехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i>
P12	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i> .

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель профиля
Озерова И.П.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Сидорову Денису Сергеевичу

Тема работы:

АСР температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.05.2020 № 135-41/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2020
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Криогенные топлива хранятся при низких температурах 100...200 °К. Самый типичный пример – азот, при комнатной температуре кипит, испаряется, отсюда вытекают определенные сложности с хранением и транспортировкой таких топлив. Загущение топлива повышает его безопасность и уменьшает потери при хранении и транспортировке. Гелеобразные топлива наиболее широко применяются в космических и авиационных отраслях. При перекачке данного топлива по трубопроводам необходимо поддерживать такую температуру, при которой оно остается в жидком состоянии, помимо этого необходимо поддерживать определенное соотношение воздуха и топлива для его качественного сжигания. Целью выпускной квалификационной работы является проектирование автоматической системы регулирования температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда. При разработке данной системы предусмотрено
--------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	использование современных микропроцессорных средств автоматизации для регулирования заданных параметров
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Научно-исследовательская работа 2 Проектирование АСР температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда 3 Разработка щита управления. 4 Расчет параметров настройки регулятора. 5 Разработка мнемосхемы проекта. 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7 Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема монтажная. 4 Электрическая схема соединений щита управления. 5 Общий вид щита управления.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	6.02.2020
------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Сидоров Денис Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 101 с., 17 рис., 23 табл., 45 источников.

Ключевые слова: гелеобразное топливо, поливиниловый спирт, маслонаполненный криогель, автоматическая система регулирования, программируемый логический контроллер.

Объектом автоматизации является система топливоподачи испытательного стенда.

Цель работы – проектирование автоматической системы регулирования температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы автоматической системы регулирования температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда, проектирование функциональной схемы, монтажной и принципиальной электрической схем, а также разработка чертежа общего вида щита автоматизации, выбор технических средств и приборов автоматизации с последующим составлением заказной спецификации, разработка мнемосхемы проекта.

Оглавление

Обозначения и сокращения.....	10
Введение.....	11
1 Научно-исследовательская работа	15
1.2 Стабильность топливных эмульсий	15
1.2 Реологические свойства масляных эмульсий	17
1.3 Характеристики плавления гелеобразного топлива.....	20
1.4 Основные заключения	21
2 Разработка АСР температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда	22
2.1 Выбор структуры автоматической системы регулирования	28
2.2 Разработка функциональной схемы	28
2.3 Выбор технических средств автоматизации	30
2.3.1 Выбор регулирующего устройства	31
2.3.2 Выбор датчиков температуры	34
2.3.3 Выбор датчиков давления.....	35
2.3.4 Выбор средств измерения расхода.....	37
2.3.5 Выбор исполнительного механизма	38
2.3.6 Выбор пускателя для исполнительного механизма	39
2.4 Разработка монтажной схемы.....	40
2.5 Разработка схемы электрической соединений.....	42
2.6 Разработка внешнего вида щита автоматизации	43
3 Расчет параметров настройки ПИ – регулятора	45
3.1 Идентификация объекта регулирования	45
3.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора.....	48

3.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия	50
3.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения	54
4 Разработка мнемосхемы процесса подачи топлива.....	58
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	63
5.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения	63
5.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	65
5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	70
5.2.1 Материальные затраты	70
5.2.2 Расчет амортизационных расходов.....	70
5.2.3 Расчет заработной платы.....	71
5.2.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	74
5.2.5 Накладные расходы	74
5.2.6 Смета затрат на оборудование.....	75
5.2.7 Формирование бюджета затрат	76
5.3 Выводы по разделу	77
6 Социальная ответственность	81
6.1 Введение.....	81
6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	81
6.2.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	82
6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	83
6.3 Производственная безопасность	84
6.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	86

6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	86
6.3.3 Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия опасных и вредных факторов на работающего (исследователя)	91
6.4 Экологическая безопасность.....	91
6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	92
6.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	92
6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	92
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	93
6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	93
6.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	94
6.6 Выводы по разделу	95
Заключение	96
Список использованных источников	97
ФЮРА.421000.014 СО1 Заказная спецификация приборов и средств автоматизации.....	На отдельных листах
ФЮРА.421000.014 ПЭ Перечень элементов щита автоматизации.....	На отдельных листах
Графический материал:	На отдельных листах
ФЮРА.421000.014 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.014 С2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.014 С4 Схема монтажная	
ФЮРА.421000.014 Э4 Схема электрическая соединений	

ФЮРА.421000.014 ВО Общий вид щита автоматизации

Обозначения и сокращения

ПВС – поливиниловый спирт;

ПВП – поливинилпирролидон;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

% масс. – массовые проценты;

% об. – объемные проценты;

5 %-ном. – 5 % процентном;

10 %-ном. – 10 % процентном;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

АСР – автоматическая система регулирования;

ИМ – исполнительный механизм;

РО – регулирующий орган;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и аппаратура;

ПАЗ – противоаварийная автоматическая защита;

ПЛК – программируемый логический контроллер.

Введение

В настоящий момент во всем мире пристальное внимание уделяется охране окружающей среды. Наиболее опасное влияние на экологическую обстановку среди большого разнообразия источников загрязнения оказывают промышленные отходы. Особый интерес представляет применение гелеобразных топлив в энергетике, наибольшее распространение гелеобразные топлива получили в космических и авиационных отраслях.

Гелеобразное состояние – промежуточное между жидким и твердым. Топливо в таком виде обладает рядом существенных преимуществ: оно безопасно и удобно при транспортировке и хранении, обладает низкой чувствительностью к ударам, трению и электростатическим разрядам; низкой вероятностью случайного воспламенения, потому что сгорание является контролируемым и может быть предотвращено; возможностью длительного хранения; относительно низким осаждением частиц. В зависимости от компонентного состава можно получать образцы с относительно высокими экологическими или энергетическими характеристиками процесса горения.

Как правило, для получения гелей в состав исходных горючих жидкостей вводят загуститель. В качестве такого компонента при приготовлении гелеобразных топлив на основе масел нефтяного происхождения могут быть использованы полимерные композиции, например, водные растворы поливинилового спирта. Цикл замораживания / оттаивания таких растворов ведет к образованию упругих криогелей, температура плавления которых превышает 60 °С. Путем введения в исходный водный раствор ПВС горючей жидкости могут быть получены масляные эмульсии, которые после замораживания и оттаивания примут гелеобразное состояние и будут являться маслонаполненными криогелями. В отличие от исходного состояния горючая жидкость не испаряется со свободной поверхности образцов криогелей, что снижает ее пожарную и экологическую опасность [1].

Помимо поливинилового спирта возможно применение этаноламина. Этаноламин считается экологически чистой топливной добавкой, поскольку он малотоксичен и не является канцерогенным по своей природе. В работе [2] предпринимаются усилия, чтобы сформулировать и приготовить этаноламиновые гелевые системы с использованием чистой агарозы и гибридов парных гелеобразующих агентов (агароза + поливинилпирролидон (ПВП), агароза + SiO_2 и ПВП + SiO_2). Для достижения этих целей, было выполнено несколько реологических экспериментов (в том числе потока и динамических исследований).

Результаты показывают, что сформулированные этаноламинные гели являются тиксотропными по природе с пределом текучести между 30 и 60 Па. Кажущаяся вязкость геля уменьшается при увеличении температуры испытания, и кажущаяся энергия активации является самой низкой для этаноламин - (ПВП + SiO_2) гелевой системы.

Динамическое исследование реологии показывает, что тип гелеобразователя, выбор гибридных гелеобразующих материалов и их концентрация, применяемые частоты и деформации - все это влияет на вязкоупругие свойства этаноламиновых гелевых систем.

Вместе с полимерными композициями для приготовления гелеобразных топлив применяются также добавки металлических частиц. В статье [3] при приготовлении топлива использовались алюминиевые частицы, для улучшения рабочих характеристик установок, использующих данный вид топлива.

Механизм распыления металлизированного топлива отличается от механизма распыления обычного жидкого топлива из-за высокой вязкости.

Чтобы понять механизм распыления этой суспензии, было проведено исследование на геле, в котором проанализировано влияние металлических частиц в качестве добавок наряду с реологическими свойствами жидкости.

Было установлено, что полученная суспензия является неньютоновской жидкостью со свойствами разжижения при сдвиге. Вязкость

пропорционально растет с содержанием алюминиевых частиц и средним диаметром частиц. Реологическое поведение суспензий может быть выражено с использованием модели степенного закона в предпринятом диапазоне скоростей сдвига.

В исследовании [4] эксперимент был в основном сфокусирован на изучении гиперголичности и задержки воспламенения топливной бипропеллентной системы на основе этанолового геля. Для эксперимента в качестве базового топлива и производного целлюлозы в качестве гелеобразующего агента использовали этанол (чистота 99,8 %) Образец топливного геля содержит 8 % гелеобразующего агента. Составленное гелевое топливо было тиксотропным по своей природе с низкой кажущейся вязкостью и пределом текучести, что является существенным параметром для системы гелеобразного топлива. Гиперголичность бипропеллентной системы была выполнена с помощью подходящего катализатора, в этом случае был использован хлорид меди.

Исследование видимой вязкости для полученного топлива проводилось при двух различных диапазонах скорости сдвига, которые составляют $0...20 \text{ c}^{-1}$ и $0...1000 \text{ c}^{-1}$.

Результаты показывают, что предел текучести для данного вида топлива составляет около 27 Па и кажущаяся вязкость для наблюдаемой точки выхода составляет около 25 Па для случая низкой скорости сдвига, однако для высокой скорости сдвига предел текучести не наблюдался.

Как можно заметить из приведенных исследований, главной особенностью гелеобразных топлив является изменение реологических свойств в зависимости от температуры, наиболее значимым является изменение вязкости.

Для практического применения таких топлив их необходимо транспортировать по трубопроводам, от бака, где оно хранится, до камеры сгорания. В связи с этим возникают определенные трудности, например, такие

как обеспечение режимов поддержания заданной температуры трубопровода и бака, с целью сохранения оптимальных параметров текучести и вязкости.

Цель данной работы – изучение реологических характеристик типичных гелеобразных топлив, закономерностей процессов, протекающих при транспортировке таких топлив по трубопроводам, способов регулирования расхода и разработки соответствующей системы регулирования.

1 Научно-исследовательская работа

Одним из перспективных направлений решения проблемы загрязнения окружающей среды является использование горючих жидкостей в качестве основы для приготовления гелеобразных топлив [5].

1.2 Стабильность топливных эмульсий

В процессе приготовления маслonaполненных криогелей важной характеристикой является стабильность первичных масляных эмульсий от значения которой непосредственно зависят однородность структуры получаемых топливных пеллет и, соответственно, стабильность процесса их горения. Чем выше стабильность эмульсии, тем она меньше расслаивается до момента замерзания и формирования полимерной матрицы, тем более однородную структуру имеют приготовленные топливные пеллеты.

В таблице 1.1 приведены составы эмульсий, подвергшихся испытаниям.

Таблица 1.1 – Составы топливных композиций

Концентрации компонентов, % об.			
Водный раствор ПВС 5% масс.	Водный раствор ПВС 10% масс.	Масло И-40А	ПАВ
100	–	0	–
78	–	20	2
58	–	40	2
48	–	50	2
38	–	60	2
18	–	80	2
–	100	0	–
–	78	20	2
–	58	40	2

В проведенных экспериментах установлено (рис. 1.1), что процесс отстаивания является ключевой причиной нестабильности приготовленных эмульсий, при котором капли масла всплывают и отделяются от водной фазы

вследствие разницы плотностей жидкостей [6]. Установлено, что интенсивность данного процесса зависит как от содержания масла в эмульсии, так и от концентрации ПВС в водном растворе. Осаждение происходит тем интенсивнее, чем меньше процент содержания масла в эмульсии. Видно (рис. 1.1), что образцы эмульсии, содержащие 20 % масла, разделяются уже в течение первого часа хранения. Эмульсии, содержащие в составе 60 % масла и более, сохраняют стабильное состояние более 30 суток. Объемная доля дисперсной фазы в таких системах близка или превышает максимальный параметр упаковки монодисперсных сфер ($\varphi_{\max} \approx 0,74$) [7]. Из-за этого дальнейшее самопроизвольное уплотнение капель становится невозможным без их деформации. Увеличение концентрации ПВС в водной фазе также повышает седиментационную устойчивость эмульсий, что объясняется увеличением вязкости дисперсионной среды и, как следствие, снижением скорости движения капель [8].

Только в случае образца, содержащего 20 % масла в пятипроцентном растворе ПВС, по истечении 30 суток обнаружено незначительное отделение масляной фазы, что характеризует начало разрушения эмульсии по механизму коалесценции [9]. Таким образом, использование эмульсий с большими концентрациями полимера в дисперсной среде или с высоким содержанием дисперсной фазы (не менее 50 %) является наиболее предпочтительным с точки зрения методики приготовления pellets гелеобразных топлив на основе маслonaполненных криогелей. Такой компонентный состав не накладывает ограничений на интенсивность заморозки образцов и обеспечивает относительно однородное распределение капель масла в полимерной матрице маслonaполненного криогеля.

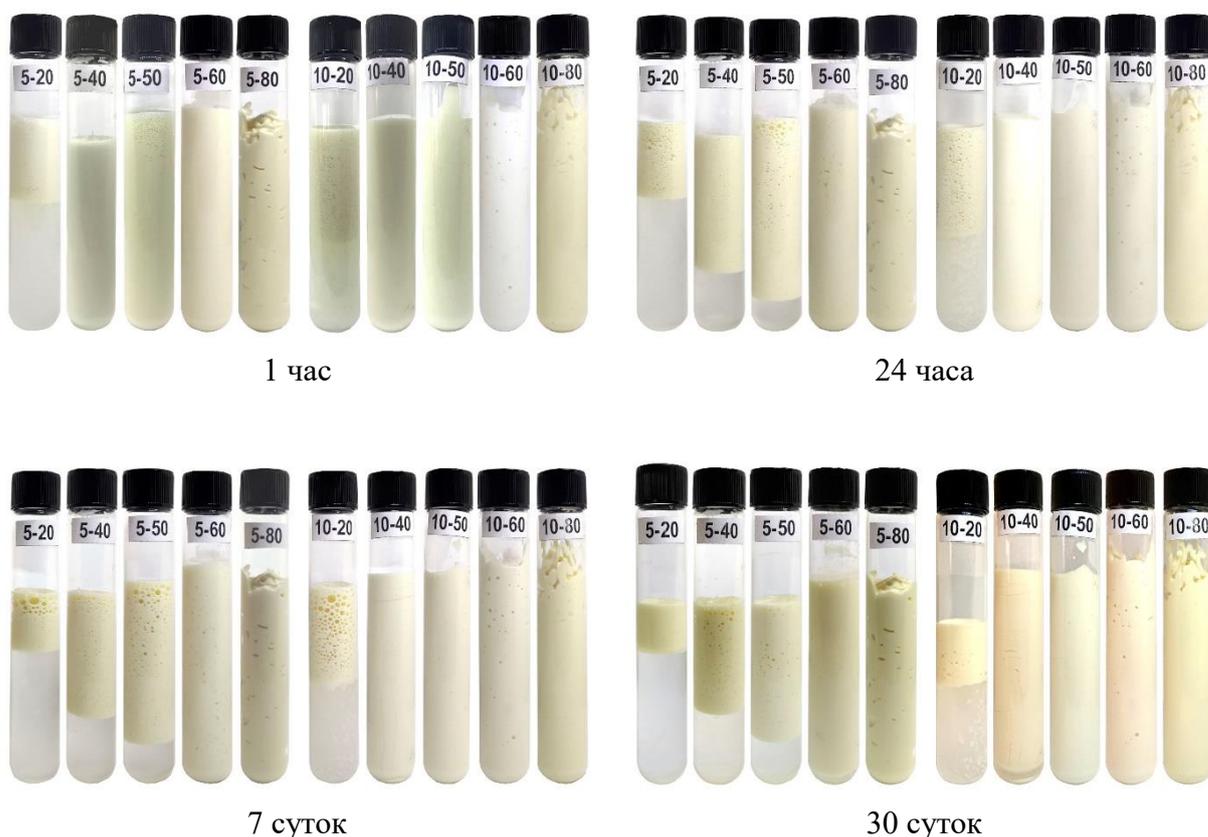


Рисунок 1.1 –Изменение внешнего вида масляных эмульсий на основе водных растворов ПВС во времени в лабораторных условиях при температуре 20 °С (в обозначениях пробирок: первое число «5», «10» – концентрация ПВС (% масс.) в водной фазе; второе число «20», ..., «80» – содержание масла в эмульсии (% об.)).

1.2 Реологические свойства масляных эмульсий

Реологические измерения проводились сразу после приготовления эмульсий с помощью вискозиметра Brookfield DV в диапазоне скоростей 0,1...250 об/мин. Перед измерением каждый образец был выдержан при температуре 20 °С в течение 30 мин. Точность температурного контроля составляет $\pm 0,2$ °С. Полученные кривые течения и кривые вязкости представлены на рис. 1.2 и 1.3, соответственно.

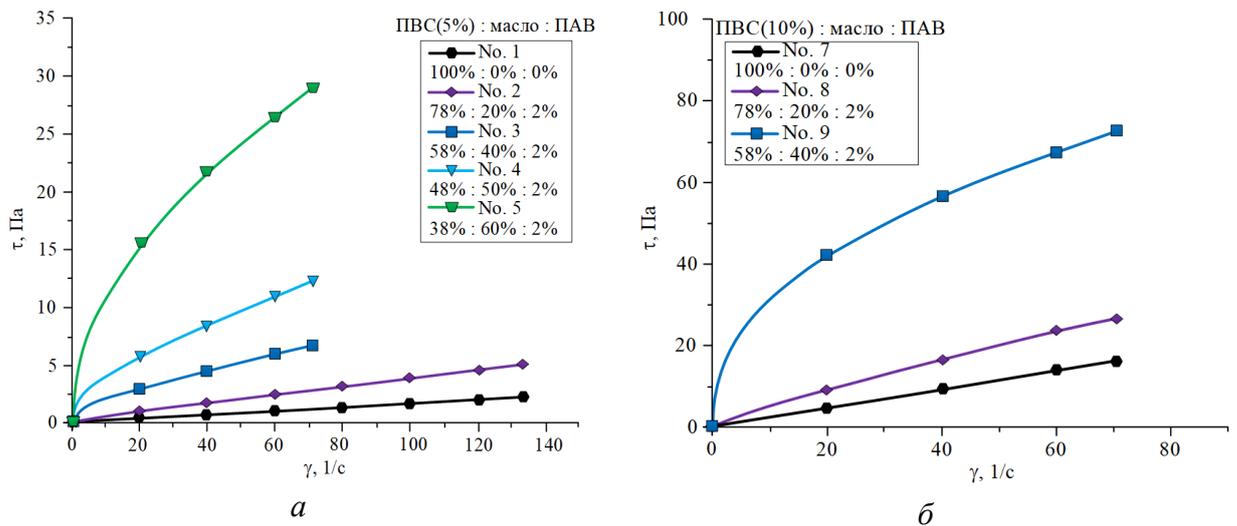


Рисунок 1.2 – Кривые течения эмульсий с разной концентрацией масла: *a* – эмульсии на основе 5 %-ного раствора ПВС; *б* – эмульсии на основе 10 %-ного раствора ПВС.

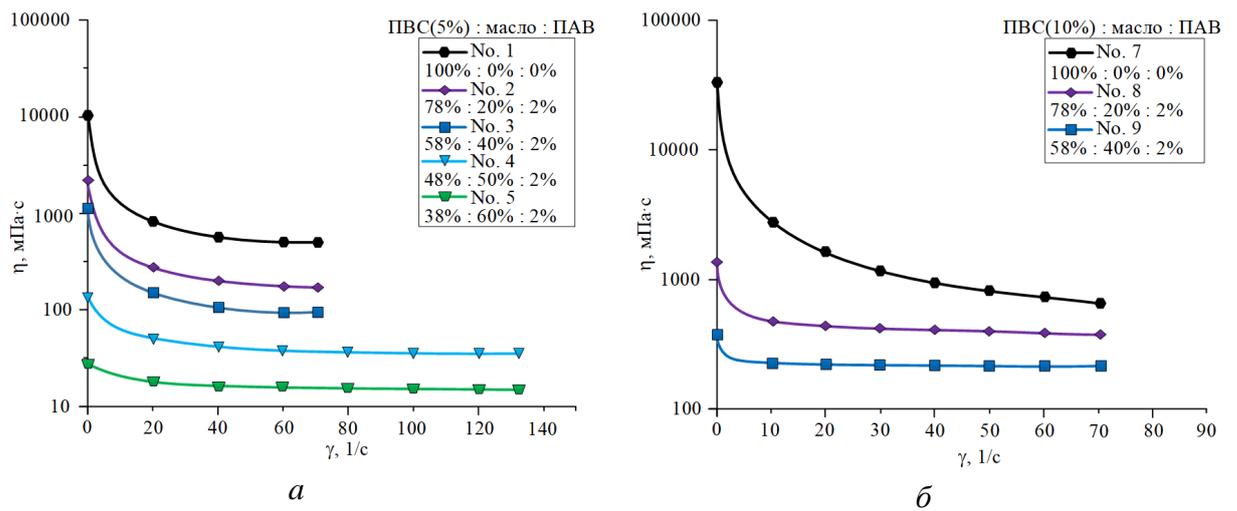


Рисунок 1.3 – Кривые вязкости эмульсий с разной концентрацией масла: *a* – эмульсии на основе 5 %-ного раствора ПВС; *б* – эмульсии на основе 10 %-ного раствора ПВС.

Для описания реологического поведения масляных эмульсий в настоящей работе использована модель Гершеля-Балкли [10–13], которая хорошо описывает реологические свойства псевдопластических жидкостей и, как правило, применяется при анализе течения концентрированных эмульсий.

Основное уравнение модели Гершеля-Балкли:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n, \quad (1.1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па;

τ_0 – предел текучести, Па;

K – показатель консистенции, Па·с;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, 1/с;

n – индекс течения.

Значения параметров в уравнении Гершеля – Балкли (1.1), полученные для эмульсий разного компонентного состава, на основе результатов выполненного экспериментального исследования приведены в табл. 1.2

Таблица 1.2 – Значения параметров в уравнении Гершеля – Балкли для эмульсий при разных концентрациях ПВС в водной фазе и содержании масла.

Состав	τ_0 , Па	K , мПа·с	n	$\dot{\gamma}$, 1/с	Adj. R^2
Водный раствор ПВС 5 % масс.					
0 % об. масла	0,0266	16,7	1,0023	0...70	0,99989
20 % об. масла	0,1904	42,6	0,9686	0...70	0,99944
40 % об. масла	0,4945	278,9	0,7232	0...70	0,99838
50 % об. масла	1,0326	545,2	0,7022	0...130	0,99705
60 % об. масла	2,0717	2728,4	0,5349	0...130	0,99721
Водный раствор ПВС 10 % масс.					
0 % об. масла	0,0339	228,7	1,0039	0...70	0,99997
20 % об. масла	0,0188	700,2	0,8588	0...70	0,99987
40 % об. масла	3,6332	10074,8	0,4500	0...70	0,99923

Результаты (рис. 1.2) иллюстрируют, что вязкость растворов ПВС остается постоянной практически во всем диапазоне скоростей сдвига 0...140 1/с. Зависимости $\tau=f(\dot{\gamma})$ имеют линейный вид $n \approx 1$ (табл. 1.2), а соответствующие кривые (рис. 1.2) проходят через начало координат $\tau_0 \approx 0$

(табл. 1.2). Таким образом, можно сделать вывод, что водные растворы поливинилового спирта ведут себя как наиболее типичные ньютоновские жидкости [14].

В свою очередь, реологическое поведение эмульсий не может быть описано уравнением Ньютона. Появление новой фазы в виде капель масла придает таким жидкостям псевдопластические свойства. С ростом содержания дисперсной фазы в эмульсиях увеличивается отклонение от ньютоновского течения [15, 16], о чем свидетельствует снижение индекса течения (n) и возрастание предела текучести (τ_0). Скачкообразное изменение реологических свойств происходит при приближении доли масла в эмульсии к параметру предельной упаковки $\varphi_{\max} \approx 0,74$ (74 %), что объясняется ростом числа контактов между каплями.

Помимо объемной доли масла на реологические свойства эмульсий значительное влияние оказывает вязкость дисперсионной среды, которая для рассмотренных в данной работе составов определяется концентрацией ПВС в водном растворе. Согласно полученным результатам (табл. 1.2) показатель консистенции, значение которого соответствует динамической вязкости при $\dot{\gamma} = 1 \text{ с}^{-1}$, для эмульсий на основе 10 %-ного раствора ПВС возрастает значительно быстрее, чем для 5 %-ного раствора. Аналогичные результаты справедливы для динамики параметров τ_0 и n . Таким образом, увеличение доли масла, а также концентрации ПВС в водной фазе приводит к прогрессирующему росту вязкости и структурно-механических свойств масляных эмульсий.

1.3 Характеристики плавления гелеобразного топлива

Температуру плавления ($T_{\text{пл}}$) маслонеполненных криогелей определяли в рамках методики [17]. Топливные пеллеты, находящиеся в открытой цилиндрической металлической емкости, помещали в муфельную печь при начальной температуре 50 °С. Температуру увеличивали с шагом 1 °С.

Образцы подвергались нагреву при каждой температуре в течение не менее 5 минут. За температуру плавления принимали значение, при котором образцы топлива переходили из гелеобразного состояния в жидкое во всем объеме. Установлено, что для исследовавшихся топливных составов $T_{пл}=64...66$ °С. Чем меньше концентрация полимера, тем интенсивнее протекает процесс плавления. Максимальное отличие времен плавления разных составов топлива составляет около 70 %. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что маслонаполненные криогели являются перспективными материалами для снижения экологической и пожарной опасности горючих жидкостей, например, отработанных масел нефтяного происхождения. Полимерная матрица надежно удерживает масло в составе криогеля даже при его нагреве до относительно высоких температур (около 65 °С). Горючая жидкость не выходит на поверхность топливного пеллета, соответственно, не происходит загрязнения окружающей среды и испарения горючих паров со свободной поверхности.

1.4 Основные заключения

1) Установлено, что первичные масляные эмульсии не расслаиваются на протяжении 30 суток, если содержание дисперсной фазы превышает 50 % или концентрация полимера в дисперсионной среде превышает 5 %. Напряжение сдвига таких эмульсий нелинейно возрастает с ростом скорости сдвига в заданном диапазоне 0...70 1/с, что, в свою очередь, характерно для типичных неньютоновских жидкостей. Реологическое поведение масляных эмульсий описано в рамках модели Гершеля-Балкли.

2) Установлено, что температура плавления гелеобразных топлив на основе маслонаполненных криогелей составляет около 65 °С.

2 Разработка АСР температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда

В данной работе в качестве объекта автоматизации выступает испытательный стенд по сжиганию гелеобразного топлива. В качестве прототипа данной установки выступает испытательный стенд для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок [18].

Испытательный стенд – это оборудование, предназначенное для специальных, испытаний объектов, позволяющих установить соответствие заявленных характеристик. При испытаниях объекты подвергаются длительному или кратковременному действию нагрузок сопоставимых или превышающих нагрузки в реальных условиях, в зависимости от цели испытаний.

Испытательные стенды структурно состоят, как правило, из двух частей:

- исполнительной, состоящей из объекта испытания и систем, обеспечивающих воздействие различных эксплуатационных факторов;
- командной в виде пульта управления и систем информационного обеспечения о параметрах объекта испытания и стенда.

Внешний вид стенда во время испытаний двигателя представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид стенда для испытаний

К основным системам обеспечения испытаний стенда можно отнести следующие.

1) Система топливоподачи, которая включает: подсистемы хранения, заправки и питания (расходные подсистемы).

Система топливоподачи предназначена для хранения и подачи различных компонентов топлива (криогенных, высококипящих, низкокипящих, металлизированных и других).

Для проведения длительных по продолжительности испытаний питание двигателя осуществляется из стендового топливного бака с подпиткой из баков хранилища.

2) Система газоснабжения, включающая газификационные или компрессорные установки для закачки газов в баллоны для хранения и подачи в камеру сгорания.

3) Система отвода продуктов сгорания. В состав этой системы входят газоотражательные устройства, которые могут быть выполнены в закрытом или открытом исполнении в зависимости от параметров испытаний,

их продолжительности, а также параметров и характеристик топлива. Помимо прочего газоотражательные устройства стендов могут быть охлаждаемыми и неохлаждаемыми.

4) Система охлаждения. В испытательных стендах может использоваться замкнутая или разомкнутая система охлаждения. При том, что расходы охлаждающей воды при испытаниях достигают больших значений, предпочтительнее остаются замкнутые системы охлаждения, так как охлаждающая вода не выбрасывается в атмосферу.

5) Система обеспечения безопасных условий. Безопасные условия на испытательном комплексе регламентируются действующим нормативом по охране труда – Системой стандартов безопасности труда – ГОСТ 12.0.004-2015 [2].

6) Устройства для глушения шума. Шум – это слышимый звук, характеризуемый звуковым давлением. При испытаниях источниками повышенного шума являются следующие устройства: насос, компрессор, задвижки регулирующих клапанов, камера сгорания, и др.

7) Система управления, регулирования процессом испытания и диагностики параметров стенда и испытуемого топлива. В системе управления используются ПЛК для автоматизированного управления технологическими процессами. Системы противоаварийной защиты (ПАЗ) испытаний обеспечивают контроль параметров камеры сгорания и оборудования стенда (например, давления, температуры, расходов топлива и воздуха, и др.), формирование и выдачу команд на аварийное выключение [18].

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы ограничимся двумя системами стенда: системой топливоподачи и системой управления.

Регулирование расхода топлива и воздуха, а также поддержание необходимого соотношения между ними осуществляется посредством регулирующих клапанов, температуры – путем нагрева топливного бака и трубопровода системы топливоподачи при помощи греющих кабелей.

Интервал рабочих температур испытательного стенда от минус 55 °С до плюс 36 °С.

Управление установкой осуществляется дистанционно с персонального компьютера с использованием шкафа управления.

Информационная модель АСР температурой и подачей топлива формируется на основе поступающих в систему входных потоков информации, исходящих выходных потоков информации между различными уровнями системы.

Информационная модель включает в себя следующие уровни:

- нижний уровень (полевое оборудование КИПиА), использующий: датчики температуры, давления, расхода и уровня
- средний уровень, представленный ПЛК ЭЛСИ ТМК;
- верхний уровень, содержащий АРМ оператора в виде SCADA системы.

Основные технические характеристики испытательного стенда приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Технические характеристики испытательного стенда

Основные параметры	Нормы
Расход топлива, м ³ /ч	110
Расход окислителя, м ³ /ч	180
Наименование продукта	Гелеобразное топливо
Колебания температуры продукта, °С	20...100
Вязкость продукта, Па·с	0,01
Температура затвердевания продукта, °С	40
Плотность продукта, кг/м ³	925
Температура окружающего воздуха, °С	от минус 55 до плюс 36

Продолжение таблицы 2.1

Основные параметры	Нормы
Диаметр трубопровода, мм	80
Обогрев трубопровода	есть
Тип резервуара	Наземный
Тип учета	Без учета
Покраска	Стандартный цвет (серый, полимерцинк)
Класс герметичности арматуры	A
Полный срок службы, не менее	10 лет
Полный ресурс, не менее	5000 циклов
Вид взрывозащиты электрооборудования и оборудования КИП	Exd
Материальное исполнение трубопроводов и арматуры	Углеродистая сталь
Напряжение питания, В	230/24
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150	УХЛ4
Категория помещения	A

На рисунке 2.2 представлена взаимосвязь микропроцессорного устройства с элементами разрабатываемой системы автоматизации.

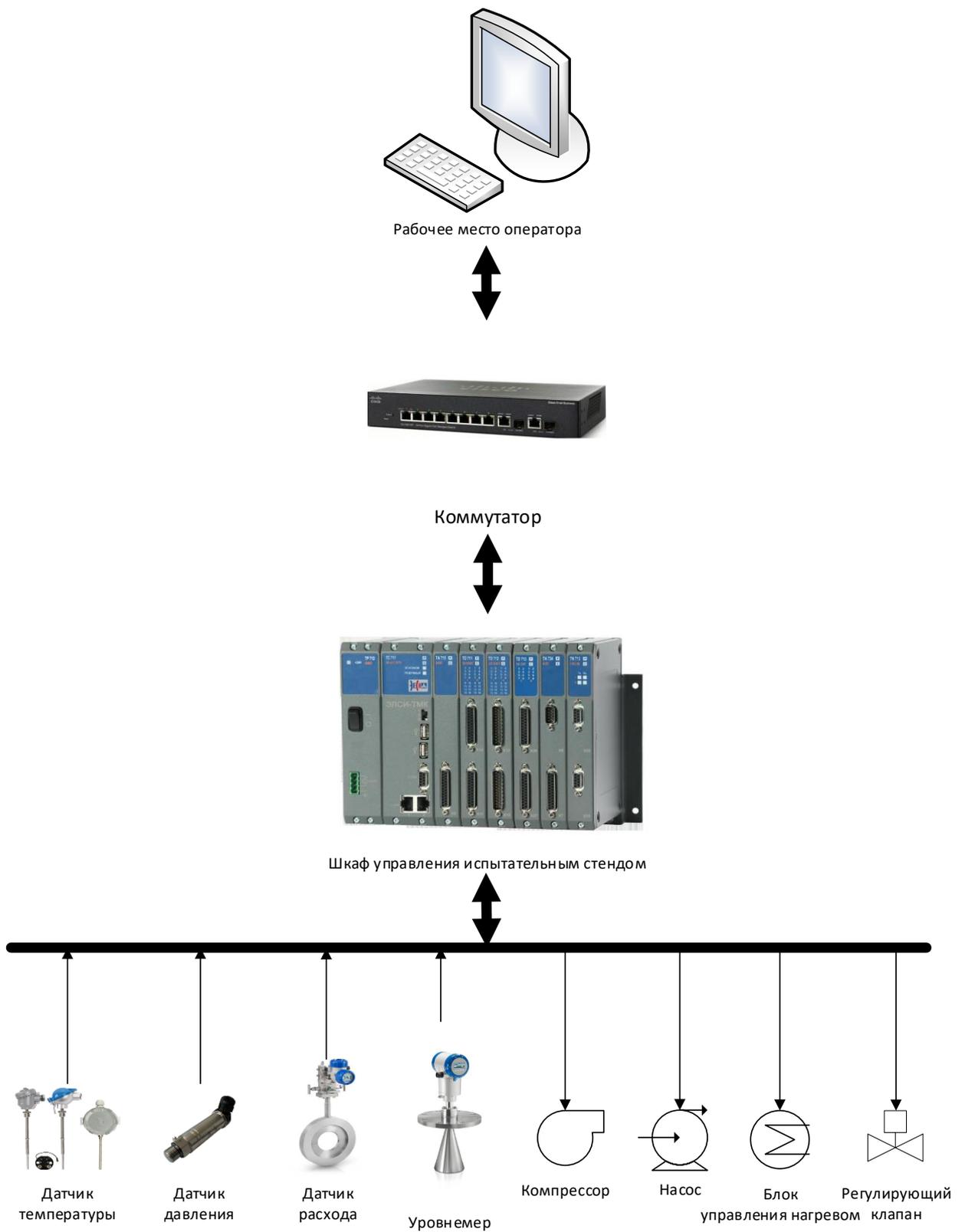


Рисунок 2.2 – Взаимодействие микропроцессорного контроллера с элементами АСУ температуры и расхода топлива испытательного стенда

2.1 Выбор структуры автоматической системы регулирования

Регулирование осуществляется с помощью одноконтурной автоматической системы. Цель автоматического регулирования для одноконтурной схемы состоит в поддержании регулируемой величины на заданном значении при помощи регулятора, который осуществляет изменение положения регулирующего клапана.

Структурная схема системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.014 С1.

Регулирование температуры топлива в трубопроводе осуществляется при помощи нагревателей (Н) сигналом обратной связи служит датчик температуры (Т-1). Сигнал от датчика температуры (Т-1), установленного на трубопроводе, подается на промежуточный преобразователь (ПП-1). Затем сигнал поступает на ПЛК.

Регулирование расхода топлива и воздуха перед входом в камеру сгорания выполняют с помощью регулирующего клапана с электроприводом. Сигнал от датчика расхода (F-1), установленного на трубопроводе, подается на промежуточный преобразователь (ПП-2). Затем сигнал поступает на ПЛК, куда так же подается сигнал от датчика расхода (через ПП-3), установленного на магистрали окислителя (F-2). Управление электроприводом клапана осуществляется с помощью электрического исполнительного механизма (ИМ), таким образом поддерживается оптимальное соотношение топлива воздух для обеспечения максимальной эффективности сгорания топлива.

2.2 Разработка функциональной схемы

Функциональные схемы представляют собой основные технические документы. Они определяют функциональную и блочную структуру отдельных узлов и элементов автоматического контроля, управления или регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления необходимыми приборами и средствами автоматизации.

Функциональная схема АСР испытательного стенда представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.014 С2.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображается в соответствии с ГОСТ 21.403-80 в виде контуров, упрощённых до такой степени, которая позволяет показать, как взаимосвязь отдельных частей технологической цепи, так и принцип её действия, а также взаимодействие с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации [19].

На первом этапе разработки на функциональной схеме были определены измерительные каналы (1...12, 14, 16), каналы управления (17...22) и каналы регулирования (13, 15). Для измерения температуры в топливном баке используется канал 1. В топливной магистрали установлены 3 датчика температуры для контроля распределения температурного поля. По измеренной температуре определяется эффективность процесса нагрева топлива, для поддержания заданной текучести и вязкости. Расход топлива измеряется с помощью расходомера 10, расходы воздуха с помощью расходомера 11. Канал 8 предназначен для измерения в баке окислителя. Каналы 1...12 формируют сигналы об измеряемой величине и с помощью аналоговых сигналов информация передается на контроллер.

Каналы 17...22 предназначены для формирования управляющих сигналов. С помощью каналов 13, 15 регулируются расход топлива и воздуха соответственно. С помощью каналов 14, 16 контроллер получает информацию о положении выходного вала исполнительного механизма. Каналы 17...20 служат для включения нагревателей, а каналы 21, 22 для включения насоса и компрессора соответственно.

На листе в верхней части функциональной схемы изображен схематично испытательный стенд с необходимыми составными частями,

первичные преобразователи измеряемых технологических параметров, регулирующие устройства. В нижней части листа изображены приборы, установленные по месту и щит автоматизации с установленным на нем контроллером.

2.3 Выбор технических средств автоматизации

Для качественной работы АСР расхода топлива необходимо контролировать следующий минимальный перечень параметров. Перечень контролируемых технологических параметров и технологических сред объекта автоматизации, местоположение точек контроля технологических параметров и технических средств автоматизации, функции, выполняемые техническими средствами автоматизации, представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень контролируемых технологических параметров

Параметр, состояние, положение	Форма представления информации			Значение параметров
	щит автоматизации			
	Постоянно	Сигнализация	Регистрация	
1	2	3	4	5
Температура топлива в топливном баке	+	↓↑	+	70 °С
Температура топлива на входе в насос	+			70 °С
Температура топлива до регулирующего клапана	+			70 °С
Температура топлива на входе в камеру сгорания	+	↓		70 °С
Температура воздуха на входе в камеру сгорания	+	↓		70 °С
Давление топлива в топливном баке	+	↓↑		0,04 Мпа
Давление топлива после регулирующего клапана	+	↓	+	1 Мпа

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5
Давление в баке окислителя	+	↓↑		1,6 МПа
Давление воздуха на входе в камеру сгорания	+	↑		1 МПа
Расход топлива	+	↓↑	+	110 м ³ /ч
Расход воздуха	+	↓↑	+	180 м ³ /ч

Для разработки АСР необходимо выбрать следующее оборудование:

- программируемый логический контроллер (ПЛК);
- датчики температуры;
- датчики давления;
- расходомеры;
- исполнительные механизмы;
- пускатели для исполнительных механизмов.

Осуществлять выбор средств автоматизации будем, основываясь на цену, диапазон измерений, степень пыли- и влагозащиты.

2.3.1 Выбор регулирующего устройства

Программируемый логический контроллер ПЛК Micro870 производства Allen-Bradley – автоматический регулятор, предназначенный для создания систем управления малыми и средними объектами. Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики ПЛК «Micro870» [20]

Параметр	Значение
Напряжение питания	+24 В
Тип процессора	Cortex ARM8
Потребляемая мощность	7 Вт
диапазон рабочих температур	-20...+65 °С

Продолжение таблицы 2.3

Параметр	Значение
Аналоговых входов	8 шт. с возможностью расширения
Аналоговых выходов 0...10 В	2 шт.
Аналоговых выходов с ШИМ	2 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Масса прибора	0,4 кг

Контроллеры ОВЕН ПЛКхх (ПЛК63/ПЛК73) – линейка компактных моноблочных контроллеров с входами/выходами на борту для автоматизации малых систем. Технические характеристики прибора представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики ПЛК «ОВЕН ПЛК 63» [21]

Параметр	Значение
Напряжение питания	90...245 В, до 63 Гц
Тип процессора	Cortex ARM8
Потребляемая мощность	18 ВА
Тип дисплея	Текстовый монохромный ЖКИ с подсветкой
Аналоговых входов	8 шт.
Аналоговых выходов 0...10 В	6 шт.
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле	0,5 А
Интерфейс связи	RS-232, RS-485
Режим работы интерфейсов	Режим работы интерфейсов

Продолжение таблицы 2.4

Параметр	Значение
Среда программирования	CODESYS 2.3 (версия 2.3.8.1 и более старшая)
Масса прибора	0,4 кг

Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК является мощной модульной платформой, предназначенной для построения систем автоматизации малого и среднего масштаба во всех сферах промышленного производства [22].

Отличительные особенности:

- резервирование питания и каналов связи, обеспечивающих высокую надежность;
- полное дублирование корзин контроллера, что в случае непредвиденных обстоятельств позволяет незамедлительно возобновить процессы управления и регулирования;
- развитая система самодиагностики и самокалибровки;
- открытая архитектура программирования, поддержка стандартных протоколов и интерфейсов в соответствии с ГОСТ Р МЭК 870-5-101;
- расширенная номенклатура функциональных модулей;
- «горячая» замена модулей.

ПЛК ЭЛСИ-ТМК в своем составе имеет модульную архитектуру и позволяет использовать расширенный набор необходимых модулей:

- модули питания ТР
- процессорные модули ТС;
- модули дискретного ввода/вывода ТД;
- модули счетных входов;
- модули аналогового ввода/вывода ТА;

– коммуникационные модули TN;

Таким образом, наиболее оптимальным из рассмотренных моделей является ПЛК «ЭЛСИ-ТМК», его модульная структура позволяет сконфигурировать контроллер под любые задачи, «ПЛК Micro870 производства Allen-Bradley» дороже всех рассмотренных моделей, блочная структура ОВЕН ПЛК 63 не обладает достаточным количеством аналоговых выходов.

2.3.2 Выбор датчиков температуры

Рассмотрим термопреобразователи ТПУ-205 (ТХХУ-205)

Термопреобразователи ТПУ-205 предназначены для контроля температуры жидких сред, например: воды, масла и других измеряемых рабочих сред, химически неагрессивных и не разрушающих материал защитного корпуса термопреобразователя; сыпучих сред, например, муки, сахара, зерна и т.д и преобразования сигнала о температуре, в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА [23].

ОВЕН ДТС-И термопреобразователи сопротивления с выходным сигналом 4...20 мА.

Термопреобразователи сопротивления ОВЕН ДТС-И. В данном датчике имеется встроенный высокоточный нормирующий преобразователь, который предназначен для измерения и непрерывного преобразования измеряемой температуры твердых, жидких, газообразных и сыпучих веществ в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА.

Данные датчики изготавливаются на базе термометров сопротивления ДТСхх5 (50М, 100М, 100П, Pt100) и используются, когда расстояние от точки измерения до вторичного прибора не более 100 метров, а также в тех случаях, когда вторичные приборы (например, контроллеры) работают только с унифицированными сигналами [24].

Далее в таблице 2.5 представлены технические характеристики данных датчиков.

Таблица 2.5 – Технические характеристики датчиков температуры

Параметр	Средства автоматизации	
	ТСМУ-205	ОВЕН ДТС-И
Датчик температуры	ТСМУ-205	ОВЕН ДТС-И
Диапазон измерения	0...300 °С	0...500 °С
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА
НСХ	100М	РТ100
Класс точности	0,25	0,5
Пыле – и влагозащита	IP65	IP54
Цена	3120 руб.	3174 руб.

Осуществим выбор датчиков, основываясь на цену и степень пыле- и влагозащиты. Таким образом, выбираем датчик ТСМУ-205 100М от производителя Элемер (Россия).

2.3.3 Выбор датчиков давления

Рассмотрим датчики для измерения давления топлива и воздуха в трубопроводах системы топливоподачи.

Датчики давления Метран-150CD, Метран-150CG, Метран-150TG, Метран-150ТА, Метран-150CDR, Метран-150CGR, Метран-150TGR, Метран-150ТАR, Метран-150L предназначены для преобразования давления жидкостей, пара, газа в унифицированный токовый выходной сигнал и цифровой сигнал на базе HART-протокола. Используются в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами [25].

Датчик избыточного давления А-10 от производителя «WIKА» (Германия). Датчик А-10 используют для измерения избыточного давления, мановакуумметрического давления, абсолютного давления, а также он рассчитан на низкие диапазоны давлений. Применяется в машиностроении,

кораблестроении, контрольно-измерительных технологиях, гидравлике и пневматике, насосах и компрессорах [26].

Датчик МИДА-ДИ 13П-ОМ20. Данный датчик в своем составе имеет встроенный преобразователь. Благодаря АЦП возможна активная компенсация характеристик датчика, таких как нелинейность и температурная погрешность. Цифро-аналоговый преобразователь формирует выходной сигнал на уровне 4...20 мА. Кроме того, возможна ручная подстройка датчика в режиме цифрового управления (HART). Датчик и электронный усилитель смонтированы в литом алюминиевом вибро- и ударопрочном корпусе. Канал измерения давления выполнен из нержавеющей стали. Механическое присоединение к процессу обеспечено посредством резьбового соединения, которое может быть выполнено в различных вариантах. Электрическое подключение осуществляется при помощи обжимного соединения и PG фитинга [27].

Далее в таблице 2.6 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 2.6 – Технические характеристики датчиков давления

Параметр	Средства автоматизации		
	Метран-150	А-10	МИДА-ДИ 13П-ОМ20
Измеряемая среда	агрессивные жидкости, пары, газы, нефтепродукты	газ, жидкость, нефтепродукты	вода, газы, жидкости топлива, нефтепродукты
Верхние пределы измерений	68 МПа	100 МПа	От (0...0,16) кПа до (0...60) МПа
Предел допускаемой основной погрешности	0,5 %	1 % (0,5 % – на заказ)	0,1 %

Продолжение таблицы 2.6

Параметр	Средства автоматизации		
	Диапазон температур измеряемой среды	- 45...125 °С	0...80 °С (-30...100 °С по запросу)
Степень защиты	IP65	IP65, IP67	IP65
Присоединение к системе	M20x1,5	G 1/4A по DIN 3851 E (M20x1,5 через переходник)	M20x1,5
Цена	25000 руб.	6966 руб.	39783 руб.

Осуществим выбор датчиков, основываясь на диапазон температур измеряемой среды и верхний предел измерений. Таким образом, выбираем датчик избыточного давления МИДА-ДИ 13П-ОМ20 от производителя VD SENSORS (Россия).

2.3.4 Выбор средств измерения расхода

Рассмотрим дифференциальные преобразователи давления. Преобразователи переменного перепада давления типа «OPTIBAR DP 7060» от производителя «Krohne» (Германия) предназначены для измерений объемного расхода и массового расхода воды и различных агрессивных сред. Особенности данного расходомера: многоуровневая защита от несанкционированного доступа; графический дисплей с подсветкой, содержащий всю необходимую контрольную и эксплуатационную информацию; конструктивная защита от протечек и конденсата; наличие коммуникационных адаптеров Ethernet, RS-232 [28].

Расходомер Метран-370 от производителя «Промышленная группа «Метран» (Россия) предназначен для измерения объемного расхода электропроводящих жидкостей, пульп и суспензий. Используются в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами в

энергетике, химической, пищевой, бумажной и других отраслях промышленности, а также в системах коммерческого учета жидкостей [29].

Далее в таблице 2.7 представлены технические характеристики рассматриваемых датчиков.

Таблица 2.7 – Технические характеристики дифференциальных преобразователей давления

Параметр	Средства автоматизации	
	ОРТИВАР DP 7060	Метран-370
Наименование	ОРТИВАР DP 7060	Метран-370
Условный диаметр	80 мм	80 мм
Максимальный расход	200 м ³ /ч	171,7 м ³ /ч
Рабочее давление измеряемой среды, не более	1,6 МПа	4 МПа
Температура измеряемой среды	0...150 °С	-29...180 °С
Материал фланца	Нержавеющая сталь	Сталь 20 или нержавеющая сталь
Напряжение питания	12 В постоянного тока	12 В постоянного тока
Пыле – и влагозащита	IP66	IP68
Цена	36960 руб.	50000

Таким образом, так как характеристики рассматриваемых устройств идентичны, то выберем наиболее дешевый вариант – «ОРТИВАР DP 7060» от производителя «Krohne» (Германия).

2.3.5 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм выбираем исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента [19].

Для выбора ИМ рассчитаем максимальное значение крутящего момента по формуле:

$$M_{\max}^{kp} = 6,89 \cdot D_y - 338, \quad (2.1)$$

где M_{\max}^{kp} – максимальное значение крутящего момента, Н·м;

D_y – диаметр трубопровода, мм.

$$M_{\max}^{kp} = 6,89 \cdot 80 - 338 = 213,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбираем ИМ типа МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б) [30] с номинальным значением момента на выходном валу 250 Н·м, номинальное значение полного хода 0,25 об., номинальное значение времени полного хода 25 с. Данный исполнительный механизм снабжен токовым датчиком положения выходного вала. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от сети трехфазного переменного тока 380 В. Цена составляет 19000 рублей. Внешний вид исполнительного механизма представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Внешний вид исполнительного механизма

Выберем два исполнительных механизма МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б).

2.3.6 Выбор пускателя для исполнительного механизма

Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3М предназначен для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами по ГОСТ 7192-89, в приводе которых используются трехфазные электродвигатели с электрической мощностью до 4,5 кВт. Пускатель предназначен для применения в системах автоматического регулирования технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

Блоки типа ПБР-3М выпускаются ОАО «ЗЭиМ». Блоки данного типа позволяют работать в режиме повторно-кратковременного включения. В

состав блока входит микропроцессор, два интерфейсных канала RS-485, а также входы аналоговых сигналов регулирования и преобразователь питания.

Внешний вид пускателя приведен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Внешний вид пускателя

Выберем два пускателя типа ПБР-3М.

На основе сделанного выбора технических средств составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная на листе с шифром ФЮРА.421000.014 СО1.

2.4 Разработка монтажной схемы

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

Схема подключения показывает внешние подключения изделия. На схеме должны быть изображены изделие, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т.п.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей внешнего монтажа, указаны данные о подключении изделия (характеристики внешних цепей, адреса).

При необходимости отдельного изображения электрических и трубных проводок цеха, участка, технологического агрегата и т.п. допускается выполнять схемы соединений и подключения отдельно, на разных листах: для электрических и отдельно трубных проводок.

На схемах внешних электрических и трубных проводок изображают прокладываемые вне щитов электрические провода, кабели, импульсные, 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 термопар и т.п.);
- устройства заземления щитов, приборов и других токоприемников [31].

Схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.014 С4.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемых параметров, измеряемой среды, мест установки и позиционного обозначения измерительных приборов. Ниже условно изображены датчики, от которых отходят кабели. Рядом с кабелем указано его название, поперечное сечение и количество жил, а также протяженность. Линии, проведенные от

датчиков, соединены с щитом автоматизации. Питание 220 В приходит в щит автоматизации от щита питания. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами. В цепях измерения, управления, питания, сигнализации и т.п. допускается применять провода и кабели с медными жилами. Помимо требований к материалу проводников (медь и алюминий) и допустимым сечениям при выборе проводов и кабелей особое внимание должно уделяться соответствию их технических данных условиям окружающей среды. Необходимо, чтобы изоляция, защитные оболочки и наружные покровы проводов и кабелей отвечали условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки. При выборе проводов и кабелей необходимо учитывать резерв жил.

2.5 Разработка схемы электрической соединений

Полный состав приборов и средств автоматизации, используемый в составе системы регулирования температуры и расхода топлива отражает принципиальная электрическая схема.

Схема соединений определяет конструктивное выполнение электрических соединений элементов в изделии. На схеме изображаются 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.

При выполнении схемы используются развернутые изображения элементов технических средств.

Линии связи должны состоять только из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь минимальное число взаимных пересечений, для облегчения их чтения. Расстояние между соседними параллельными линиями должно быть не менее 5 мм [32].

Совместно с разработкой чертежа принципиальной электрической схемы системы автоматизации должны составляться перечни элементов, входящих в щит. Схема электрическая соединений и перечень элементов представлены на листе с шифром ФЮРА.421000.014 Э4 и ФЮРА.421000.014 ПЭ соответственно.

2.6 Разработка внешнего вида щита автоматизации

Щит автоматизации (ЩА) отвечает за измерение и контроль значений основных параметров протекающих технологических процессов обслуживаемых систем. В зависимости от состава аппаратуры такого рода оборудование может выполнять различные задачи, соответственно, будет различаться и отрасль, где применяется то или иное исполнение ЩА.

Чертеж общего вида щита автоматизации поясняет принцип его работы, показывает его конструкцию и как взаимодействуют его части. 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) функциональная схема системы автоматизации;
- 2) принципиальная электрическая схемы.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования шкаф ЩМП-5-0 36 производства компании ИЕК [33].

В данном случае для размещения средств автоматизации используем щит высотой 1000 мм, шириной 650 мм и глубиной 300 мм ЩМП-5-0 36 УХЛЗ IP31 ИЕК.

Блоки контроллера монтируются в верхней части щита управления. Все остальные блоки, входящие в состав системы предназначены для монтажа на рейку DIN-35. В нижней части панели щита расположены сборники клеммных колодок.

Схема общего вида щита управления представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.014 ВО.

3 Расчет параметров настройки ПИ – регулятора

Требования, предъявляемые к регулятору:

– ограничение перерегулирования на уровне 5 градусов, вследствие того, что греется топливо и превышение заданной температуры недопустимо. Данное требование вытекает из того, что при превышении заданного значения температуры топлива – меняются его свойства, происходит расслаивание его компонентов, что может привести к некачественному зажиганию и горению.

– время регулирования – 15 с. Временем регулирования называют минимальное время, по истечении которого, начиная с момента начала действия входного сигнала, выходная переменная отклоняется от установившегося значения на величину, не превышающую некоторую заданную постоянную величину 5 %. Помимо этого время регулирования напрямую влияет на быстродействие системы. Превышение данного параметра также является недопустимым, вследствие обеспечения испытательным стендом большого расхода топлива.

3.1 Идентификация объекта регулирования

Под идентификацией систем понимается совокупность методов предназначенных для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном случае означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса во временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной – объект исследования выводится из равновесного состояния путем подачи на его входы специальных сигналов [34].

К активной идентификации прибегают при разработке новых технологий на действующих промышленных объектах. Пассивная идентификация применяется для уточнения математической модели [35].

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения температуры в трубопроводе системы топливоподачи испытательного стенда. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. График кривой разгона представлен на рисунке 3.1.

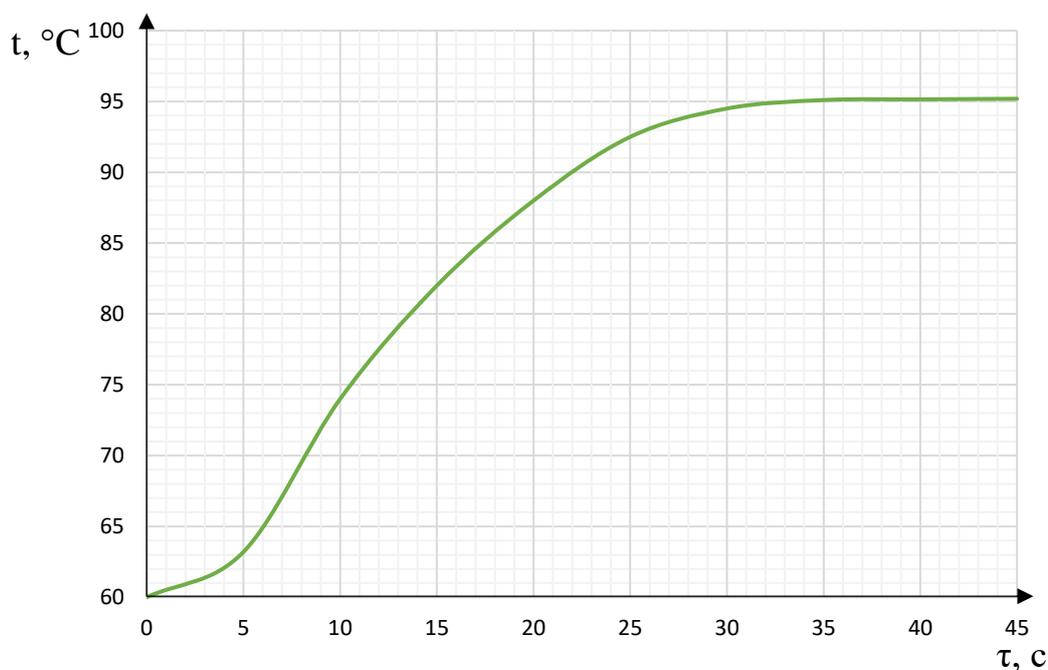


Рисунок 3.1 – Кривая разгона объекта регулирования

На полученной кривой разгона определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени; время запаздывания; коэффициент передачи [34].

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)} \cdot e^{-p\tau}, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент усиления;

T – постоянная времени;

p – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания.

На графике кривой разгона проводится касательная в максимальной точке скорости изменения величины (рисунок 3.2).

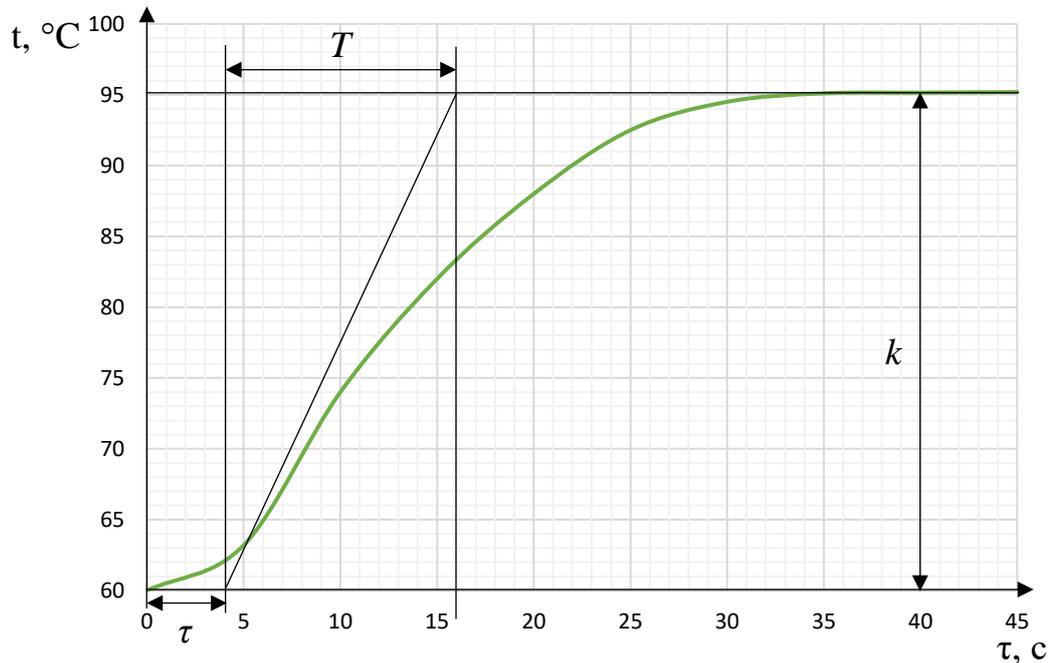


Рисунок 3.2 – Кривая разгона объекта регулирования

По графику определяются динамические параметры объекта:

- коэффициент усиления $k = 35^{\circ}\text{C}$;
- время запаздывания $\tau = 4 \text{ с}$;
- постоянная времени $T = 12 \text{ с}$.

После подстановки в формулу 3.1 передаточная функция примет вид:

$$W(P) = \frac{35}{(12P + 1)} \cdot e^{-4P}.$$

Структурная схема системы регулирования представлена на рисунке 3.3.

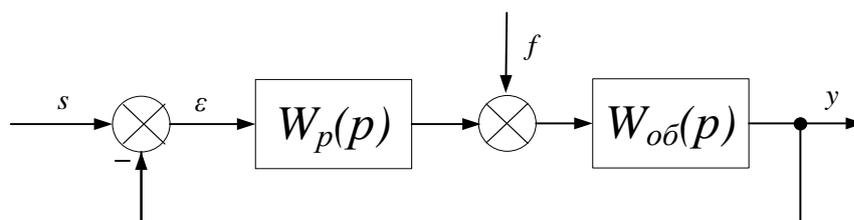


Рисунок 3.3 – Структурная схема системы регулирования

3.2 Определение оптимальных параметров настройки регулятора

Для расчёта АСР с ПИ-регулятором, представленной на рисунке 4, необходимо провести синтез системы автоматического регулирования при $\psi=1$.

Основная идея метода состоит в том, чтобы при $M=1$ выбором параметров системы регулирования максимально расширить в области низких частот горизонтальный участок АЧХ системы. Это соответствует увеличению диапазона пропускаемых частот, а, следовательно, и быстродействию системы регулирования. Математическая формулировка этой идеи может быть представлена так:

$$\frac{d^m A_3(\omega)}{d\omega^m} \Big|_{\omega=0} = 0, \quad m = 1, 2, \dots, z, \quad (3.2)$$

где z – число варьируемых параметров системы (число параметров регулятора).

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W(p) = W_o(p) \cdot W_p(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p\tau}} \cdot k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{II} \cdot p} \right), \quad (3.3)$$

где $W_o(p)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора.

Преобразуем данную формулу. Получим формулу следующего вида:

$$W(p) = \frac{k}{(T_0 \cdot p + 1) \cdot e^{p\tau}} \cdot \frac{k_1 + k_p \cdot p}{p}, \quad (3.4)$$

где $k_1 = k_p / T_{II}$.

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W_3(p) = \frac{W_o(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot p}{(T_0 \cdot p^2 + p) \cdot e^{p\tau} + C_0 + C_1 \cdot p} =$$

$$= \frac{B(p)}{A_1(p) + B(p)}. \quad (3.5)$$

Определим производные от $A_1(p)$ и $B(p)$ по p при $p=0$ и подставим их в следующую формулу для астатической системы регулирования (для $m=1$ и $m=2$):

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0} = \\ & = \sum_{k=0}^{2m} (-1)^k \cdot C_{2m}^k \left[A_1^{(2m-k)}(i\omega) \cdot B^{(k)}(i\omega) \cdot A_1^{(k)}(i\omega) \cdot B^{(2m-k)}(i\omega) \right]_{/\omega=0}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

В результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} 2 \cdot (T+1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 2 \cdot k \cdot k_p = 1; \\ (3 \cdot T+1) \cdot \tau \cdot k \cdot k_1 - 3 \cdot (2 \cdot T+1) \cdot k \cdot k_p = -3 \cdot T^2, \end{cases}$$

где $T = T_0/\tau$.

Разрешив систему относительно $\tau \cdot k \cdot k_1$ и $k \cdot k_p$ и подставив в данные формулы известные величины получим:

$$4 \cdot 35 \cdot \frac{k_p}{T_u} = \frac{6 \cdot 9 + 6 \cdot 3 + 3}{4 \cdot (3 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1)};$$

$$35 \cdot k_p = \frac{6 \cdot 27 + 6 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1}{4 \cdot (3 \cdot 9 + 3 \cdot 3 + 1)}.$$

Решив данную систему уравнений получим:

$$T_H = 12,05;$$

$$k_p = 0,0436.$$

Передаточная функция регулятора примет вид:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot P} \right) = 0,0436 \cdot \left(1 + \frac{1}{12,05 \cdot P} \right).$$

Следующим этапом является оценка качества переходного процесса в замкнутой системе по каналу регулирующего и возмущающего воздействия.

3.3 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу регулирующего воздействия

Передаточная функция системы будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (3.7)$$

где $W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(P)$ – передаточная функция регулятора.

Переходный процесс, идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия, рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы.

Используя вычислительные программные средства, предварительно зададим начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$, после чего рассчитаем вещественную частотную характеристику (ВЧХ) объекта при изменении частоты до $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$.

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{з.с.}(\omega)$						
0	1	0,2	-0,10352	0,4	-0,4654	0,6	-0,12972
0,02	0,987379	0,22	-0,24904	0,42	-0,42739	0,62	-0,10645
0,04	0,949649	0,24	-0,369	0,44	-0,38847	0,64	-0,08504
0,06	0,886946	0,26	-0,45911	0,46	-0,34992	0,66	-0,06535
0,08	0,799246	0,28	-0,51897	0,48	-0,31254	0,68	-0,04728

Продолжение таблицы 3.1

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{3.c.}(\omega)$						
0,1	0,686905	0,3	-0,55129	0,5	-0,27687	0,7	-0,03072
0,12	0,55157	0,32	-0,56061	0,52	-0,24318	0,72	-0,01555
0,14	0,397082	0,34	-0,5521	0,54	-0,21161	0,74	-0,00168
0,16	0,230034	0,36	-0,53071	0,56	-0,18221	0,75	-0,12972
0,18	0,059607	0,38	-0,50069	0,58	-0,15494		

По данным таблицы 3.1 выполняется построение графика вещественной частотной характеристики. Полученный график представлен на рисунке 3.4.

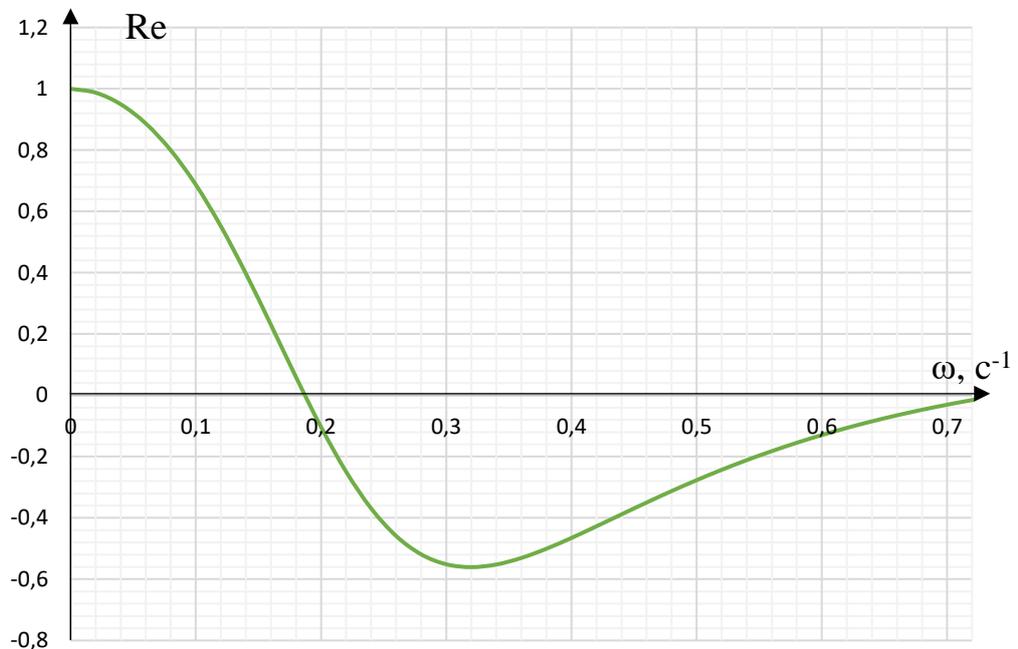


Рисунок 3.4 – График вещественной частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественной частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (3.8)$$

где $\text{Re}(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы;

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса.

Для достижения точности расчета в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к 0. Это значение определяется из рисунка 3.4.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0.72} \frac{\operatorname{Re}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega.$$

На рисунке 3.5 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

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.

На практике качество регулирования определяется визуально по графику переходной характеристики. Однако, имеются точные, но более сложные математические методы, дающие конкретные числовые значения.

Для определения качества регулирования воспользуемся прямыми оценками качества, определяемыми непосредственно по переходной характеристике.

Используя данные рисунка 3.5, производится оценка качества переходного процесса.

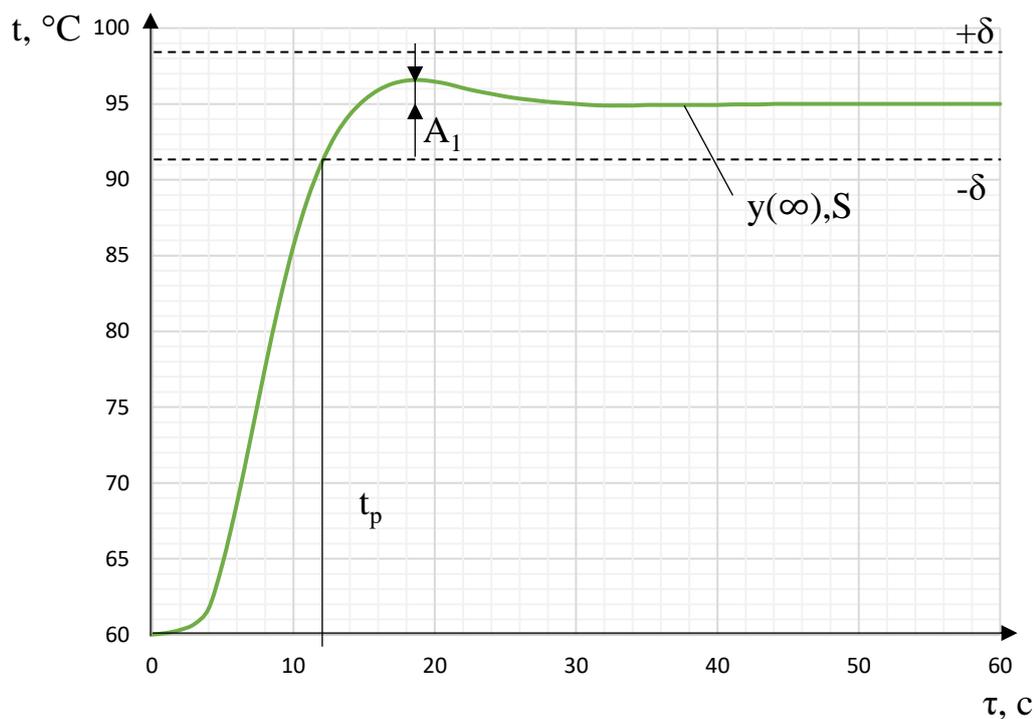


Рисунок 3.5 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Прямые оценки качества [36]:

1.Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{t_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100, \quad (3.9)$$

где t_{\max} – первый максимальный выброс регулируемой величины;

$y(\infty)$ – уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса t .

$$\sigma = \frac{96,54 - 95}{95} \cdot 100 = 1,62 \%$$

2.Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{cm} = S - y(\infty), \quad (3.10)$$

где $S = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$ – сигнал задающего воздействия.

$$\varepsilon_{cm} = 95 - 95 = 0.$$

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1}, \quad (3.11)$$

где $A_2 = 0,06$ – второй максимальный выброс регулируемой величины.

$$\psi = 1 - \frac{0}{1,54} = 1.$$

4. Время регулирования при величине $\Delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 4,75$:

$$t_p = 12 \text{ с.}$$

5. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 1,54.$$

3.4 Расчет, построение и оценка качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущения

Передаточная функция замкнутой АСР по каналу f -у для одноконтурной системы регулирования, приведенной на рисунке 3.3, имеет вид:

$$W_{f-y}(p) = \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_p(p)}, \quad (3.12)$$

где $W_o(p)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(p)$ – передаточная функция регулятора.

Используя вычислительные программные средства, предварительно зададим начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ с}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,02 \text{ с}^{-1}$, после чего рассчитаем вещественную частотную характеристику (ВЧХ) объекта при изменении частоты до $\omega = 0,75 \text{ с}^{-1}$.

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{3,\text{с}}(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{3,\text{с}}(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{3,\text{с}}(\omega)$
0	0	0,26	-5,395	0,52	-6,118
0,02	2,074	0,28	-7,755	0,54	-5,427
0,04	6,922	0,3	-9,416	0,56	-4,77
0,06	12,009	0,32	-10,442	0,58	-4,15
0,08	15,686	0,34	-10,936	0,6	-3,567
0,1	17,439	0,36	-11,012	0,62	-3,023
0,12	17,352	0,38	-10,779	0,64	-2,516
0,14	15,714	0,4	-10,328	0,66	-2,045
0,16	12,887	0,42	-9,732	0,68	-1,608
0,18	9,267	0,44	-9,049	0,7	-1,204
0,2	5,268	0,46	-8,321	0,72	-0,831
0,22	1,287	0,48	-7,577	0,74	-0,487
0,24	-2,344	0,5	-6,838	0,76	0

С помощью данных таблицы 3.2 выполняется построение графика ВЧХ системы. Полученный график представлен на рисунке 3.6.

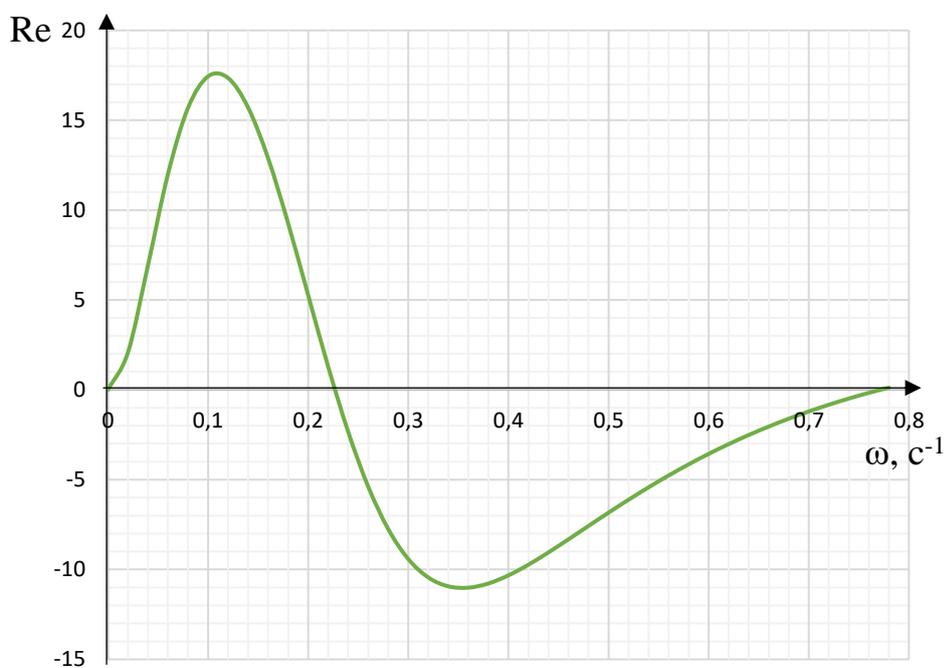


Рисунок 3.6 – График ВЧХ системы

Переходный процесс по каналу возмущения рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,77} \frac{\text{Re}_{3.C.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (3.13)$$

где 0,77 – частота среза, при которой график $\text{Re}(\omega)$ стремится к 0, определяется эта частота из графика ВЧХ (рисунок 3.6).

На рисунке 3.7 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия.

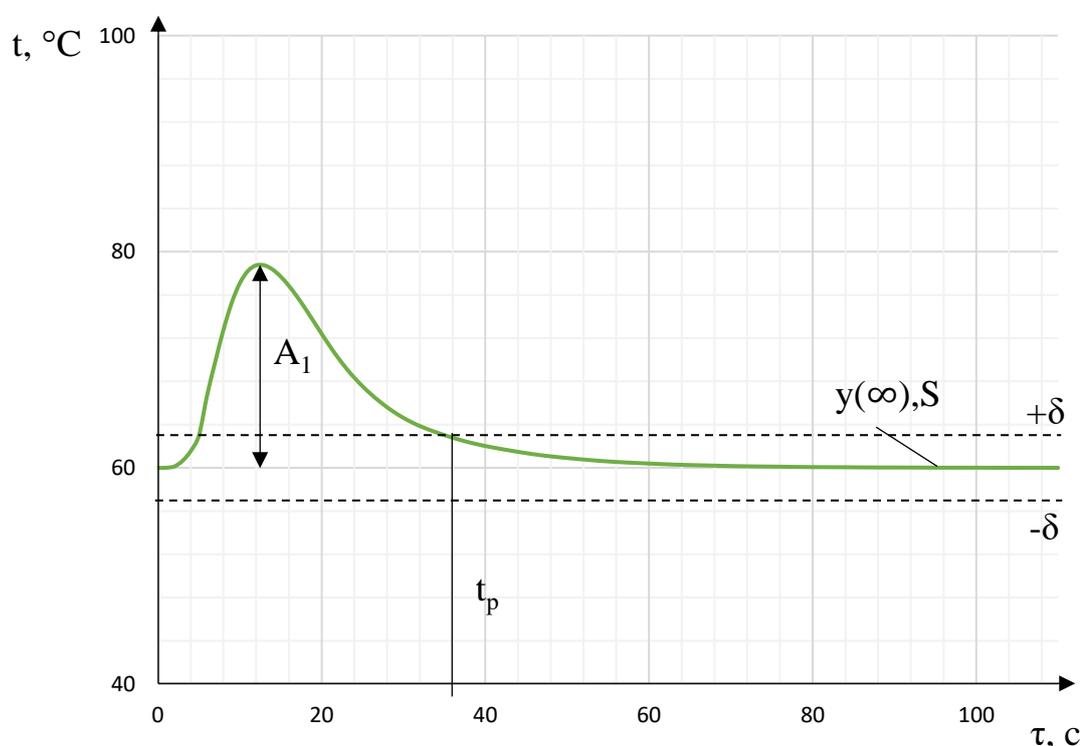


Рисунок 3.7 – График переходного процесса замкнутой АСР по каналу возмущения

Прямые оценки качества [36]:

1. Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0}{18,7} \cdot 100 = 0 \%,$$

где $A_3 = 0$ – второе минимальное отклонение регулируемой величины.

2. Динамический коэффициент регулирования:

$$R_{\text{д}} = \frac{A_1}{k} \cdot 100 = \frac{18,7}{35} \cdot 100 = 53,4 \%,$$

где $k = 35$ – коэффициент передачи объекта.

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{18,7} = 1,$$

где $A_2 = 0$ – второй максимальный выброс регулируемой величины.

4. Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{\text{СТ}} = 0.$$

5. Время регулирования:

$$t_p = 36 \text{ с при величине } \delta = 0,05 \cdot k = 3.$$

6. Максимальная динамическая ошибка:

$$A_1 = 18,7.$$

На полученных переходных характеристиках определены динамические характеристики объекта, а также были получены эквивалентные передаточные функции системы по каналу задания и по каналу возмущения. Проведенная оценка качества данных процессов показала, что они удовлетворяют требованиям к запасу устойчивости системы.

4 Разработка мнемосхемы процесса подачи топлива

Мнемосхема представляет собой совокупность сигнальных устройств и сигнальных изображений оборудования и внутренних связей контролируемого объекта. Размещаются мнемосхемы на диспетчерских пультах, операторских панелях или выполняются на персональном компьютере.

Мнемосхемы могут отражать как общую картину состояния системы, технологического процесса, так и состояние отдельных агрегатов, устройств, значения параметров и т. п. Вспомогательный и справочный материал должен быть расположен в дополнительных формах отображения, с возможностями максимально быстрого извлечения этих вспомогательных форм на экран.

В данной работе схема разрабатывалась в соответствие с общими требованиями [37]:

- 1) мнемосхема должна состоять из того набора элементов, которые минимально необходимы для осуществления процесса управления и контроля за состоянием объекта;
- 2) отдельные элементы или группы элементов, которые являются ключевыми при контроле и управлении, должны выделяться размерами, формой, цветом;
- 3) элементы мнемосхемы должны быть понятными и интуитивными, хорошо видимыми.

Исходя из этих принципов была разработана мнемосхема процесса подачи гелеобразного топлива в камеру сгорания. В программном обеспечении MasterSCADA создаем объект и добавляем на него необходимые элементы (создаем мнемосхему) и осуществляем связь объектов с переменными (рис 4.1)

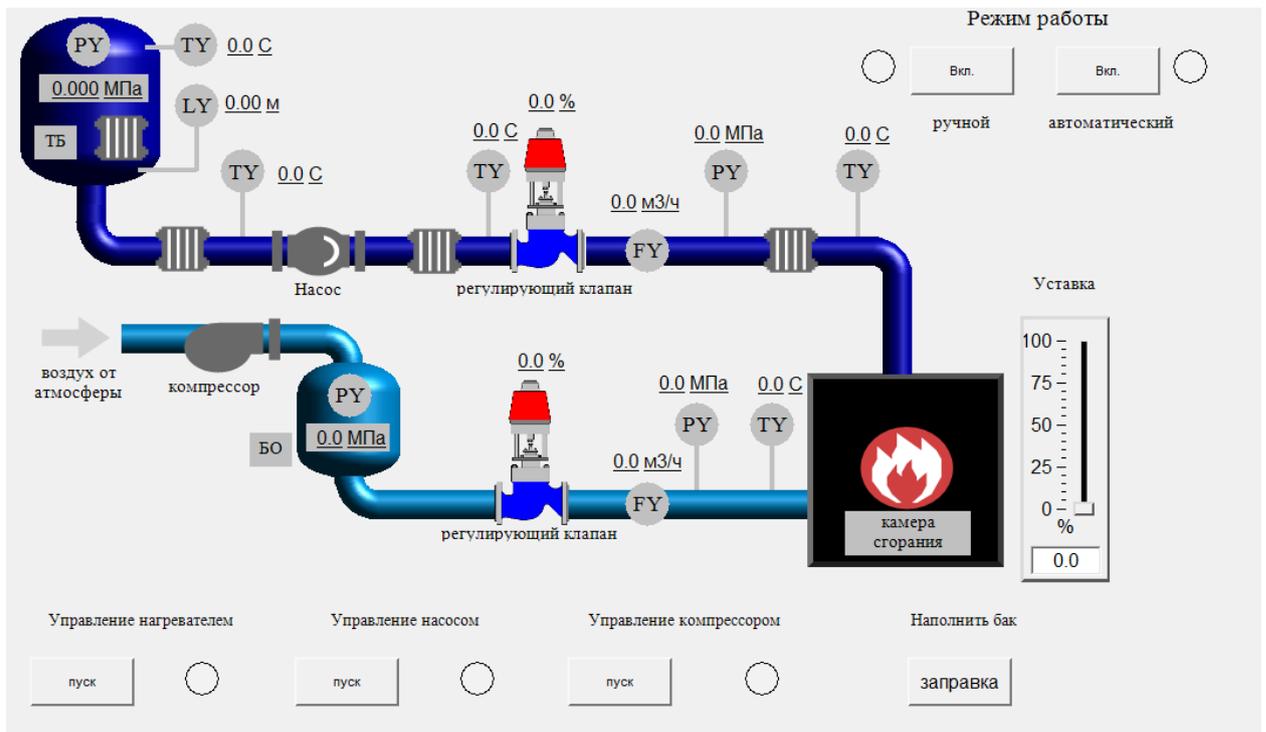


Рисунок 4.2 – Главное окно мнемосхемы

На мнемосхеме серый цвет ламп обозначает отключенное состояние, красный включенное.

В центральной части мнемосхема содержит условное изображение технологического процесса с указанием ключевых параметров. В левом верхнем углу расположена панель переключения режима управления, ниже расположен ползунок регулирования установки, с помощью которого задается расход топлива. В нижней части расположена панель управления, с помощью которой оператор может осуществлять включение и выключение основных агрегатов.

Кроме ламп на схеме используется индикация на самом объекте. Зеленый цвет насоса, компрессора или нагревателей означает, что оборудование запущено, серое – остановлено. Вся сигнальная аппаратура связана с соответствующей переменной, значение которой определяет цвет индикатора.

Произведем проверку работоспособности программного обеспечения. Для этого запустим нашу программу в CoDeSys и запустим эмуляцию проекта в MasterSCADA. Произведем тестирование программы в ручном режиме для

этого на панели «Режим работы» нажмем кнопку «Ручной вкл.», после этого включим нагреватели, затем насос и компрессор. Об успешном запуске оборудования будут сигнализировать красные лампы индикации, а также зеленая и желтая подсветка оборудования на мнемосхеме (рис. 4.3).

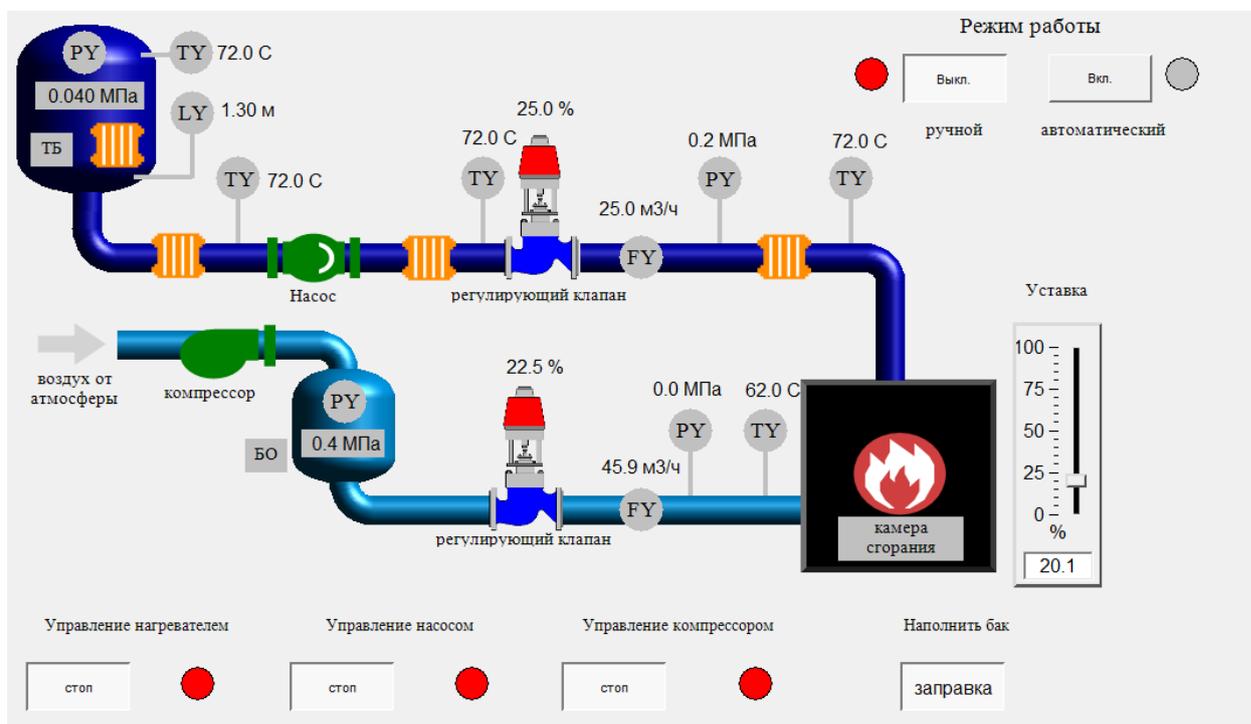


Рисунок 4.3 – Тестирование главного окна мнемосхемы в ручном режиме (уставка 20,1 %)

Исходя из рисунка 4.3 можно судить об успешной работе системы с использованием программного обеспечения MasterSCADA.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Сидорову Денису Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад инженера составляет 24157 руб., научного руководителя – 42900 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды 30,2 % от фонда оплаты труда (ФОТ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Смета затрат на оборудование 4. Формирование бюджета затрат

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
-------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	Доцент к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Сидоров Денис Сергеевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Выпускная квалификационная работа направлена на изучение реологических характеристик типичных гелеобразных топлив, закономерностей процессов, протекающих при транспортировке таких топлив по трубопроводам, способов регулирования расхода и разработки, соответствующей АСР.

Основная задача работы – разработка системы автоматического регулирования температуры и расхода топлива в системе топливоподачи испытательного стенда.

Цель работы заключается в расчете экономической эффективности внедрения автоматического регулирования температуры и расхода топлива в системе топливоподачи испытательного стенда. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) спланировать затраты на проектирование системы;
- 2) установить капитальные затраты на создание проекта системы регулирования;
- 3) вычислить разовые капитальные вложения на приобретение технических средств автоматизации, монтаж и их наладку;
- 4) определить экономический эффект от внедрения данной системы.

5.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

При 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.

Порядок этапов работ и распределение исполнителей приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работы		Исполнители	Время выполнения (дни)
1	Получение задания на выполнение ВКР	инженер	1
2	Составление календарного плана-графика работы	инженер	1
		научный руководитель	
3	Анализ литературных данных	инженер	15
4	Описание объекта исследования	инженер	3
5	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	инженер	11
6	Разработка принципиальной электрической схемы	инженер	9
		научный руководитель	2
7	Разработка монтажной схемы и щита управления	инженер	4
8	Разработка схемы взаимодействия уровней управления, написание программного кода	инженер	3
9	Проектирование мнемосхемы	инженер	2
10	Оформление пояснительной записки ВКР	инженер	12
11	Проверка пояснительной записки ВКР	инженер	2
		научный руководитель	
Итого		инженер	65
		научный руководитель	5

Анализируя таблицу 5.1, видно, что основная нагрузка приходится на должность инженера.

5.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (5.1)$$

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:

$$T_{pd} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{\delta}, \quad (5.2)$$

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_{δ} – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных издержек и согласование работ, принимаем, также, равным 1.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{pd} \cdot T_{к}, \quad (5.3)$$

где T_k – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях и рассчитываемый по формуле:

$$T_k = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{нд}}, \quad (5.4)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни (365); $T_{вд}$ – выходные дни (108); $T_{нд}$ – праздничные дни (10).

$$T_k = \frac{366}{366 - 118} = 1,476$$

По данным таблицы 5.1 составлена продолжительность этапов работ и их трудоемкость по исполнителям, занятым на каждом этапе (таблица 5.2). Также построен линейный график осуществления проекта (диаграмма Ганта), (таблица 5.3).

Таблица 5.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.–дн.				
		t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$	T_{pd}		T_{kd}		
					НР	И	НР	И	
1	Получение задания на выполнение ВКР	инженер	1	2	1,4	–	1,4	–	2,066
2	Составление календарного плана- графика работы	инженер	1	2	1,4	1,4	1,4	2,066	2,066
		научный руководитель	1	2	1,4				
3	Анализ литературных данных	инженер	12	18	14,4	–	14,4	–	21,254
4	Описание объекта исследования	инженер	2	5	3,2	–	3,2	–	4,723
5	Разработка структурной, функциональной схем, выбор оборудования	инженер	9	14	11	–	11	–	16,236
6	Разработка принципиальной электрической схемы	инженер	6	11	8	1,8	8	2,657	11,808
		научный руководитель	1	3	1,8				
7	Разработка монтажной схемы и щита управления	инженер	2	6	3,6	–	3,6	–	5,314

Продолжение таблицы 5.2

Этап		Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.–дн.			
			t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	$T_{\text{рд}}$		$T_{\text{кд}}$	
						НР	И	НР	И
8	Разработка схемы взаимодействия уровней управления, написание программного кода	инженер	2	5	3,2	–	3,2	–	4,723
9	Проектирование мнемосхемы	инженер	1	3	1,8	–	1,8	–	2,657
10	Оформление пояснительной записки ВКР	инженер	9	15	11,4	–	11,4	–	16,826
11	Проверка пояснительной записки ВКР	инженер	1	3	1,8	1,8	1,8	2,657	2,657
		научный руководитель	1	3	1,8				
Итого:					66,2	5	61,2	7,38	90,331

Таблица 5.3 – Линейный график работ

Этап	НР	И	февраль						март						апрель						май	
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
1	–	2,066	■																			
2	2,066	2,066	■	■																		
3	–	21,254		■	■	■	■	■														
4	–	4,723						■														
5	–	16,236							■	■	■	■										
6	–	11,808										■	■	■								
7	2,657	5,314												■	■							
8	–	4,723													■	■						
9	–	2,657														■						
10	–	16,826															■	■	■	■		
11	2,657	2,657																			■	■

НР – ■ ; И – ■ .

Построенная диаграмма позволяет наглядно увидеть загруженность исполнителей, а также время выполнения работ.

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Капитальные затраты на проект включают в себя следующие виды затрат: материальные, амортизационные отчисления, социальные отчисления, накладные и прочие затраты, необходимые для проведения работ по теме, а также затраты на заработную плату научного руководителя и инженера.

Смета затрат на проект рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{проект}} = Z_{\text{мат}} + Z_{\text{амор}} + Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{со}} + Z_{\text{накл}}. \quad (5.5)$$

где $Z_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$Z_{\text{амор}}$ – амортизация компьютерной техники;

$Z_{\text{ЗП}}$ – затраты на заработную плату;

$Z_{\text{со}}$ – отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

$Z_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

Далее выполним расчет каждого показателя отдельно.

5.2.1 Материальные затраты

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. Примем материальные затраты в размере 1700 рублей на канцелярские товары.

$$Z_{\text{мат}} = 1700 \text{ руб.}$$

5.2.2 Расчет амортизационных расходов

Амортизация – это процесс переноса стоимости основных средств на стоимость произведенной и проданной конечной продукции по мере их морального и материального износа. При разработке системы испытательного

стенда используется компьютерная техника, имеющая свой срок службы, и, как следствие, существует необходимость учета затрат на ее износ.

Для расчета затрат на амортизацию воспользуемся формулой:

$$Z_{амор} = \frac{H_a \cdot Ц_{об} \cdot t_{исп} \cdot n}{F_0}, \quad (5.6)$$

где H_a – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{об}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом транспортно-заготовительных расходов (ТЗР), руб.;

$t_{исп}$ – фактическое время использования единицы оборудования, ч.;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования;

F_0 – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования (для шестидневной рабочей недели 2408 часов), ч.

Стоимость персонального компьютера составляет 50000 руб., время использования 712 часов, годовая норма амортизации оборудования 40 %, тогда амортизационные отчисления составляют:

$$Z_{амор} = \frac{0,4 \cdot 50000 \cdot 712 \cdot 1}{2408} = 5913,6 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации составила 5913,6 рублей.

5.2.3 Расчет заработной платы

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.

Затраты на заработную плату рассчитываются по формуле (5.7) [38]:

$$Z_{3П} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата определяется по формуле (5.8) [38]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \cdot (1 + K_{пр} + K_{д}) \cdot K_p, \quad (5.8)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дни.

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент;

$K_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок;

K_p – районный коэффициент (равен 1,3 для г. Томска);

Среднедневная заработная плата [38]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{д}}, \quad (5.9)$$

где Z_m – оклад работника за месяц, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя и при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Далее в таблице 5.4 представлен баланс рабочего времени для 6-дневной рабочей недели.

Таблица 5.4 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной рабочей недели)

Показатели рабочего времени	Дни
Календарные дни	366
Нерабочие дни (праздники/выходные)	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	234

Рассчитаем среднедневную заработную плату для инженера и научного руководителя, данные внесем в таблицу 5.5:

$$Z_{\text{дн.ин}} = \frac{24157 \cdot 10,4}{234} = 1073,6 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.нр}} = \frac{42900 \cdot 10,4}{234} = 1906,6 \text{ руб.}$$

Таблица 5.5 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$T_{\text{р}}$	$Z_{\text{осн}}$
Инженер	1073,6	0,05	0,05	1,3	90	138172,32
Научный руководитель	1906,6	0,05	0,05	1,3	7	19085,06
Итого						157257,38

Дополнительная заработная плата исполнителей определяется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5.10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15) [38].

Результаты расчетов дополнительной заработной платы внесем в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Дополнительная заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Научный руководитель	2290,2
Инженер	16580,68
Итого	18870,88

Таким образом, суммарная надбавка к основной заработной плате руководителя и инженера составила 18870,88 рублей.

5.2.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [38]:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (5.11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30,2 %.

Результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды внесем в таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{внеб}$, руб.
Научный руководитель	6455,32
Инженер	46735,4
Итого	53190,72

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составила 53190,72 рублей.

5.2.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [38]:

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (Z_{мат} + Z_{амор} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}); \quad (5.12)$$

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (1700 + 5913,6 + 157257,38 + 18870,88 + 53190,72) = 37909,2 \text{ руб.}$$

Из расчетов видно, что накладные расходы составили 37909,2 рубля.

5.2.6 Смета затрат на оборудование

Смета данного раздела составляется как на приобретение технологического оборудования, так и на строительные-монтажные работы по ремонту, капитальному ремонту зданий и оборудования, на реконструкцию и строительство новых объектов, благоустройство дворовых территорий. В таблице 5.8 представлена смета затрат на оборудование испытательного стенда.

Таблица 5.8 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом 4...20мА ТСМУ-205	5	8445,6	42228
Датчик избыточного давления МИДА-ДИ-13П-ОМ20	4	4220	16880
Диафрагма камерная фланцевая ДФК Элемер	2	2338	4676
Преобразователь дифференциального давления ОРТІВАR DP	2	36960	73920
Уровнемер радиоволновой УР-203Ех	1	59900	59900
ПЛК ЭЛСИ–ТМК с набором всех необходимых модулей	1	87000	87000
Исполнительный механизм МЭОФ-250/25-0,25-08К(Б)	2	18960	37920
Итого			322524

Стоимость оборудования составила $Z_{об} = 322524$ рублей.

Капитальные вложения в монтаж рассчитываются как 20 % от вложений в оборудование:

$$Z_{\text{монт}} = 0,2 \cdot Z_{\text{об}}; \quad (5.13)$$

$$Z_{\text{монт}} = 0,2 \cdot 322524 = 64504,8 \text{ рублей.}$$

Затраты на покупку оборудования и его монтаж составят:

$$Z_{\text{м.об.}} = Z_{\text{об}} + Z_{\text{монт}}; \quad (5.14)$$

$$Z_{\text{м.об.}} = 322524 + 64504,8 = 387028,8 \text{ рублей.}$$

Таким образом, суммарные затраты на покупку и монтаж оборудования испытательного стенда составили 387028,8 рублей.

5.2.7 Формирование бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком зачитывается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку. Данные бюджета затрат приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Бюджет затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	1700	0,26
Затраты на амортизацию	5913,6	0,89
Затраты на основную заработную плату	157257,38	23,76
Затраты на дополнительную заработную плату	18870,88	2,85
Страховые взносы	53190,72	8,04
Накладные расходы	37909,2	5,73
Затраты на оборудование	387028,8	58,47
Общий бюджет	661870,6	100

Анализируя таблицу 5.9, можно увидеть, что наибольший процент затрат приходится на заработную плату и оборудование, и составляет 23,76 % и 58,47 % соответственно.

5.3 Выводы по разделу

В данном разделе был составлен перечень необходимых работ, произведена оценка сроков их выполнения, произведен расчет цены разработки НИР.

Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе являются затраты на закупку оборудования – 387028,8 руб. (58,47 %). На втором заработная плата исполнителей: основная – 157257,38 руб. (23,77 %), дополнительная – 18870,88 руб. (2,85 %). Затем идут затраты на страховые взносы – 53190,72 руб. (8,04 %). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 5913,6 руб. (0,89 %) и на материальные затраты – 1700 руб. (0,26 %). Общий бюджет разработки составил 661870,6 рублей. При этом запланированная продолжительность работы составляет 97 дней.

Эффективность автоматической системы регулирования испытательным стендом зависит от сравнения результатов функционирования системы и затрат всех видов ресурсов, необходимых для ее создания и развития. Благодаря современному оборудованию, установленному на объекте, увеличится срок его службы, повысится надежность системы регулирования.

Дистанционное управление испытательным стендом позволит также снизить производственные издержки вследствие:

- экономии топлива за счет оптимизации процесса испытаний, в том числе за счет ведения коррекции расхода топлива по соотношению к воздуху для обеспечения максимальной эффективности сжигания;
- оптимизации загрузки оборудования и процесса планирования ремонтов вследствие наличия в системе информации по наработке оборудования;

– снижения количества аварийных ситуаций, продолжительности вынужденных простоев оборудования и затрат на его ремонт за счет устранения «человеческого фактора»;

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Сидорову Денису Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

АСР температуры и расхода гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования является испытательный стенд для изучения процессов зажигания и горения гелеобразных топлив
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Отражены правовые нормы: – ГОСТ 12.0.004-2015; – Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года) – ТК РФ № 197-ФЗ; – Конституция РФ.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявлены вредные и опасные факторы: – недостаточная освещенность рабочей зоны – отклонение параметров микроклимата – повышенный уровень шума – повышенный уровень вибрации; – поражение электрическим током; – повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; – движущиеся части машин и механизмов.
3. Экологическая безопасность:	Потенциальным негативным воздействием на окружающую среду является воздействие выбросов в атмосферу продуктов процесса горения компонентов топлива.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Указаны возможные ЧС, а также меры по предупреждению и оповещению о случившемся ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.04.2020
------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, ООД	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Сидоров Денис Сергеевич		

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность предприятия – это уровень добровольного отклика на социальные потребности работников, лежащие вне определяемых законом или регулируемыми органами требований, это действия, предпринимаемые во благо общества добровольно [39].

6.1 Введение

Выпускная квалификационная работа направлена на изучение реологических характеристик типичных гелеобразных топлив, закономерностей процессов, протекающих при транспортировке таких топлив по трубопроводам, способов регулирования расхода и разработки, соответствующей АСР.

Основная задача работы – разработка системы автоматического регулирования температуры и расхода топлива в системе топливоподачи испытательного стенда. В данном разделе, будут отмечены все основные моменты, связанные с социальной ответственностью на каждом этапе разработки данного проекта.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Основным источником экологического неблагополучия являются аварии и катастрофы, сопровождающиеся выбросами и сбросами загрязняющих химических, радиоактивных, биологических веществ и материалов в окружающую среду, а также различные природные процессы и явления – наводнения, ураганы, бури, тайфуны, смерчи, сильные, особо длительные, дожди, землетрясения, оползни, обвалы и др.

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 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) – ГОСТ 12.0.004-2015 [40].

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

Охрана труда – это система или комплекс мероприятий, направленных на защиту здоровья, а также, создание безопасных условий для работника в процессе его трудовой деятельности.

Условия труда – это совокупность факторов трудового процесса и производственной (рабочей) среды, которые способны оказать влияние на работоспособность и здоровье человека.

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 – это вероятность причинения вреда здоровью работника, связанная с влиянием вредных или опасных производственных факторов во время исполнения трудовых обязанностей по контракту или иных обстоятельств, установленных Трудовым Кодексом и/или другими законами. Кроме этого, необходимость управления профессиональными рисками установлена статьей 209 ТК, которой определено, что порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке

государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. (часть четырнадцатая введена Федеральным законом от 18.07.2011 N 238-ФЗ). 76

Немаловажным является соблюдение временного режима работы персонала при проведении экспериментов на испытательном стенде. Время проведения экспериментов не должно превышать 4 часов. В противном случае проявляется снижение внимательности и эффективности труда персонала.

Средства индивидуальной и коллективной защиты работников – это средства, необходимые для предохранения от загрязнений, предотвращения отрицательного воздействия производственных факторов на работающих.

Помимо соблюдения временного режима работы, необходимо соблюдение техники безопасности при работе с компонентами гелеобразных топлив, а именно, ношение индивидуальных и коллективных средств защиты.

6.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место. Рабочее место – это зона нахождения работника и средств приложения его труда, которая определяется на основе технических и эргономических нормативов и оснащается техническими и прочими средствами, необходимыми для исполнения работником поставленной перед ним конкретной задачи.

При проектировании испытательного стенда нужно руководствоваться техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, а при планировке рабочего пространства работника – ТК РФ и другими документами.

Одними из важнейших требований при организации рабочего места являются обеспечение безопасных, комфортных условий для работы, пресечение возникновения профессиональных заболеваний и несчастных случаев.

Помимо прочего необходимо учитывать следующее:

- 1) проход справа, спереди и слева от стола должен составлять не менее 500 мм;
- 2) расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров знаков и символов;
- 3) окраска дизайна ПК должна быть выполнена в спокойных мягких тонах;
- 4) корпус ПК, клавиатура и другие блоки и устройства рабочего места 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).

6.3 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

К работе с экспериментальным стендом допускаются лица, обученные правилам техники безопасности и изучившие Руководство по эксплуатации.

При проведении исследований и дальнейшей разработки проектируемого решения согласно ГОСТ 12.0.003-2015, в таблице 6.1 приведен перечень возможных опасных и вредных факторов.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.03.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1.Отклонение показаний микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2.Превышение уровня шума		+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
3.Повышенный уровень вибрации		+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования безопасности
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
5.Недостаточная освещенность рабочего места.	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
6.Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов		+	ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий.
7.Движущиеся части машин и механизмов		+	ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация

6.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Промышленные объекты, используемые для сжигания топлив, представляют опасность для окружающей среды, так же, как и любые другие объекты тепловой и энергетической промышленности.

Опасным фактором таких производств являются: взрывоопасные компоненты гелеобразных топлив, работа агрегатов при давлении выше атмосферного, возможность разрушения испытательного стенда. Так же немаловажным фактором является токсичность компонентов топлива. Поэтому в помещении где хранятся и смешиваются компоненты гелеобразных топлив необходима вентиляция. Для защиты от воздействия химических компонентов, при проведении профилактических работ, необходима специализированная одежда. Из-за работы насоса и компрессора испытательного стенда в производственном помещении создаётся шум, что также негативно влияет на организм человека и окружающую среду.

6.3.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований

Отклонение параметров микроклимата

Находясь на рабочем месте в производственном помещении человек подвержен влиянию определённых метеоусловий, или микроклимату рабочих помещений. Окружающая среда влияет на состояние организма. Основными параметрами производственного микроклимата являются действующими на организм человека температура окружающей среды, влажность и скорость потока воздуха, а также температура окружающих поверхностей [41].

Работа оператора за ПК относится к классу легких работ. Для данного типа работ допустимые величины микроклиматы должны обеспечиваться при следующих условиях:

- перепад температуры воздуха должен быть не более 3...3,5 °С;

– перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать 3,5...4 °С.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать данным таблицы 6.2:

Таблица 6.2 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте

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

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

Повышенный уровень шума

Шум – беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

Шумы электромагнитного происхождения возникают в различных электротехнических изделиях. Их причиной является взаимодействие ферромагнитных масс под влиянием переменных во времени и пространстве магнитных полей. Электрические машины создают шумы с различными уровнями звука от 20 дБ (микромашин) до 110 дБ (крупные быстроходные машины) [42].

При работе различных механизмов, агрегатов, оборудования одновременно могут возникать шумы различной природы.

Одним из методов уменьшения воздействия шума на объектах энергетического производства является снижение или ослабление шума в его источниках – насосы, компрессоры, задвижки.

ГОСТ 12.1.003-2014 устанавливает классификацию шума, характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах, общие

требования к защите от шума на рабочих местах, шумовым характеристикам машин, механизмов, средств транспорта и другого оборудования и измерениям шума. В таблице 6.3 представлены допустимые уровни шума.

Таблица 6.3 – 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

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение – получение, распределение и использование световой энергии для обеспечения благоприятных условий видения предметов и объектов. Оно влияет на настроение и самочувствие, определяет эффективность труда.

Рациональное освещение помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда.

Освещение должно быть таким, чтобы работающие могли без напряжения зрения выполнять свою работу. Неудовлетворительное освещение может искажать информацию: кроме того, оно не только утомляет зрение, но вызывает также утомление всего организма в целом. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы. Рабочее освещение включает в себя общее стационарное, ремонтное и местное освещение. Охранное освещение предусматривается по периметру. Ремонтное освещение необходимо выполнять от понижающего трансформатора 12-42 В [43].

Поражение электрическим током

В помещении с большим количеством аппаратуры, использующей, как однофазный электрический ток, промышленной частоты напряжением 220 В так и трехфазный с частотой 380 В, есть вероятность поражения током. Во время нормального режима работы оборудования опасность поражения током практически минимальна, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое закорачивание частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Повышенный уровень вибрации

Для уменьшения воздействия вибраций на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий. В проектируемой системе топливоподачи имеются следующие источники вибраций: промышленный насос, компрессор исполнительные механизмы задвижек, установленные в помещении с временным пребыванием персонала.

Интенсивность вибраций деталей агрегатов (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. п.) согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ, следует уменьшать путем:

- облицовки этих поверхностей или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими вибрацию материалами;
- устройства гибких связей (упругих прокладок, пружин) между этими деталями и узлами агрегата, вызывающих вибрации;
- замены металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов;
- установления минимальных допусков при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;

- широкого внедрения смазки соударяющихся деталей вязкими жидкостями и помещения в жидкостные масляные и другие ванны вибрирующих и издающих шум деталей (шестеренчатых редукторов и т. п.);
- заключения в изолирующие кожухи шумных узлов агрегата (шестеренчатых редукторов, цепных, ременных и других передач, соударяющихся деталей и двигателей).

При проведении мероприятий по уменьшению вибраций агрегатов (насоса, компрессора и задвижек), с учетом того, что место постоянного пребывания персонала отделено от вышеупомянутых агрегатов, воздействие вибраций на персонал будет сведено к минимуму.

Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов

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;
- 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 перчатки для защиты рук от ожогов.

Движущиеся части машин и механизмов

Существует опасность получения травмы подвижными элементами оборудования испытательного стенда, например, фланцы исполнительных механизмов. Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации оборудования необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;
- запрещается эксплуатация оборудования при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов. Продолжать работу разрешается только после устранения причин неисправностей специалистами;

6.3.3 Обоснование мероприятий по снижению уровня воздействия опасных и вредных факторов на работающего (исследователя)

Для предотвращения ожога при работе обслуживающего персонала возле камеры сгорания необходима специализированная одежда, и выполнение техники безопасности.

Для предотвращения возможности поражения электрическим током должны соблюдаться следующие 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;
- все работы по устранению неисправностей производятся квалифицированным персоналом;
- постоянное наблюдение за исправностью электропроводки.

6.4 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 среднемноголетнего уровня в различных средах, приводящее к негативным воздействиям.

6.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Выбросы загрязняющих веществ предприятий теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания и хранения топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его использования, а также эффективностью в целом работы установки.

6.4.2 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.

6.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для снижения количества выбросов необходимо контролировать расход воздуха в камеру сгорания испытательного стенда. Ведь при нехватке окислителя, возникает большой недожог, что приводит к увеличению

количества золовидных отходов процесса сжигания гелеобразного топлива. А при избытке воздуха образуются оксиды азота.

6.5 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 [44].

6.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Возникновение возгорания, а также возможность разрушения испытательного стенда представляет большую опасность. Поскольку используемое гелеобразное топливо необходимо складировать, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баков путем измерения параметров топлива (температуры, давления), а также, осуществление внешнего осмотра. Признаками самовозгорания являются повышение температуры и превышение требуемого давления.

Нарушение противопожарных правил является самой распространенной причиной возникновения пожара. В связи с этим обслуживающий персонал должен эти правила не только хорошо знать, но и выполнять.

6.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

Особое внимание стоит уделить пожаробезопасности и электробезопасности. При функционировании испытательного стенда

существуют риски возникновения опасных ситуаций, как и при работе любого высокомоощного, производственного оборудования. Одним из рисков является разрыв магистралей топливоподачи, из-за превышения требуемого давления и расхода, и дальнейшее возгорание объекта. Для предотвращения появления такой ситуации оператор должен тщательно следить за технологическими параметрами установки (температура, давление, расход топлива). Также, для предотвращения возгорания помещение должно быть оборудовано средствами пожаротушения (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем), средствами связи, в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

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

Во избежание вышеперечисленных ЧС, в соответствии со СНиП 21-01-97* необходимо осуществить следующие мероприятия:

- произвести качественный монтаж технических средств автоматизации, подбор проводов нужного сечения имеющих плотную изоляцию, заземление оборудования;
- обеспечить безопасность людей и разработать инструкцию по безопасности для каждого отдельного рабочего помещения;
- допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж;
- установить инструкцией места для курения, хранения сырья, полуфабрикатов или готовой продукции и их предельно допустимое количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;
- при изнашивании какого-либо электрического элемента системы произвести его замену или демонтаж.

6.6 Выводы по разделу

В заключение всего вышеперечисленного хочется отметить основную задачу, поставленную данным разделом, – формирование у индивида социальной ответственности перед другими людьми и окружающей его средой обитания, а также необходимости выполнения всех возможных мероприятий, ведущих к улучшению условий труда.

Как итог проделанной работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве при функционировании разрабатываемого испытательного стенда;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;
- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматическая система регулирования температурой и расходом гелеобразного топлива в системе топливоподачи испытательного стенда. Спроектированная система построена по классическому трехуровневому принципу. Полевой уровень включает датчики измерения температуры, давления, уровня и расхода, а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер. На верхнем уровне АРМ оператора в виде SCADA системы

В ходе выполнения дипломного проекта была разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая, схема монтажная и общий вид щита.

Проведены экспериментальные исследования реологических характеристик типичных гелеобразных топлив.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации и мнемосхемы. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества, выполнены разделы «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «Социальная ответственность».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Altunina L.K., Manzhai V.N., Stas'eva L.A., Fufaeva M.S. Production of foamed cryogels by chemical gas generation in an aqueous solution of poly(vinyl alcohol) // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2007. – Vol. 80, No. 10. – P. 1647–1650.
2. Jyoti B. V. S., Baek S. W. Rheological characterization of ethanolamine gel propellants // Journal of Energetic Materials. – 2016. – Т. 34. – №. 3. – С. 260-278.
3. Kim H. et al. Spray characteristics of aluminized-gel fuels sprayed using pressure-swirl atomizer // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 2017. – Т. 249. – С. 36-47.
4. Naseem M. S., Jyoti B. V. S., Baek S. W. Experimental Studies of Gel Fuel for Propulsion System // The 2016 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT-2016). – Japan Society for Aeronautical and Space Science, 2016.
5. Yang D., Xia Z., Huang L., Ma L., Feng Y., Xiao Y. Experimental study on the evaporation characteristics of the kerosene gel droplet // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2018. – Vol. 93. – P. 171–177.
6. Robins M.M. Emulsions - creaming phenomena // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2000. – Vol. 5, No. 5-6. – P. 265–272.
7. Foudazi R., Qavi S., Masalova I., Malkin A.Ya. Physical chemistry of highly concentrated emulsions // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – Vol. 220. – P. 78–91.
8. Encyclopedia of emulsion technology. Vol. 4. Ed. by P. Becher. Marcel Dekker, Inc., New York, 1996. – 359 p.
9. Emulsion science. Ed. by P. Sherman. Academic Press, Inc., Ltd., London, New York, 1968. – 496 p.

10. Cohen-Addad S., Höhler R. Rheology of foams and highly concentrated emulsions // *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. – 2014. – Vol. 19, No. 6. – P. 536–548.
11. Kim H.S., Mason T.G. Advances and challenges in the rheology of concentrated emulsions and nanoemulsions // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2017. – Vol. 247. – P. 397–412.
12. Masalova I., Malkin A.Ya. The engineering rheology of liquid explosives as highly concentrated emulsions // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2013. – Vol. 91. – P. 204–210.
13. Yanovsky V.A., Andropov M.O., Fakhislamova R.S., Churkin R.A., Minaev K.M., Ulyanova O.S. Rheological properties of inverse emulsions stabilized by ethanolamides of tall oil fatty acids // *MATEC Web of Conferences*. – 2016. – Vol. 85. – Article No. 01020. – P. 1–7.
14. Nandagopalan P., John J., Baek S.W., Miglani A., Ardhianto K. Shear-flow rheology and viscoelastic instabilities of ethanol gel fuels // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Vol. 99. – P. 181–189.
15. Kalaitzis A., Makrygianni M., Theodorakos I., Hatziapostolou A., Melamed S., Kabla A., de la Vega F., Zergioti I. Jetting dynamics of Newtonian and non-Newtonian fluids via laser-induced forward transfer: Experimental and simulation studies // *Applied Surface Science*. – 2019. – Vol. 465. – P. 136–142.
16. Ouyang Y., Xiang Y., Gao X.-Y., Li W.-L., Zou H.-K., Chu G.-W., Chen J.-F. Micromixing efficiency in a rotating packed bed with non-Newtonian fluid // *Chemical Engineering Journal*. – 2018. – Vol. 354. – P. 162–171.
17. ГОСТ 32189-2013. Маргарины, жиры для кулинарии, кондитерской, хлебопекарной и молочной промышленности. Правила приемки и методы контроля; введ. 2014-07-01– Москва: Стандартинформ, 2014. – 56 с.
18. Галеев А. Г. Основы устройства испытательных стендов для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок.

Руководство для инженеров-испытателей – г. Пересвет, Московской области: Изд-во ФКП «НИЦ РКП», 2010. - 178 с.: ил.

19. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 109 с.

20. Allen bradley Каталог продукции. ПЛК Micro 870. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/Micro870#specifications>, свободный. – Загл. с экрана.

21. ТД «ОВЕН» Каталог продукции. ПЛК 63. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/catalog/programmiruemie_logicheskie_kontrolleri/info/general_information_63_73, свободный. – Загл. с экрана.

22. АО «ЭлеСи» Каталог серийной продукции. ПЛК ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/plc.aspx>, свободный. – Загл. с экрана.

23. ООО «ЕЛЕМЕР» Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/files/catalog/glavi/205h.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

24. ТД «ОВЕН» Каталог продукции. Датчики температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/dtshp5/>, свободный. – Загл. с экрана.

25. ООО «Эмерсон» Каталог продукции. Датчики давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/documents/automation/каталог/датчики-давления-Метран-150-раздел-каталога-Метран>, свободный. – Загл. с экрана.

26. АО «ВИКА МЕРА». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wika.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

27. ООО «BDsensors» Датчики давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bdsensors.ru/pdf/doc/hmp331.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

28. ООО «Энергосервер» Каталог продукции. Датчики переменного перепада давления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energoservert.ru/catalog/rashod-po-perepadu/optibar-dp-7060-sizmeritelnoy-diafragmoy.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
29. ООО «Тепломер-Сервис» Расходомеры Питерфлоу. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teplomer.ru/device/elektromagnitnye-rashodomery-piterflou-rs#f>, свободный. – Загл. с экрана.
30. ГК «Теплоприбор» Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlrccsjdm.xn--p1ai/catalog/mehanizm-ispolnitelnyj-meo-250-63-25-160-meof/>, свободный. – Загл. с экрана.
31. Проектирование внешних электрических и трубных проводок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme10.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
32. Какие бывают электрические схемы. Портал самэлектрик. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://samelectrik.ru/kakie-byvayut-elektricheskie-sxemy.html>, свободный. – Загл. с экрана.
33. ИЕК GROUP Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iek.ru/products/catalog/>, свободный. – Загл. с экрана.
34. Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: - Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 108с.
35. Методы расчета систем автоматического регулирования/Под ред. Волгина В.В. - 2-е изд.- М.: Изд. МЭИ, 1972. - 226 с.
36. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электрических станций. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.

37. Требования, предъявляемые к системам верхнего уровня. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://automation-system.ru/main/62-about-scada/scada/4-423-scada-trebovaniya.html/>, свободный. – Загл. с экрана.
38. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение // Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
39. Матузов Н. И., Малько А. В. Теория государства и права. – Юристъ, 2005.
40. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – Взамен ГОСТ 12.0.004-90; введ. 2017-03-01. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 60 с.
41. ТеплоВсем. Интернет магазин отопительной техники. Микроклимат помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.teplovsem.ru/content/microclimate.html>, свободный. – Загл. с экрана.
42. Шум, определение. Параметры шума [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5113767/page:16/>, свободный. – Загл. с экрана.
43. СП 52.13330.2016 – Свод правил. Естественное и искусственное освещение. – Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; введ. 2017-05-08. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 87 с.
44. Федеральный Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» №68 – ФЗ от 21.12.1994г. (в ред. от 23.06.2016г. №218 – ФЗ).
45. СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm, свободный. – Загл. с экрана.