

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система управления установкой для конверсии низкосортных топлив и промышленных отходов непрерывным световым потоком

УДК 681.51:66.041.498:662.65

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Ахметшин Марк Рустамович		

РУКОВОДИТЕЛЬ:

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД, ШБИП	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1 ^{1**} , УК-2, ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1)согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024

¹ ** - универсальные компетенции из СУОС ТПУ (для 2017 г. приема - приказ № 2226 от 01.03.2017 г).

		«Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
P4 (P6)	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)

<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
P5 (P4)	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P6 (P5)	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 8 сентября 2015 г. № 608н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 сентября 2015 г., регистрационный № 38993)

Универсальные компетенции		
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОК-1, ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	использовать творческий потенциал, <u>саморазвиваться</u> , <u>самореализовываться</u>	Требования ФГОС (УК-6, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, УК-5, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Профиль 4		
P14	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-6, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (40.012 Профессиональный стандарт «Специалист по метрологии», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.061 Оператор-наладчик автоматических линий

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
П.А. Стрижак
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ74	Ахметшину Марку Рустамовичу

Тема работы:

Автоматизированная система управления влажностью и температурой в климатической камере	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.05.2019 №3502

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3.06.2019
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Аллотермические газогенераторы – это установки, используемые для конверсии низкосортных видов топлива в синтез-газ. Данные установки используют внешний источник подвода энергии для процесса нагревания топлива и его дальнейшей газификации. В аллотермических процессах газификации необходимая для конверсии тепловая энергия получается не при окислении части топлива, а за счет преобразования других видов энергии в тепловую. При выборе АСУ ТП управления предусмотрено использование дутьевого способа подачи топлива в рабочую камеру. В процессе разработки автоматизированной системы управления выбраны микропроцессорные серийно выпускаемые
---------------------------------	--

	технические средства автоматизации для реализации функций автоматического контроля и управления.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Анализ современных способов конверсии низкосортных топлив и промышленных отходов. Разработка экспериментального стенда и методики исследований для определения эффективных параметров газификации низкосортного топлива с использованием непрерывного светового потока. Анализ полученных результатов и проработка рекомендаций для газификации низкосортных топлив с использованием предложенного подхода к конверсии. Разработка автоматизированной системы управления: описание объекта автоматизации, выбор структуры, разработка функциональной схемы, составление заказной спецификации, разработка принципиальной электрической схемы, общего вида щита управления. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность.
Перечень графического материала	Схемы структурная. Схема функциональная. Схема принципиальная электрическая соединений. Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Основной раздел	Волков Роман Сергеевич Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШФВП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна Доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Куликова Ольга Александровна Доцент ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	к.т.н.		11.01.19

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Ахметшин Марк Рустамович		

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Уровень образования Магистр
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3.06.19
--	---------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 161 с., 20 рис., 40 табл., 71 источник.

Ключевые слова: конверсия топлива, аллотермическая газификация, газогенератор, автоматизированная система управления, микропроцессорные технические средства автоматизации, регулятор.

Объектом автоматизации является установка для газификации низкосортного топлива и промышленных отходов.

Цель работы – создание АСУ установкой для газификации на основе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы проводились экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы АСУ, разработка функциональной схемы, разработка принципиальной электрической схем и общего вида щита управления, выбор приборов и технических средств автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана автоматизированная система управления на основе современных микропроцессорных средств автоматизации.

Основным преимуществом разработанной АСУ является наличие программно-оперативного комплекса на базе SCADA-системы, который осуществляет разделение функций между автоматической системой и оперативным персоналом для повышения качества регулирования и быстродействия системы, а также позволяет вовремя отреагировать на любую сложную ситуацию в процессе эксплуатации системы.

Оглавление

Введение.....	14
1 Классификация способов газификации твердого топлива	17
2 Автотермический способ газификации	18
3 Аллотермический способ свето-индуцированной газификации	21
4 Результаты исследования	24
4.1 Экспериментальная установка и методы исследования	24
4.2 Описание калибровки экспериментальной установки.....	24
4.3 Описание эксперимента с использованием рабочей камеры	26
4.4 Методика регистрации температурного поля образца.....	27
4.5 Методика регистрации изменения состава газа полученного в рабочей камере	28
4.6 Методика регистрации изменения массы образца в рабочей камере.....	29
4.7 Результаты экспериментов и практические рекомендации.....	29
5 Анализ объекта автоматизации	33
6 Разработка структуры автоматизированной системы управления	35
6.1 Технические требования к АСУ	38
7 Разработка функциональной схемы автоматизированного управления ...	42
8 Выбор технических средств и составление заказной спецификации.....	46
8.1 Выбор датчика уровня	46
8.2 Выбор микроволнового расходомера	47
8.3 Выбор вихревого расходомера	48
8.4 Выбор датчика температур	50
8.5 Выбор газоанализатора.....	51
8.6 Выбор программируемого логического контроллера	52

8.7 Выбор устройств защиты	56
8.8 Выбор исполнительного механизма	59
8.9 Выбор блока управления исполнительным механизмом	60
8.10 Выбор питания контроллера.....	61
8.11 Выбор диодного модуля.....	62
8.12 Выбор трехходового клапана.....	63
8.13 Выбор шиберной задвижки.....	64
8.14 Выбор электродвигателя	65
8.15 Выбор частотного преобразователя	66
8.16 Выбор источника света.....	68
8.17 Выбор автоматизированного рабочего места	68
8.18 Составление заказной спецификации	70
9 Перечень входных и выходных сигналов.....	71
10 Проектирование принципиальной схема АСУ	74
11 Проектирование монтажной схемы АСУ	76
12 Выбор проводов, кабелей и защитных труб.....	78
13 Конструкторская разработка АСУ	81
13.1 Щит автоматизации	81
14 Выбор регулирующего органа.....	82
15 Разработка математического, программного и информационного обеспечения	83
15.1 Математического обеспечения АСУ	83
15.2 Программное обеспечения АСУ	84
15.3 Информационное обеспечения АСУ	87
16 Разработка SCADA-системы	88

17 Расчет параметров настройки регулятора	90
18 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	101
18.1 Предпроектный анализ	102
18.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	102
18.1.2 Анализ конкурентоспособности технических решений	102
18.1.3 SWOT-анализ.....	104
18.2 Разработка перечня работ и оценка их выполнения	107
18.3 Смета затрат на проект	110
18.3.1 Материальные затраты	110
18.3.1.1 Амортизация компьютерной техники.....	110
18.3.1.2 Затраты на заработную плату	111
18.3.1.3 Затраты на социальные нужды	112
18.3.1.4 Прочие затраты.....	112
18.3.1.5 Накладные расходы	112
18.3.2 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	113
18.3.3 Определение экономической эффективности проекта	115
19 Социальная ответственность	118
19.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	119
19.2 Производственная безопасность	120
19.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	121
19.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	122
19.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)	127

19.3. Экологическая безопасность	128
19.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	128
19.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	129
19.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	129
19.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	130
19.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	131
19.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	131
19.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	132
Заключение	134
Список использованных источников	136
Приложение А – Заказная спецификация приборов и средств автоматизации	143
Приложение Б – Обзор литературы на иностранном языке	145

Графические материалы:	На отдельных листах
ФЮРА.421000.003 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.003 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.003 Э3	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.003 С4	Схема монтажная
ФЮРА.421000.003 ВО	Общий вид щита АСУ

Введение

За последние 30 лет в мире наблюдается постоянно увеличивающиеся темпы потребления не возобновляемых природных ресурсов. В свою очередь, темпы увеличения потребления, приводят к повышению спроса на ресурсы, и как следствие к повышению стоимости этих ресурсов. Так же, стоит отметить тот факт, что в мире существуют большие площади складирования отработанного топлива, которое может быть использовано для целей энергопотребления человека. Таким образом, актуальной становится задача разработки эффективных технологий комплексной безотходной переработки горючих промышленных отходов и низкосортных топлив. О важности и необходимости решения данной проблемы свидетельствует то, что в седьмой рамочной программе научно-технического сотрудничества стран ЕС предусмотрен специальный раздел по технологии газификации горючих бытовых отходов и производства энергии с нулевыми выбросами [1].

Одним из путей решения задачи по разработке эффективных технологий, позволяющих использовать отработанное и низкосортное топливо является – газификация.

Под газификацией понимается процесс преобразования органической части твердого или жидкого топлива в горючие газы, под воздействием высоких температур. Способ получения горючих газов, путем нагревания, впервые был реализован французским ученым Филиппом Лебоне в 1799 г.

Данный способ газификации получил название сухая перегонка. До начала 20-ого века, многие изобретатели и промышленные компании, использовали метод, подобный сухой перегонки, иногда изменяя конфигурацию рабочей камеры или способы загрузки топлива. Прорывом в процессе газификации твердого топлива, послужило открытие химической реакции, учеными Францом Фишером и Хансом Тропше. Суть этой реакции заключалось в следующем, через раскалённый слой угля продували

перегретый водяной пар, продуктом такого процесса являлся водяной газ. Водяной газ – это смесь оксида углерода и водорода.

Таким образом, открытие реакции «Фишер–Тропша» послужило новым витком в развитии газификации твердых топлив. Данная технология разрабатывалась и совершенствовалась в Германии, так как Германия обладала большими угольным запасами (Рурский угольный бассейн), но не имела большого количества запасов нефти. Во времена Второй мировой войны данная технология применялась для получения жидкого топлива, которое использовалось в двигателях внутреннего сгорания немецкой техники. После войны интерес к процессу «Фишер–Тропша» и технологиям газификации резко снизился, так как были открыты крупные месторождения полезных ископаемых и усовершенствование данной технологии потеряло актуальность [2].

В начале 90-х годов, после осознания того, что полезные ископаемые конечны, вновь вернулись к установкам, реализующим реакцию «Фишер–Тропша» и были построены первые мощности по производству жидкого топлива на основе этой реакции. В середине 2000-х годов, начали возникать новые проблемы в окружающей среде, из-за загрязнений, вызванных большими площадями скопившихся промышленных отходов и низкосортных топлив. Научные сообщества стран, начали активно изучать новые способы газификации промышленных отходов и низкосортных топлив.

В связи с этим необходимы исследования технологий газификации твердого топлива, основных характеристик газогенераторных установок и генераторных газов при использовании различных видов сырья, выбор наиболее эффективных технологий, разработка принципов конструкций оборудования для газификации низкосортного твердого топлива.

В настоящее время основным топливом для котельных и ТЭЦ является природный газ, который является экологически чистым и дешевым энергоносителем. Для повышения надежности котельных и ТЭЦ и

обеспечения бесперебойной работы источников тепловой энергии необходимо резервное топливо.

Исходя из проанализированных данных, можно сделать вывод о том, что создание автоматизированной системы управления установкой, позволяющей повысить коэффициент использования низкосортного топлива, приведет к повышению надежности ТЭЦ, снижению выбросов в атмосферу и сокращению отвалы отработанного топлива.

Новый подход к созданию установки отличается от известных тем, что полученные данные обеспечивают улучшенные технико-экономические показатели по сравнению с предыдущими методиками и технологиями.

Практическая значимость исследований заключается в том, что:

1) с научной точки зрения разрабатывается новая технология, которая может быть научно обоснована и запатентована. Она затрагивает такие разделы науки как: тепломассообмен, механику жидкости и газа, БЖД;

2) с точки зрения обучения техническим специальностям, будут разработаны новые методики обучения специалистов, которые впоследствии могут быть внесены в программу обучения в университетах;

3) с точки зрения общенародного подхода, можно выделить то, что снизятся вредные выбросы в атмосферу и повысится качество переработки низкосортного топлива и промышленных отходов. Так же, за счет новой технологии снизится себестоимость электроэнергии, за счет того, что в стоимость реализации закладываются все экономические части производства, в том числе и стоимость подготовки и производства топлива. И если стоимость будет снижена, то снизится и стоимость реализации продукта.

Настоящая цель данной работы заключалась в следующем: разработать и спроектировать автоматизированную систему управления установкой для газификации низкосортного топлива, при использовании которой будет реализован аллотермический способ конверсии топлива.

1 Классификация способов газификации твердого топлива

Известны два способа термической переработки твердого топлива с получением синтез-газа: аллотермический – с подводом тепла извне и автотермический – с получением тепловой энергии в процессе газификации за счет сжигания части топлива. В настоящее время наиболее конструктивно проработаны, и получили широкое распространение, газогенераторы автотермического метода газификации, при которых тепловая энергия необходимая для осуществления реакций получается в процессе сжигания части исходного топлива внутри аппарата – газогенератора, при этом до 40% топлива затрачивается на поддержание температуры процесса, поэтому КПД газификации бурого угля не превышает 50...60% [3]. Основными недостатками таких технологий является сравнительно низкая энергетическая эффективность синтез-газа из-за высокого содержания в нем азота и диоксида углерода, что является ограничением для транспортировки генераторного газа на большие расстояния.

Аллотермические газогенераторы с внешним подводом энергии, необходимой для процесса нагревания топлива и газификации, в настоящее время находятся в стадии экспериментальных исследований. В аллотермических процессах газификации необходимая для газификации тепловая энергия получается не при окислении части топлива, а за счет преобразования других видов энергии в тепловую. Выделение тепла и газификация могут быть разделены. При этом тепло для процесса газификации подводится либо через теплопередающую стенку внутри единого газогенераторного объема, либо при помощи автономно нагретого теплоносителя, который вводится в газифицируемую среду [4].

2 Автотермический способ газификации

В основе классического способа газификации лежит либо неполное окисление топлива при недостатке кислорода, либо неполное сгорание с последующим реагированием углерода с двуокисью углерода и водяным паром с целью получения горючих газов (СО, Н₂ и др.). Газификация топлива используется для повышения КПД его использования, так как при сжигании топлива большое количество энергии расходуется на горение и удаляется с уходящими газами. Следует отметить, что более половины поступившего топлива удаляется в виде золы и в дальнейшем отправляется в золоотстойники и в дальнейшем не используется. К реакциям, протекающим в газогенераторе следует отнести следующие: пиролиз, неполное горение, полное окисление – называют конверсией:

- 1) $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 408,9 \text{ кДж/моль};$
- 2) $C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 123,2 \text{ кДж/моль};$
- 3) $C + CO_2 \rightarrow 2CO - 161,5 \text{ кДж/моль};$
- 4) $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 - 136,9 \text{ кДж/моль};$
- 5) $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + 42,8 \text{ кДж/моль}.$

В процессе газификации бóльшая часть топлива преобразуется в горючие газы, которые в дальнейшем используются в промышленности. Горючие газы легко транспортируются по трубам на значительные расстояния. При сжигании газа не образуется твердых остатков (золы); легко достигается автоматизация и регулирование процесса, полнота сгорания и высокий температурный уровень горения. Для превращения твердого топлива в газообразное применяют специальные аппараты – газогенераторы [3,4].

Газогенератор представляет из себя вертикально установленный барабан с предустановленными механизмами подачи топлива, подачи окислителя, удаления полученного газа и удаления золы. Установка для получения синтез-газа представлена на рисунке 1 [5].

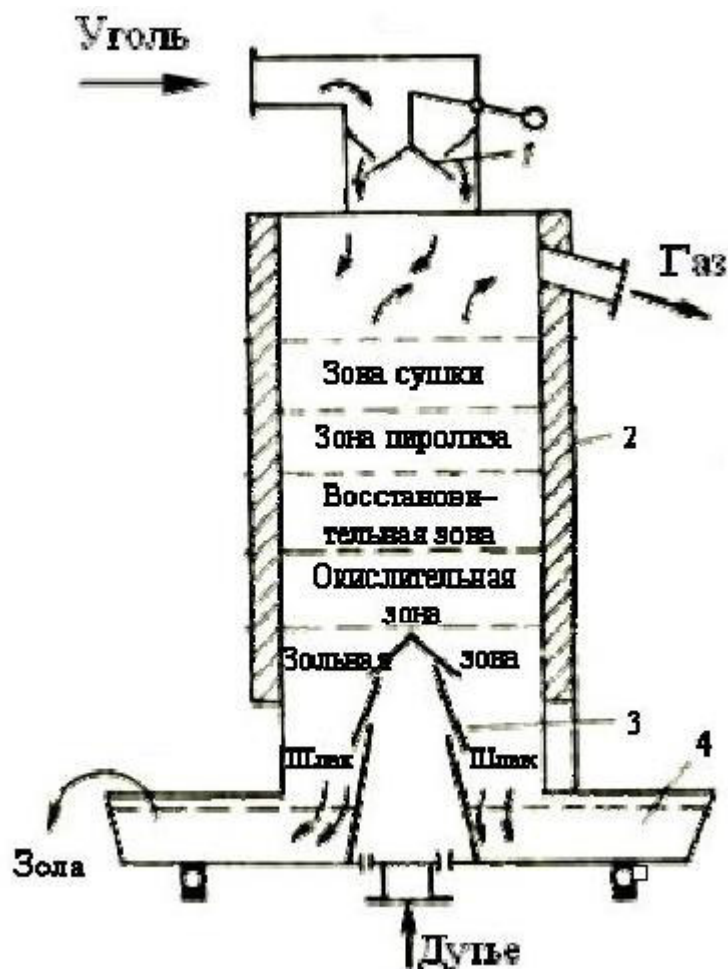


Рисунок 1 – Конструкция газогенератора

1 – затвор; 2 – корпус газогенератора; 3 – колосниковая решетка;

4 – чаши для отвода золы.

Топливо поступает сверху в загрузочное устройство. Снизу через зазоры в колосниковой решетке подают воздух и водяной пар. В нижней части слоя, расположенной над зоной шлака и золы, происходит сгорание топлива. Так как в этой зоне 1 расходуется в основном весь кислород, она называется кислородной. Слой шлака и золы, примыкающие к колосниковой решетке, играют роль засыпки, выравнивающей распределение дутья (воздуха и водяного пара). Исследования показывают, что роль самих колосников в этом выравнивании незначительна. Кроме того, зольная или шлаковая подушка защищает колосники от избыточного нагрева. Продукты горения углерода, содержащие в большом количестве CO_2 и в меньшем CO ,

поступают в зону восстановления 2. Здесь двуокись углерода, а также водяной пар вступают в химические реакции с углеродом топлива, раскаленного за счет тепла, выделившегося в кислородной зоне. Следует заметить, что эти процессы начинаются и в кислородной зоне. В результате реакций CO_2 и H_2O с углеродом топлива образуются горючие газы – CO , H_2 , к которым подмешивается негорючий балласт – азот (из воздуха), неразложенная часть CO_2 и водяной пар. Образующаяся смесь газов идет вверх через слой топлива и нагревает его своим («физическим») теплом. Топливо, нагретое без доступа кислорода, претерпевает сложное видоизменение своей внутренней структуры в процессе полукоксования (зона сухой перегонки 3). За счет оставшегося тепла в верхней части слоя топливо подсушивается и к газам присоединяются водяные пары в зоне сушки 4. В результате сухой перегонки из топлива выделяются летучие, т.е. газообразные продукты, содержащие CO , CO_2 , H_2 , CH_4 (метан), непредельные и другие углеводороды, а также пары жидких продуктов – смолы и внутренней (так называемой пирогенетической) влаги. Само топливо при этом превращается в твердый продукт, состоящий из углерода и минеральных примесей (зола), называемый коксом или (при большом остаточном выходе летучих) полукоксом. Таким образом, топливо из зоны сухой перегонки в зону восстановления и далее в кислородную зону поступает в виде кокса или полукокса. Образующийся генераторный газ, к которому в верхней части слоя топлива подмешиваются летучие, содержащие газообразные углеводороды, смоляные и водяные пары – отводится через газоотводящий патрубок. Негорючие твердые остатки в виде шлака удаляются с колосниковой решетки в ванну с водяным затвором [6].

3 Аллотермический способ свето-индуцированной газификации

Из ранее указанных, основных способов газификации твердого топлива, рассмотрим аллотермический способ получения синтез-газа. Аллотермический способ имеет ряд преимуществ по сравнению с автотермическим, к этим преимуществам относятся:

- 1) простота конструкции газогенератора;
- 2) отсутствие высокого давления в установке;
- 3) относительное отсутствие высоких температур;
- 4) возможность использования низкосортных топлив и промышленных отходов.

Одним из приоритетных направлений аллотермической газификации является свето-индуцированная конверсия низкосортных топлив и промышленных отходов, для ее дальнейшего использования в промышленных целях. Впервые проведенные эксперименты, в нашей лаборатории, показывают достаточно хороший уровень конверсии твердых топлив в синтез-газ. Данный способ газификации позволяет утилизировать промышленные отходы и использовать низкосортное топливо, при этом практически полностью конвертируя его до состояния синтез-газа [7].

Особенностью данного метода является следующее:

- 1) нормальные условия проведения процесса газификации;
- 2) отсутствие специальных мер безопасности;
- 3) отсутствие катализаторов для поддержания процесса, как в классическом методе;
- 4) экологичность процесса.

В экспериментах свето-индуцированной конверсии топлива использовали два различных источника света, первый источник света – это лазер, второй – это параболическое зеркало отражающее свет от источника света мощностью 400 Вт.

Так же, вместо локального источника света можно использовать естественное свечение солнца. Но существует ряд ограничений при такой конфигурации проведения эксперимента. Поэтому, для промышленного использования технологии свето-индуцированной газификации топлива была спроектирована промышленная установка для конверсии отработанного промышленного топлива в синтез-газ. Схема промышленной установки [8] изображена на рисунке 2.

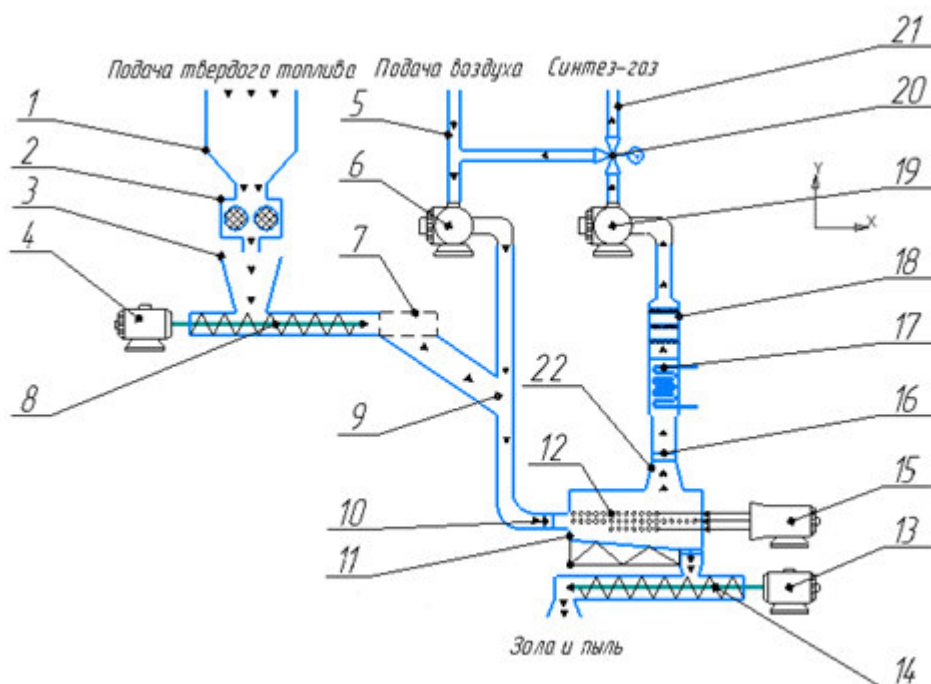


Рисунок 2 – Схема промышленной установки по получению синтез-газа

1 – бак загрузки топлива; 2 – дробилка; 3 – топливopриемник; 4 – электродвигатель шнекового конвейера подачи топлива; 5 – магистраль подачи воздуха; 6 – дутьевой вентилятор; 7 – вибросито; 8 – шнековый конвейер; 9 – участок смешения; 10 – фланец; 11 – рабочая камера; 12 – отверстия для проникновения неогерентного светового пучка; 13 – электродвигатель шнекового конвейера удаления золы; 14 – шнековый конвейер ; 15 – установка генерирующая неогерентные световые пучки; 16 – фланец; 17 – теплообменник; 18 – фильтр; 19 – вытяжной вентилятор; 20 – трехходовой электроклапан; 21 – выход синтез-газа; 22 – вытяжная трубка.

Данная установка снабжена системой подачи топлива, системой удаления синтез-газа, теплообменником, шнековыми конвейерами. Бак

загрузки топлива 1 представляет собой емкость, в которую поступает твердое топливо со стадии топливо подготовки. Данного бака хватает на 2 часа бесперебойной работы установки. После бака, топливо проходя через дробилку 2 измельчается до нужного размера и поступает в топливоприемник 3. Далее топливо проходит через сито и попадает на шнековый конвейер 8, приводимый в движение электродвигателем 4. Пройдя весь конвейер, топливо еще раз попадает на вибросито 7, и под силой тяжести поступает в топливную магистраль, и далее на участок смешения 9.

В свою очередь, воздух поступает по магистрали 5 в дутьевой вентилятор 6, от куда направляется к участку смешения. После смешения топлива и воздуха, образовавшийся воздушно-пылевая смесь поступает в газогенератор 11. Магистраль топливо подачи и газогенератор имеют подвижный фланец 10. После попадания воздушно – пылевой смеси в газогенератор, она продолжает двигаться по инерции. Через специальные отверстия 12, на движущийся поток попадают некогерентный световые пучки, генерируемый в установке 15. Полученная смесь газов отводится из рабочей зоны через вытяжную трубу 22, при помощи вытяжного вентилятор 19. Отработавшие частички под силой тяжести осыпаются на нижнюю часть газогенератора. Отработанное топливо, под действием силы тяжести попадает на шнековый конвейер 14, приводимый в движение электродвигателем 13. Далее после участка 14, отработавшие топливо направляется на золоудаление.

Остывшая газовая смесь проходит через фильтр 18, в который удаляется такие примеси как CO_2 , SO_2 и NO_2 . Полученный газ, в основном состоящий из CO , CH_4 , H_2 и O_2 , носит название синтез-газа. Далее синтез-газ уходит на участок сборки газа, через газоотвод 21.

4 Результаты исследования

4.1 Экспериментальная установка и методы исследования

Задача исследования состояла в оптимизации параметров режима конверсии низко классных ископаемых топлив и горючих отходов производства в синтез-газ методом аллотермической газификации. Синтез-газ представляет собой, преимущественно, смесь метана (CH_4), водорода (H_2) и монооксида углерода (CO) [9].

При проведении экспериментальных исследований по определению необходимых и достаточных условий для получения синтез-газа использовались две экспериментальные схемы, одна из схем использовалась для калибровки системы, вторая для проведения экспериментов. Первая схема представляла собой металлическую пластину для калибровки оборудования и регистрации температур на поверхности пластины при различной мощности источника света, а вторая схема – это рабочая камера, изготовленная из профилированной квадратной трубы, в которую помещался образец для проведения экспериментов по анализу состава газа. Ниже подробно описаны использованные схемы и методы исследований [10].

4.2 Описание калибровки экспериментальной установки

Схема, используемая для калибровки экспериментальной установки, представляла собой пластину, позволяющую оценить зависимость освещенности образца некогерентным световым потоком от мощности источника свет в процесс газификации, а также установить максимальную и установившуюся температуру на поверхности образца при конверсии топлива. Так же, с помощью калибровочной схемы настраивалась система линз, для концентрации светового потока по центру топливной композиции. На рисунке 3 подробно изображена установка.

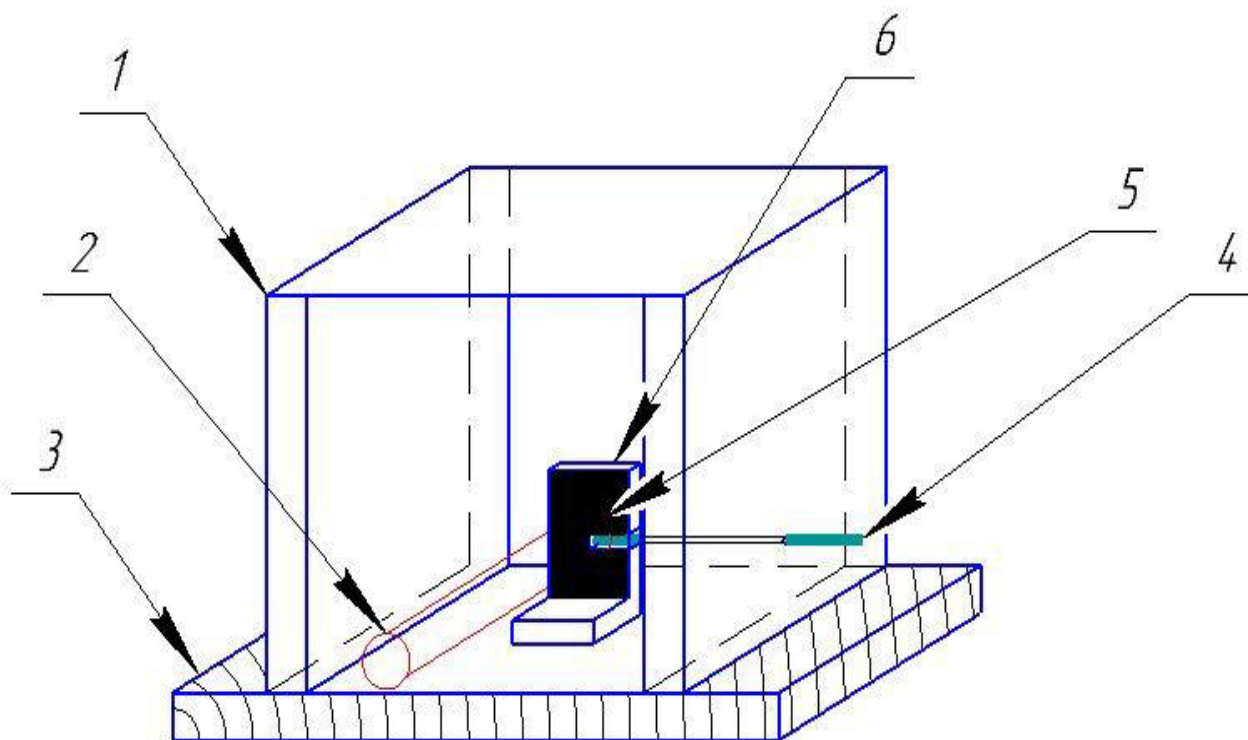


Рисунок 3 – Схема для калибровки установки

1 – термочехол; 2 – световой поток; 3 – теплоизоляционная станина; 4 – термопреобразователь; 5 – рабочая поверхность пластины; 6 – металлическая пластина.

Изображенная схема представляет собой перевернутую Г-образную пластину 6, основание которой закреплено на теплоизоляционной станине 3. Рабочая поверхность пластины 5 предварительно зачернялась составом, имеющим коэффициент отражения близким к 1, являющимся имитацией образца, расположенного на линии падения светового потока 2. На тыльной стороне свободного конца пластины крепился высокоинерционный термопреобразователь сопротивления 4 изготовленный из сплава хромель–алюмель, с рабочим диаметром 100 мкм. Торцевые и тыльная часть пластины ограждались термочехлом 1, изготовленным из теплоизоляционного материала, для предотвращения тепловых потерь в ходе проведения калибровки.

4.3 Описание эксперимента с использованием рабочей камеры

Для определения состава рабочего газа получившегося в процессе конверсии топлива использовалась экспериментальная установка с рабочей камерой. Данная установка изображена на рисунке 4.

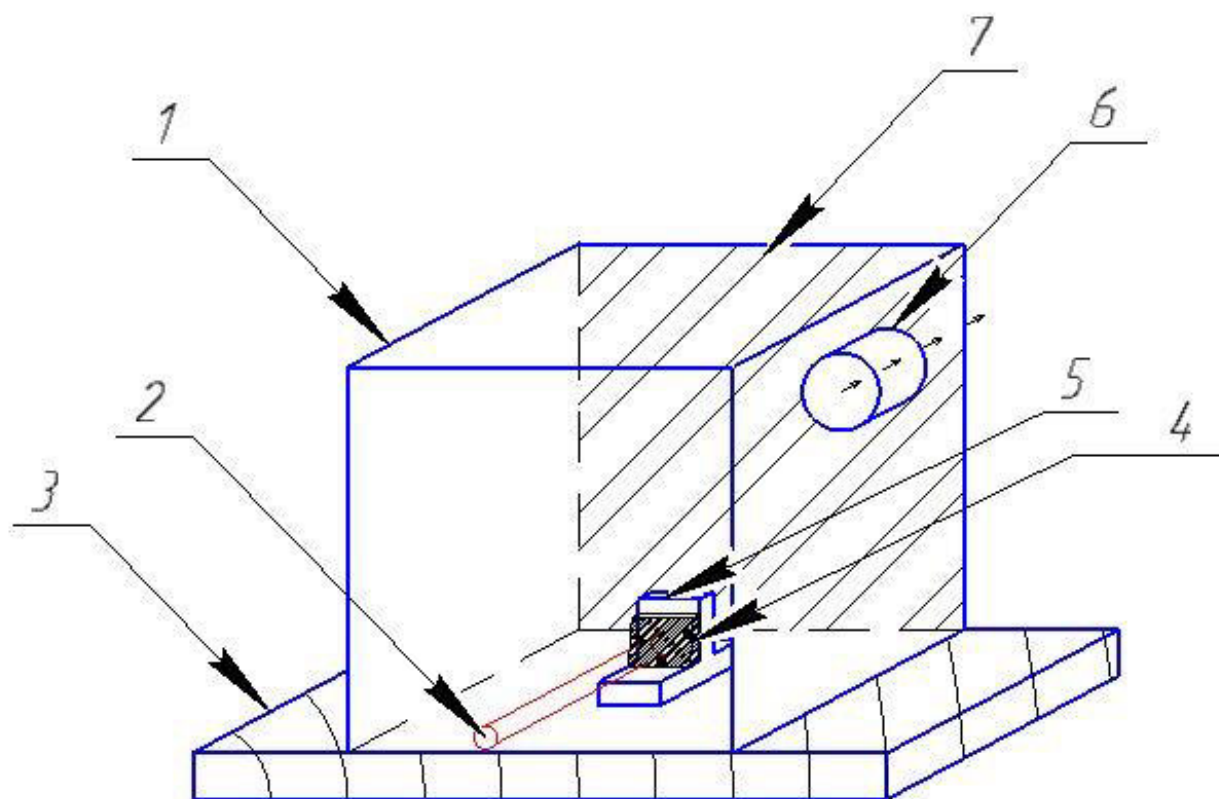


Рисунок 4 – Схема рабочей камеры

1 – термочехол; 2 – световой поток; 3 – теплоизоляционная станина; 4 – композиция топлива; 5 – подложка; 6 – штуцер забора синтез-газа, 7 – жаростойкая торцевая пластина.

Экспериментальная установка для свето-индуцированной газификации представляла собой рабочую камеру 1 с геометрическими размерами 25x25x25 мм. Торцевая часть рабочей камеры заделывалась пластиной, изготовленной из жаростойкого материала 7. В пластине было сделано отверстие, куда помещался штуцер 6 для забора синтез-газа в газоанализатор. Фронтальная сторона рабочей камеры была плотно закрывалась стеклянной крышкой, для ограничения доступа окислителя. Так

же, через данную крышку проникал световой поток 2, который попадая на подготовленный образец 4 запускал процесс свето-индуцированной конверсии. Образцы топлива для газификации представляли собой композицию фильтрованного твердого топлива (торф, бурый уголь, фильтр-кек). Так как, образцы топлива предварительно были высушены, то перед началом эксперимента содержание влаги в образцах доводилась до различных массовых процентных соотношений. Далее образец закреплялся на специальной подложке, представляющей собой угловую металлическую формованную деталь с углом загиба 90° . После формирования композиции, образец закреплялся на подложке 5 и помещался в рабочую камеру.

Предварительно, образец устанавливался в фокус вогнуто-выпуклой линзы, которая настраивалась на предполагаемое место установки образца. После закрепления подложки с образцом в рабочей камере, фронтальное отверстие закрывалось стеклянной крышкой. Далее включался газоанализатор, по истечению 5 секунд включался свет от источник мощностью 400 Вт, газоанализатор начинал фиксировать изменение в составе уходящих газов. Эксперимент проводился 300 секунд. После эксперимента происходил анализ, обработка данных, построение графиков и зависимостей времени от объёма получившегося газа.

4.4 Методика регистрации температурного поля образца

Для определения максимальной и установившейся температуры на поверхности материала использовалась экспериментальная установка с Г-образной пластиной. Для регистрации максимальной и установившейся температуры применялась система бесконтактной диагностики температурных полей на базе тепловизора [11]. Основным составляющим элементом данной системы является матрица с разрешением 320×240 пикселей с технологией SuperResolution (IFOV). Температурная чувствительность тепловизора составляет <30 мК при температуре 303

градусов Кельвина. Данный тепловизор имеет аккумуляторную батарею, которая позволяет использовать система автономно от система электрического питания. Диапазон измерений системы составляет $-30 \dots 1200$ °C, что позволяет отслеживать полный спектр процессов нагревания и охлаждения при проведении экспериментов.

Для обеспечения возможности видеофиксации температурных полей тепловизором, пластина располагалась под углом $35 \dots 45^\circ$ по отношению к горизонтали. Тепловизор устанавливался на партитивном штативе и подключался к ПК. Включение тепловизора происходило за $5 \dots 7$ секунда до начала эксперимента, данная задержка объясняется тем, что системе необходимо время для определения первоначального температурного поля. Для передачи данных на ПК использовался интерфейс USB.

4.5 Методика регистрации изменения состава газа полученного в рабочей камере

Для регистрации изменения состава синтез-газа, полученного в результате свето-индуцированной конверсии, была использована экспериментальная установка с рабочей камерой.

Образец, зафиксированный в рабочей камере, подвергался воздействию светового потока от источника света мощностью 400 Вт. В процессе попадания светового потока на образец, происходила конверсия топлива. В результате, полученные химические соединения преобразовывались в два агрегатных состояния, это твердое состояние (зола) и газообразное состояние (синтез-газ). По штуцеру отбора газа из рабочей камеры, синтез-газ поступал в газоанализатор БОНЭР тест–1 [12], где происходил химический анализ компонентов в составе синтез-газа. Данный газоанализатор предназначен для определения содержания газовых компонент в выбросах экспериментальных, промышленных топливосжигающих установок (ТСУ) при проведении технологической

настройки установок с целью оптимизации процесса горения топлива при научных исследованиях, а также на промышленных предприятиях.

Так как, газоанализатор имеет возможность вывода данных с прибора в реальном режиме времени на ПК через порт USB. Данные представляются в виде графиков и таблиц. Программное обеспечение позволяет следить за изменениями концентраций измеряемых компонентов в реальном времени, сохранять данные, экспортировать их в формат MS Excel.

4.6 Методика регистрации изменения массы образца в рабочей камере

При регистрации изменения массы образца использовалось экспериментальная установка с рабочей камерой, но измененной конфигурацией. Вместо специального штатива, на который крепилась рабочая камера с образцом, монтаж рабочей камеры происходил на высокоточные весы, которые позволяли в процессе конверсии твердого топлива измерять изменения массы образца.

Данные весы имеют USB разъем, который позволяет установить связь с ПК и при помощи специального ПО регистрировать изменения массы. После проведенных экспериментов, были проанализированы данные и построены зависимости изменения массы от времени при различных мощностях.

4.7 Результаты экспериментов и практические рекомендации

В результате проведенных экспериментов установлено следующее. Оптимальная мощность светового потока при конверсии различных видов твердого топлива отличается, так для фильтр-кек оптимальная мощность составляет 360 Вт, для бурого угля 295 Вт, для торфа 315 Вт. При таких мощностях реализуется оптимальная затрата энергии для получения

бóльшего количества синтез-газа. Данный факт связан с тем, что используемые твердые топлива имеют различную удельную теплоёмкость.

При использовании максимальной мощности затраты энергии на поддержания процесса конверсии увеличиваются, а суммарное количество получившейся горючей части синтез-газа снижется. На рисунке 5 приведены зависимости произведенного объема от времени эксперимента.

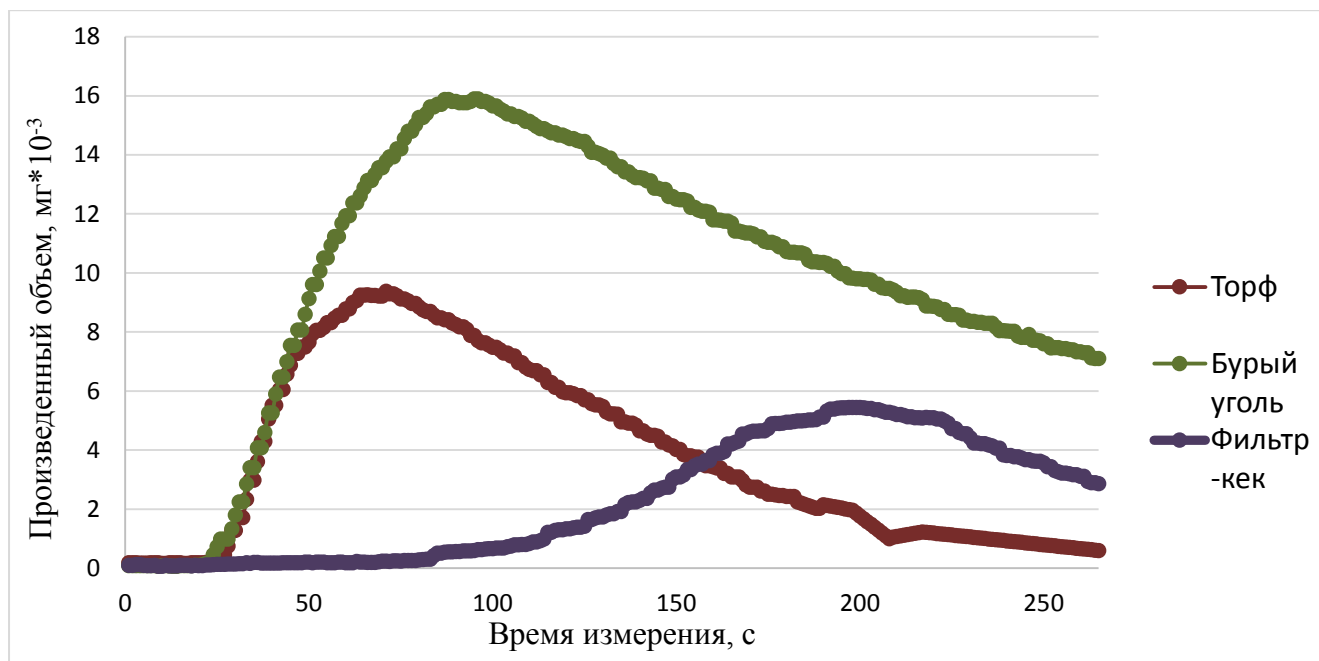


Рисунок 5 – Зависимость произведенного количества синтез-газа от времени при оптимальных мощностях

Так же были установлены зависимости изменения массы, для трех видов топлив, от мощности светового потока. Оптимальные параметры для бурого угля и торфа составляют 340 Вт, для фильтр-кек 270 вт. При вышеуказанных значениях можно наблюдать предельную скорость конверсии твердого топлива. На рисунке 6 приведена зависимость изменения массы от времени при оптимальных мощностях.

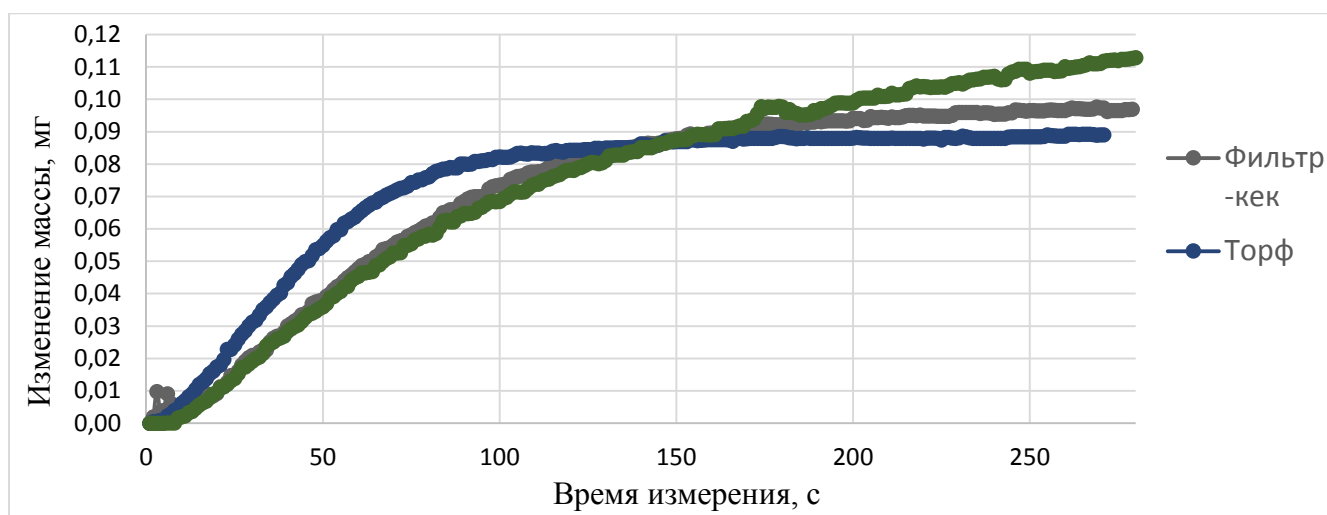


Рисунок 6 –Зависимость изменения массы образца от времени

Так же, в результате проведенных экспериментов было выявлено оптимальное массовое соотношение влаги в образцах, для бурого угля процентное соотношения воды в образце, по массе, составляет 20%, для фильтр-кек 40%, для торфа 45%. На рисунке 7 приведены зависимости произведенного объема синтез-газа от времени, при оптимальных значениях влажности образцов.

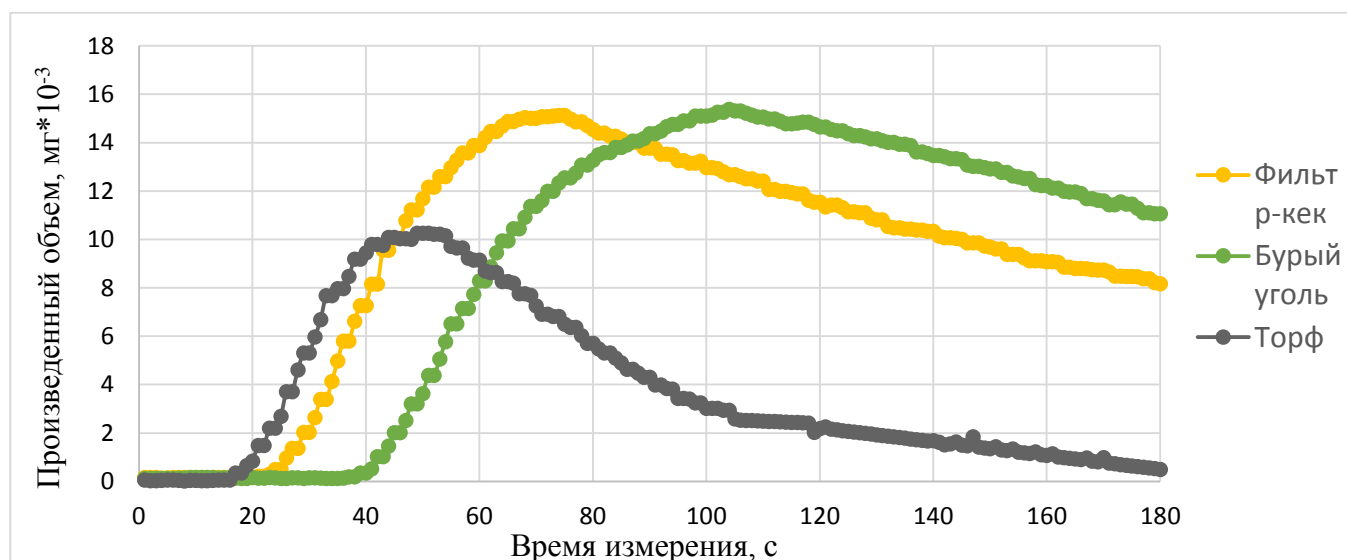


Рисунок 7 – Зависимость произведенного количества синтез-газа от времени при оптимальной влажности образцов

В заключительной серии экспериментов были выявлены зависимости прогрева поверхности образца до установившейся температуры от времени проведения эксперимента. Как можно видеть из рисунка 8, торф и бурый уголь показывают более высокую инерционность в сравнении с фильтр-кеком.

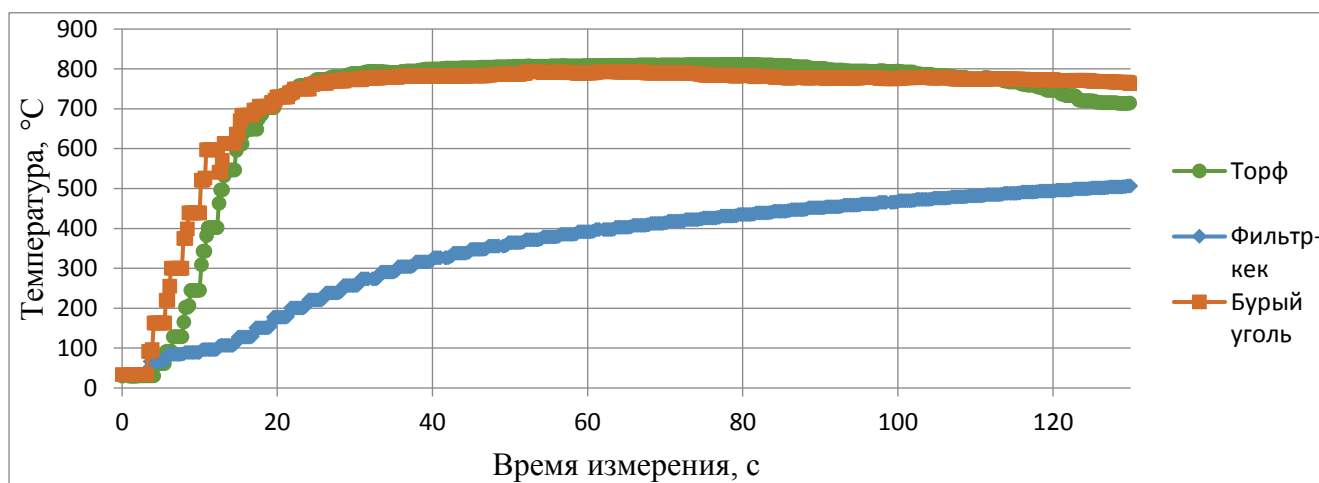


Рисунок 8 – Зависимость прогрева поверхности образца от температуры

По результатам проведенных данных можно сформулировать ряд практических рекомендаций для проведения аллотермической конверсии низкосортных топлив и горючих промышленных отходов:

1) для создания благоприятных условий, способствующих процессу конверсии, необходимо соблюдать массовое соотношение воды и подготовленного топлива;

2) при проведении газификации низкосортного топлива, необходимо придерживаться оптимального параметра мощности источника света для достижения экономического эффекта;

3) мощность источника света, необходимо поддерживать в диапазоне: для бурого угля и торфа 85...95 % от максимальной мощности, для фильтр-кек 70...75 % от максимальной мощности составляют.

4) влажность топлива следует задавать в диапазонах: для бурого угля 20%, для фильтр-кек 40%, для торфа 45%.

5 Анализ объекта автоматизации

В данной магистерской диссертации рассматривается автоматизированная система управления процессом газификации твердого топлива, в качестве объекта автоматизации выбран аллотермический газогенератор, использующийся для конверсии низкосортного топлива в синтез-газ. Классическим методом получения синтез-газа из твердого топлива является автотермические газогенераторы, но не смотря на их распространённость в мире, автоматизированные системы управления данным газогенераторами примитивны и базируются на типовых схема автоматизированного управления. В тоже время, одним из перспективных направлений в газификации низкосортных топлив является аллотермический газогенератор. Несмотря на явные преимущества по качеству процесса газификации к классическому газогенератору, аллотермический в настоящее время не имеет типовых автоматизированных систем управления процессом конверсии.

Основным отличием аллотермической от автотермической газификации, как писалось ранее, является использование различных источников энергии для процесса конверсии. Так для классического газогенератора основным источником энергии служит часть топлива, загруженная в топливный бункер, в то время как для аллотермического – световая энергия, полученная извне. Световая энергия для такого газогенератора может быть получена либо от искусственных источников света, либо от естественных источников света. В случае применения искусственных источников света используются световоды или небольшая система линз для формирования световых пучков и направлении их на топливо. Если же используется естественный источник света, то тут необходимо объёмная система световых зеркал для концентрации энергии большой мощности.

Так же, в аллотермических газогенераторах различаются два основных способы подачи топлива в рабочую камеру. Первый способ – это конвейерный, когда топливо, с помощью шибберного дозатора и распределительного устройства, размещается на конвейерной ленте, на которую в момент движения попадают световые лучи и происходит процесс газификации. Второй способ – это продувочный, когда смесь подготовленного топлива с воздухом продувается через рабочую камеру, в боковых стенках которой расположены отверстия для проникновения световых потоков, так как таких отверстий большое множество, то при пролете частиц топлива сквозь лучи, происходит процесс газификации.

Так как, хранилища низкосортных топлив и промышленных отходов располагаются в различных климатических и географических условия, а также, к различным видам низкосортных топлив предпочтительны определенные методы подачи топлива, то возможна комбинация вышеуказанных способов. Благодаря различным комбинациям существуют возможность подобрать оптимальные параметры установки под определённый вид топлива или его локацию. Эффективность аллотермического метода конверсии достигается за счет действия следующих факторов:

- 1) снижение затрат на производство рабочего газа;
- 2) утилизация большого количества объемов низкосортного топлива;
- 3) улучшение экологической обстановки в регионе использования;
- 4) локальная газификация промышленных и жилых объектов;
- 5) снижения экономической нагрузки на население;
- 6) зольный остаток переработки отходов может выступать в качестве сырья для восстановления алюминия.

Можно сделать вывод, что автоматизированная система управления установкой для аллотермической газификации является одним из способов повышения эффективности использования низкосортных топлив и применения для нужд населения страны.

6 Разработка структуры автоматизированной системы управления

Разработанная автоматизированная система управления является трёхуровневой. При помощи верхнего уровня автоматизированной системы управления существует возможность, реализовать широкие возможности человека-машинного интерфейса для визуализации и взаимодействия. Программное обеспечение и оборудование расположенное на верхнем уровне реализует информационные функции (сбор, обработку, хранение и выдачу информации по требованию оператора). При этом в автоматизированную систему управления поступает не только информация о значениях различных параметров технологических процессов, и моментах срабатывания автоматики безопасности, но также информация о внешнем вмешательстве персонала в работу установки [13].

На верхнем уровне с помощью АРМ и сервера (компьютер, с предустановленным пакетом ПО, служит для удаленного программирования ПЛК и реализации мнемосхем, сервер служит для сбора и обработки данных о технологическом процессе) реализуется:

- 1) регистрация и архивирование данных;
- 2) осуществление аварийных защит;
- 3) изменение режимов работы системы;
- 4) хранение журнала операций, выполняемых оператором;
- 5) построение графиков изменения параметров;
- 6) формирование отчетов о передаче на вышестоящий уровень.

Средний уровень АСУ построен на базе микропроцессорного контроллера с необходимым количеством модулей ввода/вывода (дискретных/аналоговых сигналов), барьеров искробезопасности и коммуникационного оборудования полевых шин. Контроллер принимает сигналы от устройств нижнего уровня (датчиков), обрабатывает эти сигналы и формирует командные воздействия в соответствии с алгоритмом работы.

На среднем уровне реализуются функции:

- 1) выработка управляющих сигналов для исполнительных механизмов в автоматическом режиме;
- 2) передача информации о производственном участке на верхний уровень;
- 3) диагностика и защита от сбоев в элементах подсистем нижнего уровня;
- 4) непрерывный контроль аварийных параметров и сигнализирование при возникших авариях и неисправностях;
- 5) непрерывную проверку исправности датчиков;
- 6) контроль и регулирование уровня твердого топлива в бункере;
- 7) контроль скорости движения воздушной и топливной смесей, по магистралям;
- 8) контроль разряжения в вытяжной трубе;
- 9) контроль температуры в рабочей камере газогенератора;
- 10) контроль температуры подшипников электродвигателей;
- 11) пуск и остановка технологического оборудования;
- 12) контроль положения и управление трехходовым клапаном;
- 13) контроль уровня вибрации рабочей камеры газогенератора;
- 14) контроль температурного режима насосных агрегатов;
- 15) контроль состава и концентрации синтез-газа в уходящих газах.

Нижний уровень АСУ образуют датчики непосредственного контроля и прямого действия с натуральным или нормированным выходом, контактные концевые выключатели арматуры (или бесконтактные преобразователи информации о конечных положениях арматуры), контактные реле, органы местного управления, в том числе аварийные кнопки.

На нижнем (полевом) уровне реализуется:

- 1) аварийное отключение механизмов и задвижек в случае отказа контроллера;

2) сбор данных о параметрах технологического процесса;

3) реализация управляющего воздействия.

Описание процедуры разработки структуры:

1) выбор и постановка задачи автоматизации ТО;

2) определение классификационных признаков, на основании которых выполняется проектирование структуры;

3) распределение общей задачи АСУ между составными частями системы;

4) определение каналов связи между составными частями АСУ;

5) выбор КТС для реализации АСУ;

6) подготовка документа в виде структурной схемы.

Структурная схема АСУ установкой для газификации твердого топлива представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.003 С1.

На структурной схеме используются следующие обозначения: ДТ – датчик температуры; ДР – датчик расхода; ДКГ – датчик концентрации газа; ДУ – датчик уровня; РО – регулирующий орган; ИМ – исполнительный механизм; ЭД – электродвигатель; ПУ – пусковое устройство; БРУ – блок ручного управления; ШК – шнековый конвейер; ВВ – вытяжной вентилятор; ДВ – дутьевой вентилятор; БУСИ – блок управления световым излучателем; ПЛК – программируемый логический контроллер; АРМ – автоматизированное рабочее место; сервер.

Структурная схема автоматизированной системы управления состоит из трех уровней: нижнего среднего и верхнего. На нижнем уровне располагаются датчики (ДТ, ДКГ, ДУ, ДУ), которые по средствам информационно-измерительных каналов передают показания о значениях технологических параметров системы на средний уровень для программируемого логического контроллера. Так же, на нижнем уровне располагаются пусковые устройства (ПУ), блоки ручного управления (БРУ) и блок управления световым излучателем (БУСИ), которые по средствам управляющих каналов связи управляются при помощи программируемого

логического контроллера. На нижний уровень так же располагается регулирующие органы (РО), исполнительные механизмы (ИМ), электродвигатели (ЭД), шнековый конвейер (ШК), вытяжной (ВВ) и дутьевой вентиляторы (ВД).

На среднем уровне располагается контроллер, который по средствам информационно измерительных каналов получает информацию от датчиков нижнего уровня и выдает управляющие воздействия на нижний уровень. Так же, программируемый логический контроллер передает показания на верхний уровень, то есть АРМ оператора.

На верхнем уровне располагается АРМ оператора и сервер предприятия куда стекаются и где хранятся основные данные об объекте получаемые АРМом с ПЛК.

6.1 Технические требования к АСУ

Автоматизированная система управления установкой газификации твердого топлива должна поддерживать заданную выходную концентрацию газов, входящих в состав синтез-газа в диапазоне:

- 1) для CO – 7...10 %;
- 2) для H₂ – 5...10 %;
- 3) для CH₄ – 7...9 %;
- 4) для CO₂ – 5...6 %.

Также должно выполняться поддержание расхода пыле-воздушной смеси на уровне 300...400 м³/ч. Система должна иметь возможность бесперебойной работы в течении продолжительного количества часов и оставаться в работоспособном состоянии.

Требования к АСУ в целом:

- 1) АСУ должна быть реализована в соответствии с требованиями, которые указаны в техническом задании проекта (далее - ТЗ на АСУ);

2) ввод в эксплуатацию АСУ обязан приводить к качественному увеличению технико-экономических социальных или других результатов;

3) АСУ должна обеспечить цели ее создания, указанные в технические задания;

4) АСУ должна быть обеспечена совместимостью между частей;

5) АСУ, как обособленная система, так и любые виды обеспечений, должны быть и все виды ее обеспечения должны быть приспособлены к модернизации, развитию и наращиванию.

Требования к функциям АСУ:

1) АСУ в необходимых объемах должна автоматизировано выполнять:

2) сбор, обработку и анализ информации (сигналов и т. п.) о состоянии объекта управления;

3) выработку управляющих воздействий;

4) передачу управляющих воздействий (сигналов) на исполнение и ее контроль;

5) реализацию и контроль выполнения управляющих воздействий.

Состав автоматизированных функций (задач, комплексов задач - далее функций) АСУ должен обеспечивать возможность управления соответствующим объектом в соответствии с любой из целей.

Требования к подготовленности персонала АСУ:

1) квалификация персонала АСУ должна обеспечивать эффективное функционирование системы во всех заданных режимах;

2) персонал АСУ должен быть подготовлен к выполнению своих обязанностей в соответствии с инструкциями.

Требования к техническому обеспечению АСУ:

1) комплекс технических средств АСУ должен быть достаточным для выполнения всех автоматизированных функций АСУ;

2) в комплексе технических средств АСУ должны в основном использоваться технические средства серийного производства. При

необходимости допускается применение технических средств единичного производства;

3) тиражируемые АСУ и их части должны строиться на базе унифицированных технических средств.

Требования к программному обеспечению АСУ:

1) программное обеспечение АСУ должно быть достаточным для выполнения всех функций АСУ, реализуемых с применением средств вычислительной техники, а также иметь средства организации всех требуемых процессов обработки данных, позволяющие своевременно выполнять все автоматизированные функции во всех регламентированных режимах функционирования АСУ;

2) программное обеспечение АСУ должно обладать свойствами функциональной полноты, адаптируемости, модифицируемости, удобству эксплуатации следующими свойствами:

Требования к информационному обеспечению АСУ:

1) информационное обеспечение АСУ должно быть достаточным для выполнения всех автоматизированных функций АСУ;

2) в АСУ для связи между устройствами комплекса технических средств должны быть применены входные и выходные сигналы, а также электрические сигналы— тока и напряжения по ГОСТ 26.011-80, с дискретным изменением параметров по ГОСТ 26.013-81, кодированные по ГОСТ 26.014-81.

Требования к организационному обеспечению АСУ:

1) организационное обеспечение АСУ должно быть достаточным для эффективного выполнения персоналом АСУ, возложенных на него обязанностей при осуществлении автоматизированных на него обязанностей при осуществлении автоматизированных и связанных с ними неавтоматизированных функций системы;

2) организационная структура АСУ должна позволять выполнять все функции АСУ с учетом их распределения по уровням управления;

3) инструкции организационного обеспечения АСУ должны определять действия персонала АСУ, необходимые для выполнения каждой автоматизированной функции, во всех режимах функционирования АСУ, с учетом заданных требований по безошибочности и быстродействию реализации персоналом АСУ своих функциональных обязанностей, а также содержать конкретные указания о действиях в случае возникновения аварийных ситуаций или нарушении нормальных условий функционирования АСУ. Требования к содержанию инструкций - по ГОСТ 24.209-80;

4) по каждой автоматизируемой функции, которая выполняется во взаимодействии данной АСУ с другими системами, инструкции персоналу АСУ и этих систем должны быть взаимоувязаны для всех режимов выполнения данной функции и содержать указания о действиях персонала при отказах технических средств АСУ.

Требования к лингвистическому обеспечению АСУ:

1) лингвистическое обеспечение АСУ должно быть достаточным для общения различных категорий пользователей в удобной для них форме со средствами АСУ и для осуществления процедур преобразования и машинного представления обрабатываемой в АСУ информации;

2) в лингвистическом обеспечении АСУ должны быть предусмотрены языковые средства для описания любой используемой в АСУ информации, унифицированы используемые языковые средства, стандартизованы описания однотипных элементов информации и записи синтаксических конструкций, обеспечены удобство, однозначность и устойчивость общения пользователей со средствами АСУ;

3) лингвистическое обеспечение АСУ должно быть отражено в документации (инструкциях, описаниях) организационного обеспечения АСУ в виде правил общения пользователей с техническими средствами АСУ во всех режимах функционирования системы.

7 Разработка функциональной схемы автоматизированного управления

Функциональная схема является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматизированной системы управления и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

В процессе разработки функциональной схемы решаются следующие задачи:

- 1) изучена схема объекта;
- 2) составлен перечень контролируемых параметров технологического процесса и технологического оборудования;
- 3) на схеме объекта автоматизации определено местоположение точек отбора измерительной информации;
- 4) выбрана структура измерительных каналов;
- 5) выбраны методы и технические средства получения, преобразования и представления информации;
- 6) решены вопросы размещения технических средств автоматизации на технологическом оборудовании, трубопроводах, по мету и на щите.

На основании выбранной структурной схемы АСУ составим перечень регулируемых параметров. Основным контролируемым параметром является концентрация синтез-газа. Дополнительными контролируемыми параметрами являются расход подготовленного топлива и расход воздуха.

Процесс проектирования функциональной схемы системы завершается составлением чертежа, который включает в себя:

- 1) технологическую схему объекта автоматизации;
- 2) первичные и другие средства автоматизации;
- 3) щит автоматизации;
- 4) линии связи между техническими средствами автоматизации;
- 5) основную надпись.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено 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 автоматизированных систем.

На технологических трубопроводах показаны только те задвижки, заслонки, клапаны и другая регулирующая и запорная арматура, которая непосредственно участвует в работе автоматизированной системы управления. Датчики, преобразователи, приборы и вспомогательную арматуру изображают на схемах автоматизации в соответствии с ГОСТ 21.404-85 [14].

Параллельно с разработкой функциональной схемы составляется заказная спецификация.

Функциональная схема АСУ установки газификации твердого топлива представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.003 С2.

Ультразвуковой уровнемер 1а измеряет уровень твердого топлива в топливном бункере, для обеспечения бесперебойной работы газогенераторной установки, данный уровнемер так же сигнализирует о приближении уровня твердого топлива к минимальному значению. Расходомер 5а измеряет количество подготовленного твердого топлива после дробильной установки, данное измерение необходимо для корректировки работы дутьевого вентилятора и корректировки работы источника света. После прохождения через расходомер, топливо проходит через задвижку 4а, которая в аварийной ситуации, позволяет прекратить подачу топлива. Далее после задвижки топливо попадает на шнековый конвейер, который управляется с помощью частотного преобразователя 2а. Частотный преобразователь позволяет изменять скорость вращения редуктора, который жесткого соединен ведомой шестерней с шнековым конвейером, а ведущий с электродвигателем. После шнекового конвейера, подготовленной топливо попадает на вибросито.

Дутьевой вентилятор, приводится в движение частотным преобразователем 6а, втягивая очищенный воздух в воздушную магистраль, создает перемещение воздушных масс по воздушной магистрали. Расход воздушного потока измеряется расходомером 7а. В точке смешения подготовленного топлива и воздушных масс, образуется пылевоздушная смесь, которая движется дальше по топливной магистрали к газогенератору. Топливная смесь проходит через расходомер 8а, прежде чем попасть в газогенератор. При попадании в газогенератор топливная смесь распространяется по рабочей камере, в свою очередь, в боковых стенках камеры располагаются световые отверстия, через которые проникает некогерентный световой поток, вырабатываемый источником света 17а. При “бомбардировке” поверхности частиц световым пучком, происходит высвобождение молекул газа, который удаляется через вытяжную трубу, а отработанное топливо – зола, подается на шнековый конвейер через задвижку 16а. Шнековый конвейер приводится в движение электродвигателем 14а, соединённым с ним редуктором.

В рабочей камере установлен газоанализатор 19а определяющий состав полученной смеси газов. Так же в камере установлены датчик температур 9а который служит для регистрации температуры в рабочей камере.

Уходящий газ, проходит через теплообменник и остывает, отдавая энергию теплоносителю. После остывания, газ проходит через фильтр где удаляются взвешенные частицы снижается процент CO_2 , на выходе из фильтра получается синтез-газ, это смесь газов, в состав которой входят: CO , CH_4 , H_2 и O_2 . Далее полученный синтез-газ проходит через газоанализатор 13а, где уточняется его состав и концентрации, и расходомер 11а, для определения количества газа. После этого, газа уходит к сборнику. В случае необходимости, газ может подмешиваться в очищенный воздух при помощи трехходового клапана 12а.

Вся информация о технологическом процесс поступает на программируемый логический контроллер. После полученной информации, контроллер сравнивает полученную информацию с заданными, при необходимости изменяющимися, уставками и выдает сигнал управления на пусковое устройство, которое, в свою очередь воздействует на регулируемый орган через исполнительный механизм.

Программируемый логический контроллер передает всю необходимую для мониторинга технологического процесса информацию на АРМ оператора. Оператор в реальном режиме времени отслеживает технологические показатели объекта и в случае возникновения ситуации выходящий на установленные пределы, может вмешаться. Так же, оператор с помощью баз данных, может просматривать информацию, показания датчиков, линии трендов, сигналы аварий.

8 Выбор технических средств и составление заказной спецификации

В процессе разработки АСУ выбирались технические средства, которые выпускаются серийно отечественными предприятиями или, за неимением отечественных, иностранные. В основном уделялось внимание унифицированным системам и однотипным техническим средствам автоматизации, которые легко взаимозаменяются, достаточно просто сочетаются друг с другом, а также средствам автоматизации, которые легко компоновать на щитах.

8.1 Выбор датчика уровня

Ультразвуковые уровнемеры являются разновидностью акустических уровнемеров, принцип работы и действия которых основывается на измерении времени отражения звуковых волн от поверхности контролируемой среды и обратно, преобразуя это время в унифицированный электрический сигнал. В таблице 1 рассмотрены уровнемеры ультразвукового типа, которые могут применяться при работе в разнообразных агрессивных средах, исключая сильнопенящиеся, а также пористые и мелкодисперсные сыпучие гранулированные материалы.

Таблица 1 – Параметры датчиков уровня

Тип	Выходной сигнал	Вариант исполнения	Класс точности	Степень защиты	Диапазон измерений
УДУ-25В	4...20 мА	Общепромышленный	0,25	IP58	0,2... 20 м
УДУ-25С	4...20 мА+ HART	Взрывозащищенный	0,25	IP57	0,2... 25 м
ЭХО-5Н	4...20 мА	Общепромышленный	0,5	IP65	0,4...23 м

Продолжение таблицы 1

Тип	Выходной сигнал	Вариант исполнения	Класс точности	Степень защиты	Диапазон измерений
EAX-711H	4...20 мА + HART	Взрывозащищенный	0,15	IP65	0,1...23 м

Анализирую представленные параметры газоанализаторов в таблице 1 можно сделать вывод, что все газоанализаторы отвечают необходимым требованиям к техническим средствам АСУ. Но наиболее оптимальным выбором будет служить датчик EAX-711H, так как он имеет ряд преимуществ, а именно[15]:

- 1) диапазон измерения;
- 2) вариант исполнения;
- 3) класс точности;
- 4) цену.

8.2 Выбор микроволнового расходомера

Микроволной расходомер – прибор, измеряющий объёмный расход или массовый расход вещества, то есть количество вещества, проходящее через определенное сечение потока, например, сечение трубопровода в единицу времени. Если прибор имеет интегрирующее устройство и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют счётчиком-расходомером. Микроволновый – одна из самых малоиспользуемых технологий, микроволновые расходомеры, излучают частоту 24...125 ГГц в поток материала в трубе или желобе. Используя принцип Доплера, изменение отраженных микроволн передается сенсором, как сигнал 4...20 мА в контроллер для преобразования в расход. В таблице 2 представлены микроволновые расходомеры, которые можно использовать в воздушных магистралях.

Таблица 2 – Параметры микроволнового расходомера

Тип	Выходной сигнал	Диапазон измерения расхода	Класс точности	Степень защиты	Рабочая температура
MF 3000	4...20 мА	2 – 20 л/с	0,25	IP65	-20...+90°C
SolidFlow GX	4...20 мА + RS – 485	1 – 35 л/с	0,25	IP65	-20...+90°C
MaxxFlow	4...20 мА	2 – 30 л/с	0,5	IP65	-10...+45°C

Исходя из параметров, указанных в таблице 2, датчик давления SolidFlow GX имеет ряд преимуществ, а именно имеет возможность реализовать два различных выходных сигнала и имеет широкий диапазон измерений. Датчик давления типа SolidFlow GX предназначены для работы в автоматизированных системах контроля, регулирования и управления технологическими процессами [16].

8.3 Выбор вихревого расходомера

Вихревой расходомер – прибор, измеряющий объёмный расход или массовый расход вещества, то есть количество вещества, проходящее через определенное сечение потока, например, сечение трубопровода в единицу времени. Если прибор имеет интегрирующее устройство и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют счётчиком-расходомером.

Для измерения расхода воздуха и газообразных веществ используют вихревые расходомеры, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры вихревого расходомера

Тип	Выходной сигнал	Диапазон расхода, л/с	Класс точности	Степень защиты	Температура протекающей среды, °C
Vertex RWG/RWBG	4...20 мА	1...125	1	IP65	-28...+182
Proline Prowirl F 200	4...20 мА + HART	1...150	0,5	IP65	-30...+105
YOKOGAWA Digital YEWFO	4...20 мА	1...200	1,5	IP65	-29...+250
Метран 300ПР	4...20 мА + HART, RS-485	1...250	0,5	IP65	-30...+200

Из таблицы 3 выбираем расходомер фирмы Метран, который обладает рядом преимуществ по отношению к представленным, к ним относятся:

- 1) цельнометаллическая проточная часть, в конструкции не используется полимерная или иная футеровка;
- 2) метрологическая стабильность, в том числе и на малых расходах;
- 3) эффект «самоочищения» проточной части за счет интенсивного вихреобразования;
- 4) съемное тело обтекания, возможность обслуживания без демонтажа с трубопровода;
- 5) аттестованная имитационная поверка;
- 6) металлический корпус блока электроники, степень защиты IP65;
- 7) диагностика процесса и самодиагностика расходомера;
- 8) применяется в составе различных теплосчетчиков [17].

8.4 Выбор датчика температур

Датчики температуры служат для измерения температуры и последующей передачи по каналу связи на ПЛК. Так как в данном проекте стоит задача, сделать систему унифицированной, то сигнал с датчика температуры будет сразу подаваться на программируемый логический контроллер. В таблице 4 будут рассмотрены основные модели.

Таблица 4 – Параметры датчиков температур

Тип	Элемер ТХУ-205	Элемер 0304/M3 – MB	Метран - 281 exd
НСХ	100М	ТХА (К)	Pt100
Диапазон измеряемых температур, °С	0...+1000	–60...+1100	–50...+700
Инерционность, с	20	12	15
Схема соединения	Двух проводная	Двух проводная	Двух проводная
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Степень защиты	IP65	IP65	IP65

Исходя из данных представленных в таблице 4 можно видеть, что датчик температур Элемер 0304/M3 – MB обладает рядом преимуществ по отношению к другим, а именно инерционностью работы. Сигнал первичного преобразователя температуры преобразуется в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 4...20 мА. Так же, Элемер 0304/M3 – MB имеет подходящий диапазон температур измерений (минимальное значение 385 °С, максимальное 715 °С) [18].

8.5 Выбор газоанализатора

Газоанализатор – измерительный прибор для определения качественного и количественного состава смесей газов. Различают газоанализаторы ручного действия и автоматические. Среди первых наиболее распространены такие абсорбционные газоанализаторы, в которых компоненты газовой смеси последовательно поглощаются различными реагентами. Автоматические газоанализаторы непрерывно измеряют какую-либо физическую или физико-химическую характеристику газовой смеси или её отдельных компонентов. В таблице 5 были рассмотрены подходящие под условия датчики.

Таблица 5 – Параметры газоанализаторов

Тип	Монолит L	МАГ-6С-Х
Количество каналов, шт	8	6
Температура рабочей среды, °С	-5...+200	-5...+150
Выходной сигнал	4...20 мА	4...20 мА
Степень защиты	IP65	IP65
Определяемый компонент	O ₂	O ₂
Принцип определения	Электрохимический	Оптический
Диапазон измерений, %	0...25	0...30
Относительная погрешность, %	+/- 0,2	+/- 0,4
Определяемый компонент	CO	CO
Принцип определения	Электрохимический	Оптический
Диапазон измерений, %	0...15	0...5

Продолжение таблицы 5

Относительная погрешность, %	+/- 0,2	+/- 0,2
Определяемый компонент	CH ₄	CH ₄
Принцип определения	Электрохимический	Электрохимический
Диапазон измерений, %	5...20	0...5
Относительная погрешность, %	+/- 0,5	+/- 0,2
Определяемый компонент	H ₂	H ₂
Принцип определения	Электрохимический	Электрохимический

Выберем датчик Монолит L, данный датчик имеет ряд преимуществ, а именно пределы функционирования, большие диапазоны измерений компонентов, возможность для измерения 8 компонентов одновременно. Верхняя граница рабочей среды, выше чем у представленного аналога.

У данного датчика можно выделить две основные области применения это контроль зон на особо опасных предприятиях и работа в составе системы контроля уходящих газов. [19]

8.6 Выбор программируемого логического контроллера

В качестве управляющих устройств в настоящее время очень широкое применение получили программируемые микропроцессорные контроллеры. Микропроцессорные контроллеры служат для выполнения задач, связанных с автоматизированными системами. Ниже, в таблице 6, представлены микропроцессорные контроллеры и их технические характеристики.

Таблица 6 – Технические характеристики контроллеров

Центральные процессоры	ЭЛСИ-ТМК A8 – 600 2ETH	ОВЕН 63	SIMATIC-S7- 200
Напряжение питания	~220 В; 50 Гц; 24 В	~220 В; 50 Гц; 24 В	~220 В; 50 Гц; 24 В
Параметры встроенного вторичного питания, в	21...27	21...27	21...27
Объем памяти данных, КБ	512	256	256
Среда программирования	CoDeSys 3.5V	Xcos	Step7
Макс. кол-во входов- выходов системы	320 DI + 320 DO; 120 AI + 120 AO	64 DI ; 64 AO	94 DI + 38 DO; 28 AI + 14 AO
Кол-во встроенных портов RS 485/232	1/1	1/1	2/1
Кол-во встроенных входов-выходов (аналоговых, дискретных)	-	8 DI + 8 AI ; 8 AO + 8 AI	14 DI + 10 DO
Кол-во модулей расширения, не более	10	8	6

Представленные контроллеры имеют схожие параметры функционирования и схожий набор функционала, однако, контроллер компании АО «ЭлеСи» серии ЭЛСИ-ТМК имеет ряд преимуществ к другим представленным видам контроллеров, а именно:

- 1) модульность;
- 2) возможность резервирования;
- 3) большой объем памяти;
- 4) удобную среду программирования и визуализации;
- 5) производство располагается в России;

б) высокую наработку на отказ.

Семейство микропроцессорных контроллеров серии ЭЛСИ-ТМК А8 – 600 2ЕТН включает в свой состав:

1) несколько типов центральных процессоров ЭЛСИ различной производительности (А8 – 300 2ЕТН, А8 – 600 2ЕТН, А8 – 1000 2ЕТН);

2) широкую гамму модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов (TD 716 16O 220AC, TD 712 32O 024DC, TD 711 32I 024DC, TD 715 64I 024DC, TA 713 8I 8O DC);

3) модули питания ЭЛСТ- TP 712 024 DC и ЭЛСИ- TP 711 220 AC;

4) коммуникационные модули типа ЭЛСИ - TN 713 для подключения к сетям Industrial Ethernet, PROFIBUS и AS-Interface [20].

Программируемый логический контроллер фирмы АО «ЭлеСи» подходит для автоматизированной системы управления, но для полной реализации необходимы модули, которые будут приведены в таблицах 7 – 12.

Таблица 7 – Технические характеристики модуля аналогового ввода/вывода

Модель		TA 713 8I 8O DC
Общее количество входов/ выходов, шт.		8/8
Диапазон измерения	Напряжения, В	-10...+10
	Постоянного тока, мА	-20...+20
Количество входных/выходных гальванически разделенных каналов, шт.		2
Диапазон формирования	Напряжения постоянного тока, В	-10...+10
	Постоянного тока, мА	-20...+20

Таблица 8 – Технические характеристики модуля питания

Модель	TP 712 024 DC
Номинальное напряжение питания, В	20...28
Выходная мощность, Вт	100

Таблица 9 – Технические характеристики коммутационной панели

Модель		TK 711 10
Количество модулей, шт	Питания	10
	Процессорных	1
	Прочих	6

Таблица 10 – Технические характеристики коммуникационного модуля

Модель	TN 713 2 485 2M
Интерфейс	RS-485/ RS-422
Количество каналов, шт.	2
Протокол обмена	Modbus RTU Master/Modbus RTU Slave
Скорость обмена, бит/сек	600- 1843200
Потребляемая мощность, Вт, не более	6
Индикация состояния дискретных выходов	Отдельный индикатор для каждого канала в режиме работа/авария
Диапазон рабочих температур, °C	0...+60

Таблица 11 – Технические характеристики модуля дискретных ввода

Модель	TD 713 32I 024DC
Тип сигнала	«Открытый коллектор», «Сухой контакт»

Продолжение таблицы 11

Количество каналов, шт.	32
Ток опроса датчиков, мА	10;20
Время опроса всех входов, мс	12
Потребляемая мощность, Вт, не более	6
Индикация состояния дискретных выходов	Отдельный индикатор для каждого канала
Диапазон рабочих температур, °С	0...+60

Таблица 12 – Технические характеристики модуля дискретных вывода

Модель	TD 712 32O 024DC
Тип сигнала	«Открытый коллектор»
Количество каналов, шт.	32
Максимальное коммутируемое напряжение, В	30
Скорость срабатывания, мс	0,08
Потребляемая мощность, Вт, не более	6
Индикация состояния дискретных выходов	Отдельный индикатор для каждого канала
Диапазон рабочих температур, °С	0...+60

8.7 Выбор устройств защиты

Все существующие, эксплуатируемые и проектируемые электрические сети должны быть обеспечены необходимыми и достаточными средствами защиты, прежде всего, от поражения электрическим током людей, работающих с этими сетями, участков цепей и электрооборудования от токов перегрузки, токов короткого замыкания, пиковых токов. Эти токи могут привести к повреждению как

электроприборов, так и более ценных приборов, это программируемый логический контроллер, работающий в этой сети. Устройств защит на данный момент в мире имеется огромный выбор. Их можно подобрать по типу, по способу подключения, по параметрам защиты. Так как аппараты защиты оберегают жизнь персонала и защищают электрооборудования и электрические сети, то будем использовать защитные устройства, рекомендованные заводом-изготовителем микропроцессорного контроллера.

Исходя из того, что в данной магистерской диссертации АСУ представляет собой объект повышенной пожароопасности, устройство защиты должны быть включены в разработку системы. В диссертации используются два типа защит это: искробезопасные разделительные преобразователи и устройство защиты от перенапряжения и грозовых помех. Первый тип защиты предназначен для того, чтобы создать искробезопасную цепь, так как объект автоматизации находится в непосредственной близости к взрывоопасным промышленным объектам с горючими материалами [21]. Характеристики данного защитного устройства приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Параметры искробезопасного устройства защиты

Модель	ЕТ-491
Количество входных каналов, шт.	1
Количество выходных каналов, шт.	2
Напряжение питания, В	20...30
Потребляемая мощность, Вт, не более	4
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности преобразования сигнала по току не более, %	$\pm 0,1$
Диапазон рабочих температур, °С	-20... +60
Относительная влажность при температуре 40 °С, %, не более	95
Степень защиты	IP30

Второй тип защиты предназначен для защиты сигнальных и телекоммуникационных линий электронного оборудования от импульсных перенапряжений и помех, возникающих вследствие ударов молнии, переходных процессов, разрядов статического электричества. Устройства защиты от грозовых и коммутационных помех сохраняют работоспособность в пределах указанных характеристик. При превышении данных значений устройство выходит из строя и подлежит замене. Данное устройство выбрано из-за простоты монтажа и своих характеристик, удовлетворяющие требованиям мест установки данных защит [22].

Таблица 14 – Параметры устройств защиты от перенапряжений

Модель	BZ-24DC	BZ-224DC
Количество защищаемых каналов, шт.	1	2
Номинальное рабочее напряжение, В	24	24
Максимальное рабочее напряжение, L/N, В	30,8	30,8
Пиковый защитный уровень L/N, В	49,9	49,9
Максимальный рабочий ток, мА	0,4	0,4
Максимальный импульсный ток (8/20 мкс), N/PE, кА	5	5
Степень защиты	IP20	IP20
Диапазон рабочих температур, °C	-35...+60	-35...+60
Относительная влажность воздуха при температуре 35 °C, %, не более	95	95

8.8 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм – это устройство в автоматизированной системе управления, непосредственного осуществляющее механические перемещение регулирующего органа объекта управления. По типу привода различают гидравлический, пневматические, электрические и комбинированные исполнительные механизмы. Так как, регулируемые органы представляют собой задвижки и валы электродвигателей, соответственно необходимо два различных вида исполнительных механизмов, однооборотные и многооборотные. Ниже, в таблицах 15 и 16, будут рассмотрены исполнительные механизмы, подходящие под выбранные регулируемые органы.

Таблица 15 – Характеристики исполнительных механизмов однооборотных

Тип	Рабочее напряжение, В	Крутящий момент, Нм	Время полного хода выходного вала, с	Вид управления
ИМ-2/120	220	20	15	Контактное
МЭК-10к/120	220	100	35	Контактное
МЭО-250/25-0,25-Т	220	250	25	Контактное/ДУ

Исходя из таблицы 15, оптимальным решением, в выборе однооборотного исполнительного механизма, будет выбор МЭО-250/25-0,25-Т, так как данный механизм отвечает всем условиям, поставленным в ТЗ на разработку АСУ установки газификации твердого топлива. Он обладает

рядом преимуществ по отношению к двум другим, а именно крутящим моментом, видом управления и наличием датчика положения вала [23].

Таблица 16 – Характеристики исполнительных механизмов многооборотных

Тип	Рабочее напряжение, В	Крутящий момент, Нм	Время полного хода выходного вала, с	Вид управления
ММО-90/87-GS	220	90	87	Контактное
МЭМ-100/63-10-(У,Р,М)-0,2К	380	100	63	Контактное/ДУ

Исходя из полученных данных поставленных в ТЗ магистерской диссертации подходит исполнительный механизм типа МЭМ-100/63-10-(У,Р,М)-0,2К . Данный исполнительный механизм является многооборотным и снабжен датчиком положения выходного вала. Управление может осуществляться как дистанционно, так и вручную. Питание данного исполнительного механизма осуществляется от трехфазной сети в 380 В [24].

8.9 Выбор блока управления исполнительным механизмом

Блок управления исполнительным механизмом – это низковольтное электромагнитное (электромеханическое) комбинированное устройство распределения и управления, предназначенное для пуска электродвигателя, непрерывной работы, отключения питания, защиты электродвигателя и подключенных цепей, и иногда для реверсирования направления его вращения. В таблице 17 мы рассмотрим блоки управления.

Таблица 17 – Характеристики блоков управления

Тип	Рабочее напряжение, В	Номинальная частота, ГЦ	Номинальная выходная мощность, КВт	Интерфейс связи
Schneider-electric GV2	220/230	50	6...20	RS-485
БУЭР 1-30-02	380	50	5.5...22	RS-485
IEK ПРК32	220	50	4...25	RS-485

Из представленных вариантов наиболее подходящим появляется БУЭР 1-30-02. Блок управления предназначен для управления скоростью вращения и крутящим моментом на валу электродвигателей переменного тока мощностью 5,5...22 кВт, в составе электроприводов общепромышленного назначения. Эффективны для модернизации электроприводов прямого пуска, что обеспечивает снижение пиковых нагрузок на питающую сеть, увеличение срока службы электродвигателя и механических частей оборудования [25].

8.10 Выбор питания контроллера

Импульсные источники питания постоянного тока AC/DC предназначены для электропитания стабилизированным напряжением оборудования систем промышленной автоматизации, систем управления технологическими процессами и другой аппаратуры высокой степени ответственности. Учитывая выбранный контроллер, блок питания выберем исходя из рекомендаций завода изготовителя контроллера [26].

Таблица 18 – Технические характеристики модуля питания

Модель	EF A 1AC/24DC-10
Диапазон входного напряжения, В	210...230
Потребляемый ток на входе, А	10,2
Защита от обратной полярности	Да
Номинальное выходное напряжение, В	24
Выходной ток, А	10
Сигнализация DC ОК	Да

8.11 Выбор диодного модуля

К выбранному блоку питания выберем диодный модуль, согласно требованиям завода изготовителя. Диодные модули разъединяют параллельно подключенные источники питания. Благодаря этому короткое замыкание больше не влияет на нагрузку. На выходе блока питания или в подводящей линии между ним и диодом. Диодные модули обеспечивают безопасность электропитания [27].

Таблица 19 – Технические характеристики диодного модуля

Модель	EF R 24DC/24DC 20C
Диапазон входного напряжения, В	2...40
Ток одного диода, А	20
Падение напряжения вход/выход, мВ, не более	750
Напряжение гальванической изоляции между входной цепью питания и корпусом, В	750
Диапазон рабочих температур, °C	-40...60

8.12 Выбор трехходового клапана

Среди запорной арматуры для воздушных систем существует один элемент, использующейся в большем количестве конфигураций построения воздушных систем. Такой клапан устанавливается в тех местах трубопровода, где необходимо разделить поток на два контура. В таблице 20 рассмотрим характеристики трехходовых клапанов.

Таблица 20 – Характеристики трехходовых клапанов

Модель	Danfoss VF3	Honeywell Gd-1	Valtec
Наличие МУ	Да	Нет	Нет
Наличие ДУ	Да	Да	Да
Наличие концевых выключателей	Да	Да	Опция
Входной сигнал управления, мА	4...20	4...20	4...20
Диапазон рабочих температур, °C	-40...120	-40...80	-40...90
Рабочее напряжение, В	220	220	220
Габаритные размеры	Устанавливаются при заказе	Устанавливаются при заказе	Устанавливаются при заказе

Из вариантов, указанных в таблице 20, рядом преимуществ обладает трехходовой клапан Danfoss VF3, так как он имеет местное и дистанционное управления и широкий диапазон рабочих температур. Выбираем для проектирования клапан Danfoss VF3 [28].

8.13 Выбор шиберной задвижки

Шибберные затворы состоят из рамы, запорного элемента (шибера), подшипников и уплотнения. В открытом состоянии шибер полностью убирается в корпус, оставляя свободным проходное сечение, что особенно важно при работе с трудносыпучими или абразивными материалами. Затворы имеют квадратное, круглое или прямоугольное сечение и могут комплектоваться ручным, пневматическим или электрическим приводом. Важным преимуществом таких затворов, является возможность установления промежуточных положений ножа с помощью концевых выключателей. А также возможность пропорционального открытия при использовании систем позиционирования. В таблице 21 рассмотрим характеристики шиберных затворов.

Таблица 21 – Характеристики шиберных затворов

Модель	АРМАТЭК-СГ	Orbinox EX	УКЭМ
Наличие МУ	Да	Да	Да
Наличие ДУ	Да	Да	Нет
Наличие концевых выключателей	Да	Да	Нет
Входной сигнал управления, мА	4...20	4...20	Нет
Диапазон рабочих температур, °С	-40...120	-40...110	-40...120
Рабочее напряжение, В	220	220	Нет
Габаритные размеры	Устанавливаются при заказе	Устанавливаются при заказе	Устанавливаются при заказе

Из представленных задвижек, АРМАТЭК-СГ и Orbinox EX имеют практически одинаковые характеристики, но задвижки АРМАТЭК-СГ производят в России, а одним из требований к выбору оборудования было отечественное производство. В данном проекте, будем использовать шиберную задвижку АРМАТЭК-СГ [29].

8.14 Выбор электродвигателя

Электрический двигатель – электрическая машина, с помощью которой электрическая энергия преобразуется в механическую, для приведения в движение различных механизмов. Электродвигатель является основным элементом электропривода. В основу работы электрических двигателей положен принцип электромагнитной индукции. Электрическая машина состоит из неподвижной части – статора или индуктора и подвижной части – ротора или якоря. В роли индуктора на маломощных двигателях постоянного тока очень часто используются постоянные магниты. В таблице 22 приведены характеристик электродвигателей.

Таблица 22 – Характеристики электродвигателей

Модель	DSB-18Q	АИР-132М4	5АМХ
Номинальная мощность, кВт	18	11	15
Ном. ток, А	39	23	31
Ном. напряжение, В	380	380	380
Скорость Вращения, об/мин	1465	1450	1560
Эффективность, %	90	90	90
Ном. крутящий момент	2,3	2,1	2
Вес, кг	95	117	112
Система охлаждения	Воздушная	Воздушная	Воздушная

Все электродвигатели из таблицы 22 схожи по показателям, но двигатель марки DSB-18Q обладает рядом преимуществ, а именно номинальной мощностью, крутящим моментом и весом. Исходя из указанных преимуществ, в диссертации будем использовать электродвигатель DSB-18Q [30].

8.15 Выбор частотного преобразователя

Частотный преобразователь, или преобразователь частоты – электротехническое устройство, используемое для контроля скорости и момента двигателей переменного тока путем изменения частоты, и напряжения питания электродвигателя. Характеристики частотных преобразователей приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Характеристики частотного преобразователя

Модель	ESD-TCL	Danfoss VLT Automation Drive/ FC300
Мощность управляемого электродвигателя, кВт	3,7...18,5	22,0
Напряжение питающей сети, В	380	380
Стабилизация момента электродвигателя, %	±5	±5
Скорость Вращения, об/мин	1465	1350
Пусковой момент, % от номинального значения, не менее	200	250

Продолжение таблицы 23

Модель	ESD-TCL	Danfoss VLT Automation Drive/ FC300
Ток срабатывания защиты при коротком замыкании, % от номинального значения	200	200
Возможность подключения датчика температуры электродвигателя.	Да	Да
Многоцелевые входные дискретные каналы управления	Настраиваемая логика Р или N	Настраиваемая логика Р или N
Количество каналов, шт.	6	2
Интерфейсы связи	USB для связи с ПК; RS-485 (Modbus RTU)	USB для связи с ПК; RS-485 (Modbus RTU), ДУ
Степень защиты	IP20	IP20
Диапазон рабочих температур, °C	-50...+40	-20...+45

Частотные преобразователи, указанные в таблице 23 имеют схожие характеристики, но частотный преобразователь ESD-TCL имеет преимущества перед Danfoos VLT, а именно, больший диапазон мощности управляемого ЭД и больший диапазон рабочих температур. Так же, не мало важным фактором является то, что у преобразователей частоты ESD-TCL оптимизирована работа с различными видами контроллеров [31].

8.16 Выбор источника света

Осветительные средства, к которым относятся источники света и осветительные приборы, являются важными составными частями осветительных установок. Световые источники EverGreen-LI являются современными установками, обеспечивающие широкий спектр возможностей по обеспечению световым потоком различных процессов. Характеристики светового источника EverGreen–LI приведены в таблице 24 [32].

Таблица 24 – Характеристики источника света

Модель	EverGreen–LI
Номинальная мощность, Вт	10000
Ном. напряжение, В	220
Светимость, кд/м ²	$1,65 \cdot 10^{12}$
Вес, кг	57
Возможность присоединение световода	да
Система охлаждения	Водяная

8.17 Выбор автоматизированного рабочего места

Автоматизированное рабочее место (АРМ) – это индивидуальный комплекс технических и программных средств, предназначенный для автоматизации профессионального труда специалиста и обеспечивающий подготовку, редактирование, поиск и выдачу на экран и печать необходимых ему документов и данных. Автоматизированное рабочее место обеспечивает оператора всеми средствами, необходимыми для выполнения определенных функций.

Передача данных между уровнями АСУ осуществляется с помощью интерфейсов RS-485, RS-232 и Ethernet. Протоколы передачи данных – Modbus TCP и Modbus RTU.

В настоящее время, на рынке электронно-вычислительных машин представлено большое разнообразие компьютеров, среди них есть моноблочные компьютеры, совмещающие в себе процессор, монитор и периферийные устройства. Для автоматизированной системы управления установкой для получения синтез-газа не предусмотрены ограничения для выбора ЭВМ, поэтому может подойти моноблочный персональный компьютер. В таблице 25 приведены характеристики двух различных моноблочных компьютеров, между которыми производится выбор.

Таблица 25 – Технологические характеристики моноблочных компьютеров

Название	Apple iMac MNDY2RU/A	HP Pavilion 27- r118ur/4HF62EA
Операционная система	Mac OS X Sierra	Windows 10
Модель процессора	Core i5 7400	Core i7-8700T
Количество ядер, шт	4	6
Производитель видеокарты	NVIDIA	NVIDIA
Видеопамять	2 ГБ	2 ГБ
Графический контроллер	Intel HD Graphics 630	Intel UHD Graphics 630
Оперативная память	8 ГБ	12 ГБ
Тип процессора	Core i5 7400	Core i7-8700T
Кэш-память	6 МБ	12 МБ
Жесткий диск	1 ТБ	1 ТБ

Более лучшие характеристики имеет компьютер производителя HP, потому остановим выбор на данной электронно-вычислительной машине [33]. Для удаленного мониторинга и управления автоматизированной системой необходимо специальное программное обеспечение, с общим названием SCADA-система. Таким программным обеспечением, в нашем случае, выступает Simple SCADA. Данная система предназначена для

разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

8.18 Составление заказной спецификации

Спецификация представляет собой техническую документацию, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации для реализации системы управления установкой для получения синтез-газа.

Спецификация предназначена для составления на ее основе заказа на средства измерения, а также для облегчения чтения проектной документации. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации представлена в приложении А.

9 Перечень входных и выходных сигналов

На основе функциональной схемы составлен перечень входных и выходных сигналов, который представлен в таблице 26.

Таблица 26 – Перечень входных/выходных сигналов

Наименование параметра	Позиция	Тип датчика, прибора, источника сигнала	AI	AO	DI	DO	Значения сигналов
Уровень топлива в бункере	1	EAX-711H	+				4...20 мА
Скорость вращения ЭД (конвейер №1)	2	ESD-TCL		+			4...20 мА
ЭД «включить» (конвейер №1)	2-1					+	24 В
ЭД «выключить» (конвейер №1)	2-2					+	24 В
ЭД «ошибка» (конвейер №1)	2-3				+		24 В
ЭД «в работе» (конвейер №1)	2-4				+		24 В
Перегрев подшипников (конвейер №1)	2-5				+		24 В
Процент открытия задвижки (подача топлива)	3	ESD-TCL		+			4...20 мА
Задвижка «открыта» (подача топлива)	3-1				+		24 В
Задвижка «закрыта» (подача топлива)	3-2				+		24 В
Задвижка «ошибка» (подача топлива)	3-3				+		24 В
Измерение расхода топлива после дробилки	4	SolidFlow GX	+				4...20 мА
Скорость вращения ЭД (дутьевой вентилятор)	5	ESD-TCL		+			4...20 мА
ЭД «включить» (дутьевой вентилятор)	5-1					+	24 В
ЭД «выключить» (дутьевой вентилятор)	5-2					+	24 В
ЭД «ошибка» (дутьевой вентилятор)	5-3				+		24 В
ЭД «в работе» (дутьевой вентилятор)	5-4				+		24 В
Перегрев подшипников (дутьевой вентилятор)	5-5				+		24 В
Измерение расхода воздуха	6	Метран 300IP		+			4...20 мА

Продолжение таблицы 26

Наименование параметра	Позиция	Тип датчика, прибора, источника сигнала	AI	AO	DI	DO	Значения сигналов
Измерение расхода топлива после смешения	7	SolidFlow GX		+			4...20 мА
Измерение температуры в рабочей камере	8	Элемер 0304/M3 – MB		+			4...20 мА
Скорость вращения ЭД (вытяжного вентилятора)	9	ESD-TCL		+			4...20 мА
ЭД «включить» (вытяжного вентилятора)	9-1					+	24 В
ЭД «выключить» (вытяжного вентилятора)	9-2					+	24 В
ЭД «ошибка» (вытяжного вентилятора)	9-3				+		24 В
ЭД «в работе» (вытяжного вентилятора)	9-4				+		24 В
Перегрев подшипников (вытяжного вентилятора)	9-5				+		24 В
Измерение расхода полученного синтез-газа	10	Метран 300IP		+			4...20 мА
Управление трехходовым клапаном	11	Danfoss VF3		+			4...20 мА
Измерение состава полученного синтез-газа	12	Монолит L		+			4...20 мА
Скорость вращения ЭД (конвейер №2)	13	ESD-TCL		+			4...20 мА
ЭД «включить» (конвейер №2)	13-1					+	24 В
ЭД «выключить» (конвейер №2)	13-2					+	24 В
ЭД «ошибка» (конвейер №2)	13-3				+		24 В
ЭД «в работе» (конвейер №2)	13-4				+		24 В
Перегрев подшипников (конвейер №2)	13-5				+		24 В
Процент открытия задвижки (удаление золы)	14	ESD-TCL		+			4...20 мА
Задвижка «открыта» (удаление золы)	14-1				+		24 В
Задвижка «закрыта» (удаление золы)	14-2				+		24 В
Задвижка «ошибка» (удаление золы)	14-3				+		24 В

Продолжение таблицы 26

Наименование параметра	Позиция	Тип датчика, прибора, источника сигнала	AI	AO	DI	DO	Значения сигналов
Управление мощностью светового потока	15	EverGreen		+			4...20 мА
Измерение состава газа (в рабочей камере)	16	Монолит L		+			4...20 мА
Измерение температуры синтез-газа после охлаждения	17			+			4...20 мА

Пояснения к таблице 26: AI – входной аналоговый сигнал; AO – аналоговый сигнал на выходе; DI – дискретный входной сигнал; DO – дискретный сигнал на выходе.

10 Проектирование принципиальной схема АСУ

Принципиальная схема – это схема электрических соединений, выполненная в развернутом виде. Она является основной схемой проекта электрооборудования производственного механизма и дает общее представление об электрооборудовании данного механизма, отражает работу системы автоматического управления механизмом, служит источником для составления схем соединений и подключений, разработки конструктивных узлов и оформления перечня элементов. По принципиальной схеме осуществляется проверка правильности электрических соединений при монтаже и наладке электрооборудования. От качества разработки принципиальной схемы зависит четкость работы производственного механизма, его производительность и надежность в эксплуатации.

При выполнении схемы использовались развернутые изображения элементов технических средств и их подключения. Расположение графического и текстового материала выбрано согласно ГОСТ 2.702-2011. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений элементов. Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов. Чтение принципиальных электрических схем и особенно эксплуатация электрических установок значительно упрощается, если при разработке схем производить обозначение цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения. Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Последовательность обозначений сверху вниз в направлении слева

направо. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1...100, для цепей питания 101...200. Схема электрическая принципиальная автоматизированной системы управления приведена на 11 листах с шифром ФЮРА.421000.003 ЭЗ.

Разработка принципиальной электрической схемы автоматизированной системы управления производилась следующим образом, сначала подключались модули питания, которые преобразуют напряжение сети питания с 220 В до 24 В и устанавливались автоматические выключатели на питание элементов имеющих входное питание 220 В и 380 В, далее, так как работа автоматизированной системы управления должна происходить бесперебойно, то питание дублировалось и плюсовые контакты подключались на контроллер, через диодный модуль, который, в случае выхода одного блока питания из строя, автоматически переключает питание всей системы на резервное. После этого подключались модули, отвечающие за опрос датчиков, передачу информации на АРМ, передачу информации по интерфейсу RS-485. Далее подключались датчики, имеющие аналоговые выходы, через устройства защиты от перенапряжения и устройства искробезопасной цепи, по внутреннему интерфейсу соединялись в единое устройство с интерфейсным протоколом RS-485. Были подключены сигнализирующие устройства и устройства переключения режимов работы автоматизированной системы управления, так же был подключён звуковой извещатель через контакт-реле. Заключительным этапом разработки электрической схемы стало подключение силовой части электрической схемы, а именно подключение частотных преобразователей в связке с многооборотными исполнительными механизмами и подключение блоков ручного управлению, через пусковые устройства к однооборотным исполнительным механизмам [34].

11 Проектирование монтажной схемы АСУ

Монтажная документация предназначена для выполнения монтажных работ, также монтажную документацию используют в процессе эксплуатации, наладке, ремонте и выполнения профилактических работ. Для сложных автоматизированных систем управления отдельно выполняют монтажные схемы щитов и пультов и монтажные схемы внешних электрических и трубных проводок. В данной работе монтажные схемы внешних электрических проводок и щита управления выполнены на одном листе с шифром ФЮРА.421000.003 С4.

Монтажная документация, разрабатывалась в процессе проектирования автоматизированной системы управления установкой по получению синтез-газа. И включает в себя монтажную документацию щитов и пультов, и монтажную документацию внешних электрических и трубных проводок. Монтажные схемы, показывают каким образом соединены между собой клеммы или выводы технических средств, расположенных на конструкции и за пределами конструкций.

Основой для разработки монтажной схемы, в большей степени, послужила принципиальная электрическая схема, так же ее дополняют функциональная схема и техническая документация заводов изготовителей средств автоматизации [35].

Разработка монтажной схемы велась следующим образом, на листе формата А1 представлены очертания развернутых в одной плоскости внутренних стенок щита с упрощенными изображениями элементов системы автоматизации и элементов защиты. Во-первых, в щит автоматизации подключено питания 380 В от внешнего щита питания, который на схемах не изображался. Далее происходило подключение автоматических выключателей (QF1, QF2, QF3, QF4, QF5, QF6, QF7,) для защиты от перенапряжения и блоков питания (G1 и G2), таким образом, чтобы на каждый блок питания имелся свой автоматический выключатель, а также, на

каждый силовой элемент автоматизированной системы. Во-вторых, в щите автоматизации показан контроллер (ЭЛСИ ТМК), подключенный к блокам питания через диодный модуль (VD1), для безаварийного переключения между блоками питания. В-третьих, в щите изображены клеммники (ХТ1, ХТ2, ХТ3, ХТ4, ХТ5) для подключения средств защиты контроллера, силовых устройств и датчиков. Датчики отнесены от щита управления, что показывает их удаленность на местности. Все преобразователи подключаются сначала к соединительной коробке (КСК-18) с помощью проводов (ВВГнг-(LS) 2х0,5), а далее собираются в единый провод ВВГнг-(LS) 18х1, который подключается к средствам защиты и далее в контроллер. Световые и звуковые извещатели подключены к контакт-реле (К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7, К8) подключены к модулю контроллера с дискретными выходами.

Определено количество и местоположение сборок зажимов. Исходя из удобства представления, монтажная схема электрических проводок щита выполнена адресным способом. Присвоены порядковые номера средств системы автоматизации. Проводники, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой.

К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов. Целью проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации и вспомогательным элементам, проверки проводок и ввода их в эксплуатацию. Схема монтажная внешних электрических проводок, представленная на листе с шифром ФЮРА.421000.003 С4.

12 Выбор проводов, кабелей и защитных труб

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми или медными жилами. Изоляция, оболочки и наружные покрытия кабелей должны соответствовать условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки.

Для силовых линий выбираем кабели типа КРВГ сечением 1,5 мм² для цепей с напряжением 220 В и 3 мм² для цепей с напряжением 380 В. Для информационных линий выбираем кабели типа ВВГнг-(LS) сечениями 0,5...1 мм². Так же, для интерфейсных цепей RS-485 выбираем, рекомендованный заводом изготовителем контроллера и частотных преобразователей, кабель типа FTP cat. 5e ССА. Так же, для ряда соединений выбираем провод типа ПуГНП с диаметров жилы 1 мм²

Кабели подходят для решения поставленных задач автоматизированной системы управления, так как они отличаются качеством, распространённостью в местах монтажа АСУ. Так же, все вышеуказанные кабели, выдерживают широкий диапазон температур и не поддерживают горение [36]. В некоторых случаях в резерве остается одна или несколько жил, что не идет в разрез с рекомендациями. Это допускается из-за ступенчатости стандартного ряда количества жил. Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСУ

№ линии	Марка	ГОСТ, ТУ	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
1,2,3,4,5,6, 7,8,9	ВВГнг-(LS)	ТУ 16.К71- 310-2001	2	0,5	6,1
10	ВББНВнг-(LS)		6	4	38,5
11,12,13,14 ,22,23,24	КРВГ		4	1,5	19,1

Продолжение таблицы 27

№ линии	Марка	ГОСТ, ТУ	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
15,16,17,18	КРВГ	ТУ 16.K71-310-2001	4	2,5	27,4
19	ВВГнг-(LS)		8	1	23,1
20	FTP cat. 5e CСТ		2	0,5	4,8
25,26	ПуГНП		1	1	4,5
27,28,29,30	ВВГнг-(LS)		4	0,5	13,8
31	RS-485		3	0,5	8

Для защиты кабелей, которые необходимо протянуть на большие расстояния, применяем защитные трубы. В качестве защиты кабелей выбираем стальные электросварные тонкостенные трубы по ГОСТ 10704-91, которые следует применять в сухих и влажных помещениях, а также при открытой и скрытой прокладке в жарких, пыльных пожароопасных помещениях. Для кабелей линий питания защитные трубы не выбираются, так как кабели изначально бронированные.

При определении внутреннего диаметра защитной трубы, необходимой для данной конкретной проводки, учитываем диаметр кабеля, проходящего в ней. Причем для удобства протяжки кабелей через трубы, внутренний диаметр должен быть в 1,5 раза больше диаметра кабеля. Таким образом, защитные трубы выбираем по внешнему диаметру с учетом толщины стенки из стандартного ряда. В таблице 28 приведены расчеты защитных труб для прокладки кабелей и проводов.

Таблица 28 – Расчеты диаметров защитных труб

Марка	Номинальное сечение, мм ²	Число жил	Диаметр, мм	Диаметр защитной трубы, мм
ВВГнг-(LS)	0,5	2	6,1	10
ВВГнг-(LS)	0,5	4	13,8	25

Продолжение таблицы 28

Марка	Номинально е сечение, мм ²	Число жил	Диаметр, мм	Диаметр защитной трубы, мм
ВВГнг- (LS)	1	8	23,1	35
ВББНВнг- (LS)	4	6	38,5	60
КРВГ	1,5	4	19,1	30
КРВГ	2,5	4	27,4	45
ПуГНП	1	1	4,5	10
FTP cat. 5e CCT	0,5	2	4,8	10

Диаметры защитных труб, были округлены в большую сторону и соотносились со стандартными типоразмерами бесшовных металлических труб с антикоррозионным покрытием.

13 Конструкторская разработка АСУ

13.1 Щит автоматизации

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

Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Целью данного этапа является составление комплекта чертежей, необходимых для изготовления щита, монтажа технических средств автоматизации, электрических проводок и эффективной эксплуатации средств автоматизации.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной, односекционный с задней дверью (ПШ-К).

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса разместим в необходимом и достаточном количестве на щите контроллер и сборки зажимов.

В данном случае для размещения средств автоматизации используем щит с задней дверью одиночный, высотой 1800 мм, шириной 700 мм и глубиной 700 мм, шкаф ПШ - к- (1800x700) -УЧЛ4 - IP30.

Чертеж общего вида одиночного щита содержит вид спереди, вид на внутренние плоскости, перечень составных частей. Блоки, входящие в состав контроллера, рассчитаны на навесной монтаж, крепящийся на DIN-рейку. Общий вид щита представлен на чертеже с шифром ФЮРА.421000.003 ВО.

14 Выбор регулирующего органа

Регулирующим органом называют блок исполнительного устройства, который воздействует на расход вещества или энергии, которые влияют на регулируемую величину объекта регулирования.

Регулирующие органы, применяемые в автоматизированных системах управления должны удовлетворять ряду требований:

- 1) иметь необходимый диапазон изменения расхода вещества для обеспечения нормальной работы объекта при различных нагрузках и для обеспечения хорошего качества регулирования;
- 2) иметь характеристику, стабильную во времени и не оказывающую отрицательного влияния на статические и динамические свойства системы автоматического регулирования;
- 3) удобно и надежно сочленяться с исполнительным механизмом;
- 4) надежно работать в условиях эксплуатации;
- 5) перемещаться при сравнительно небольшом усилии со стороны исполнительного механизма.

Для регулирования расхода топлива в разрабатываемой автоматизированной системы управления используют осевые электрические двигатели, которые приводят в движение дутьевой вентилятор и шнековый конвейером, их расходную характеристику рассчитывают аналитическим путем и путем проведения эксперимента

Для подачи чистого воздуха и подготовленного топлива в рабочую камеру газогенератора выбираем дутьевой вентилятор ВДН-20 одностороннего всасывания мощностью 300 кВт, производительностью 300...400 м³/ч, частотой вращения 1000 мин⁻¹ с осевым направляющим аппаратом, и шнековый конвейер ТРВ-1 производительность 6...12 м³/ч, установленной мощностью привода 1,5...4 кВт [37].

15 Разработка математического, программного и информационного обеспечения

15.1 Математического обеспечения АСУ

Математическое обеспечение АСУ – это совокупность математических моделей, методов, алгоритмов решения различных задач, используемая на этапе проектирования и в процессе эксплуатации АСУ.

В данной работе представлен алгоритм управления и регулирования подачи топлива в рабочую камеру газогенератора. Алгоритм управления изменением количества подаваемого топлива представлен на рисунке 9.

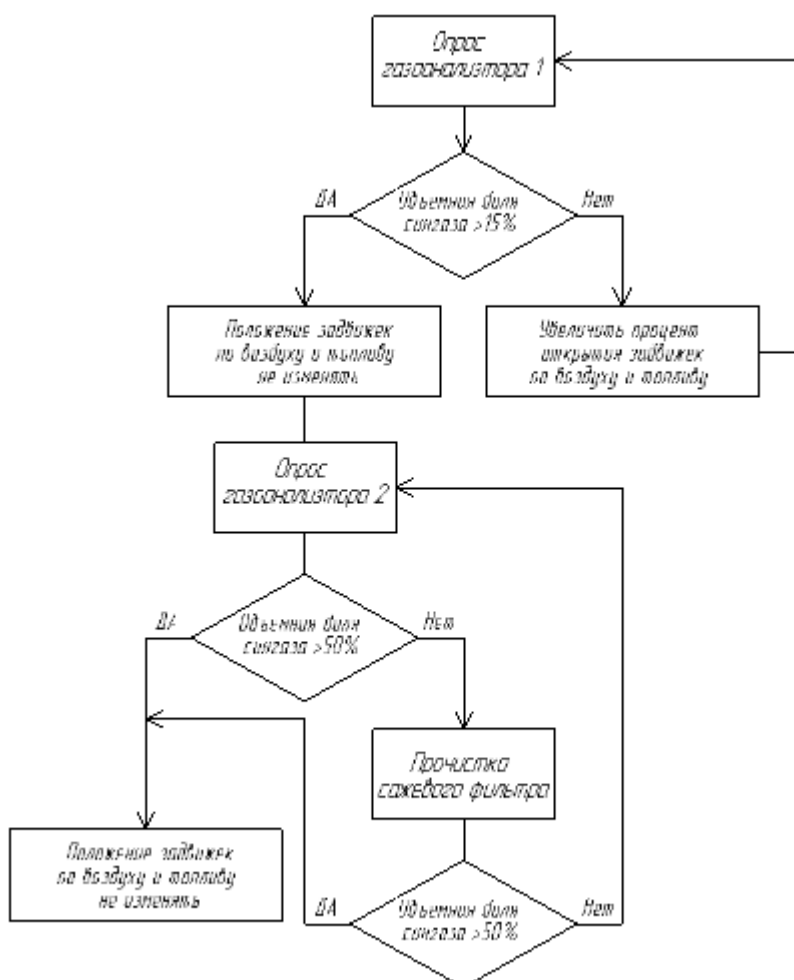


Рисунок 9 – Алгоритм управления включением подачи топлива в рабочую камеру газогенератора

15.2 Программное обеспечения АСУ

Программное обеспечение АСУ принято делить на две категории:

общее программное обеспечение, включающее операционные системы, SCADA-системы, пакеты программ для программирования контроллеров, компиляторы, редакторы и т.п.;

специальное программное обеспечение – это программы, разработанные для конкретной АСУ.

К этой категории относятся программы для контроллеров, реализующие определенные функциональные задачи обработки информации и управления; программы, сгенерированные в среде SCADA-системы для визуализации, архивирования данных конкретного технологического процесса.

Программный код, реализующий обмен и передачу данными между оборудованием для управления и регулирования топливоподачи, представлен ниже:

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    FE1, FE2, FE3: REAL; //показания датчиков расхода
    TE1, TE2, TE3: REAL; //показания датчиков температуры
    t1, t2, t3, t4: TON; //таймеры открытия/закрытия
    m1, m2, i1, i2: INT; //счетчики открытия PO1, PO2
    stop_pump, pusк_pump: BOOL; //стоп-пуск насосов
    closeRO1, closeRO2: BOOL; //закрытие PO1 и PO2
    STOP_ASU: BOOL; // останов АСУ
    n: REAL=0.5; //величина гистерезиса
    ust_temp1, ust_temp2: REAL; //уставки температур
    TE_in, TE_out: REAL; //показания датчиков температуры
    openRO_in, closeRO_in, openRO_out, closeRO_out: BOOL;
    ust_temp_in, ust_temp_out: REAL;
END_VAR
ust_temp1:=50;
ust_temp2:=200;
m1:=0;
m2:=0;
If TE1>ust_temp1 then
    STOP_ASU:=0;
    IF TE1>ust_temp1 or TE3>ust_temp3 then
        If FE1/FE1<(4/5)+n then
```

```

        While m1<100 do
            t4(IN=TRUE,PT=T#1s);
            If t4.Q=TRUE then
                m1:=m1+1;
                t4(IN=FALSE,PT=T#0s);
            else i1:=m1;
            END_IF
        END_WHILE
    ESLIF FE1/FE1>(4/5)-n then
        While m1>0 do
            t3(IN=TRUE,PT=T#1s);
            If t3.Q=TRUE then
                m1:=m1-1;
                t3(IN=FALSE,PT=T#0s);
            else i1:=m1;
            END_IF
        END_WHILE
    END_IF
    If TE3/TE2<(5/2) then
        While m2<100 do
            t2(IN=TRUE,PT=T#1s);
            If t2.Q=TRUE then
                m2:=m2+1;
                t2(IN=FALSE,PT=T#0s);
            else i2:=m2;
            END_IF
        END_WHILE
    else
        While m2>0 do
            t1(IN=TRUE,PT=T#1s);
            If t1.Q=TRUE then
                m2:=m2-1;
                t1(IN=FALSE,PT=T#0s);
            else i2:=m2;
            END_IF
        END_WHILE
    END_IF
    else
        STOP_ASU:=1;
    END_IF
    STOP_ASU:=1;
END_IF
IF STOP_ASU=1 then
    stop_pump:=1;
    pusk_pump:=0;
    closeRO1:=1;
    closeRO1:=1;
else
    stop_pump:=0;

```

```

        pus_k_pump:=1;
        closeRO1:=0;
        closeRO1:=0;
    END_IF
    ust_temp_in:=300;
    ust_temp_out:=200;
    IF TE1<ust_temp_in then
        openRO_in:=TRUE;
        closeRO_in:=FALSE;
    ESLIF TE1>ust_temp_in then
        closeRO_in:=TRUE;
        openRO_in:=FALSE;
    END_IF
    IF TE1<ust_temp_in+n and TE1>ust_temp_in-n then
        stop_in:=TRUE;
    else
        stop_in:=FALSE;
    END_IF
    IF TE1>ust_temp_out then
        openRO_out:=TRUE;
        closeRO_out:=FALSE;
    ESLIF TE1<ust_temp_out then
        closeRO_out:=TRUE;
        openRO_out:=FALSE;
    END_IF
    IF TE1<ust_temp_out+n and TE1>ust_temp_out-n then
        stop_out:=TRUE;
    else
        stop_out:=FALSE;
    END_IF
END

```

15.3 Информационное обеспечения АСУ

Информационное обеспечение АСУ – это часть системы управления, которая представляет собой совокупность данных о входных и выходных сигналах, о фактическом и возможном состоянии элементов производства, о логике изменения и преобразования элементов производства.

АРМ и щиты изображаются в виде прямоугольников, внутри которых выполняются следующие надписи: наименование щита, вид оперативной связи. Изображение структуры управления представлено на рисунке 10.

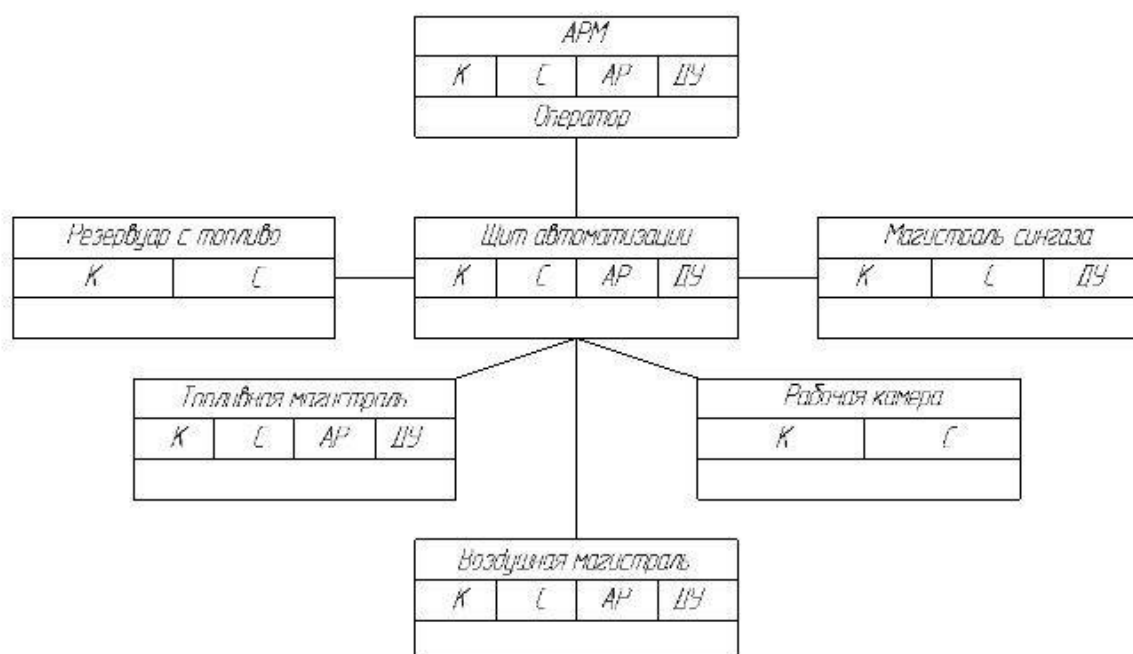


Рисунок 10 – Структура управления установкой по получению синтез-газа

К – контроль, С – сигнализация, ДУ – дистанционное управление, АР – автоматическое регулирование

16 Разработка SCADA-системы

Процесс разработки SCADA систем включает в себя следующие операции:

разработка графического интерфейса (графики, всплывающие окна, мнемосхемы, таблицы, элементы ввода команд оператором и прочее);

процесс отладки алгоритмов работы системы промышленной автоматизации АСУТП. В большинстве SCADA систем отладку можно выполнить двумя вариантами – в режиме эмуляции оборудования или при подключенном оборудовании;

произведение настройки систем промышленной коммуникации (модемов, промышленных сетей и коммуникационных контроллеров);

процесс создания баз данных с дальнейшим подключением к ним SCADA системы.

SCADA система должна выполнять следующие задачи:

1) осуществление взаимодействия с оператором (представление слуховой и визуальной информации, трансляция системе команд оператора);

2) оказание помощи оператору в процессе выработки необходимого решения (выполнение функций экспертной системы);

3) автоматическое сигнализирование об аварии и случившихся критических ситуациях (подсистема алармов);

4) вывод на пульт оператора информации о состоянии процесса;

5) ведение журнала событий;

6) поиск и извлечение архивной информации, и предоставление её оператору в удобном для него варианте;

7) создание отчетов (графики смены операторов, таблицы температур, перечень необходимых действий оператора в определенной ситуации и прочее);

8) учет наработки технологического оборудования.

В качестве SCADA пакета, в котором должна проходить разработка мнемосхем была выбрана Simple Scada, исходя из ее доступности, бесплатности, простоты и большой применимости.

Разработанная SCADA система для управления установкой по получению синтез-газа представлена на рисунке 11.

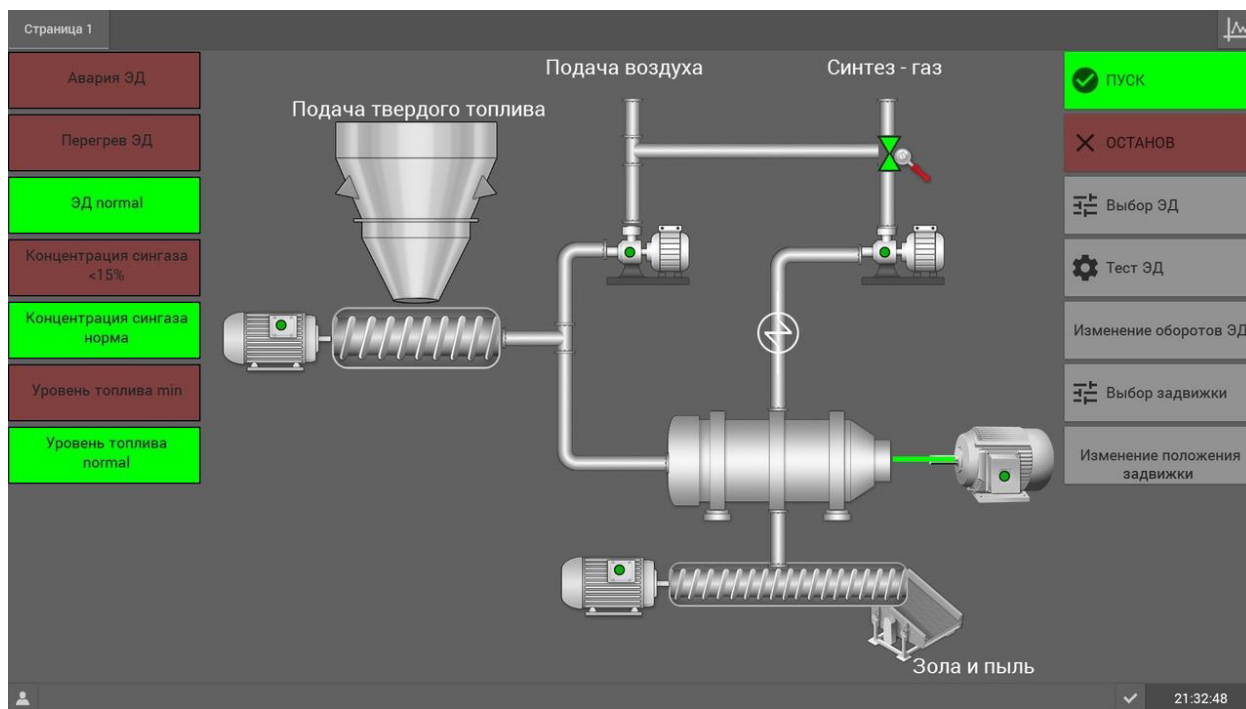


Рисунок 11 – Графический интерфейс SCADA системы

17 Расчет параметров настройки регулятора

Под идентификацией понимается действие, направленное на установление параметра по определенным признакам. Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует два вида идентификации: активная и пассивная. Пассивная заключается в наблюдении в режиме нормальной эксплуатации объекта за входными воздействиями и реакции системы на них с последующей обработкой результатов наблюдения. При активной идентификации, на объект подается специально организованное входное воздействие и по реакции объекта при соответствующей обработке результатов получают математическую модель. В инженерной практике применяется активная идентификация [38].

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения расхода рабочей в трубопроводе при открытии регулирующего органа.

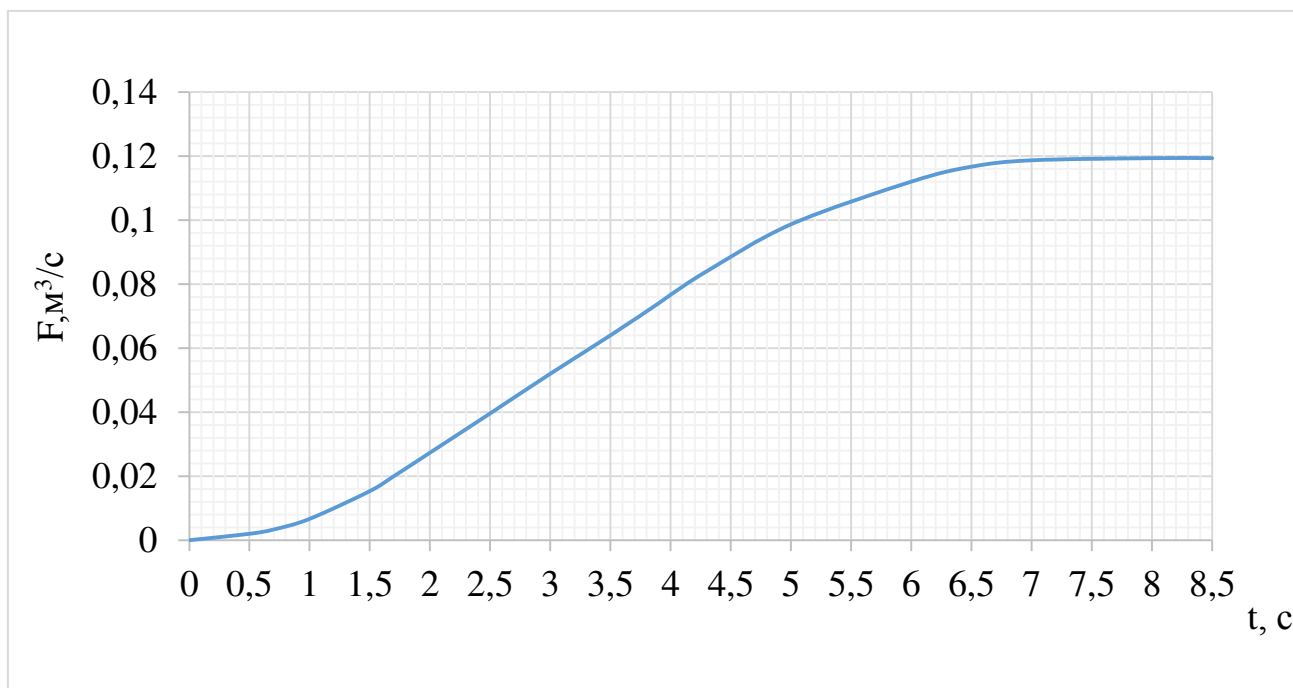


Рисунок 12 – Кривая разгона объекта управления

На полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени – T , запаздывание – τ , коэффициент передачи k .

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)} e^{-P\tau}, \quad (1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

На графике кривой разгона, рисунок 13, строим две точки А и В. Точка А определяется как $0,33 k$, а точка В имеет ординату $0,7 k$.

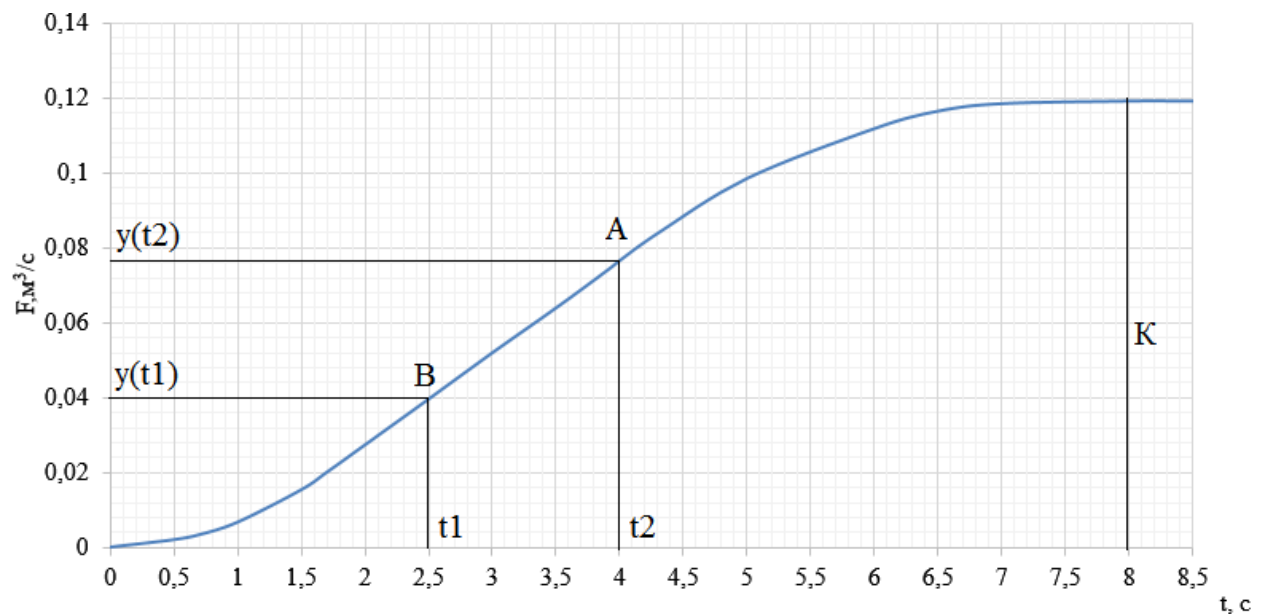


Рисунок 13 – Определение точек А и В на кривой разгона

Найдем неизвестные значения – время запаздывания τ и постоянную времени T :

$$y(t) = k(1 - e^{\frac{-t-\tau}{T}}); \quad (2)$$

$$\frac{y(t)}{k} = 1 - e^{\frac{-t-\tau}{T}} \Rightarrow e^{\frac{-t-\tau}{T}} = 1 - \frac{y(t)}{k}; \quad (3)$$

$$\frac{t-\tau}{T} = \ln(1 - \frac{y(t)}{k}); \quad (4)$$

для t_1 :

$$\frac{\tau - t_1}{T} = \ln(1 - \frac{y(t_1)}{k}); \quad (5)$$

для t_2 :

$$\frac{\tau - t_2}{T} = \ln(1 - \frac{y(t_2)}{k}); \quad (6)$$

приравниваем:

$$A_1 = \ln(1 - \frac{y(t_1)}{k}); \quad (7)$$

$$A_2 = \ln(1 - \frac{y(t_2)}{k}); \quad (8)$$

тогда:

$$\begin{cases} \tau - t_1 = A_1 T; \\ \tau - t_2 = A_2 T; \end{cases} \quad (9)$$

$$T = \frac{t_2 - t_1}{A_1 - A_2}; \quad (10)$$

$$\tau_1 = A_1 T + t_1. \quad (11)$$

Произведем расчет времени запаздывания и постоянной времени:

$$A_1 = \ln(1 - \frac{0,039}{0,119}) = -0,401;$$

$$A_2 = \ln(1 - \frac{0,781}{0,119}) = -1,025;$$

$$T = \frac{4 - 2,5}{-0,401 - (-1,025)} = 2,40 \text{ с};$$

$$\tau = -0,401 \cdot 2,4 + 2,5 = 1,54 \text{ с}.$$

Тогда, передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{0,119}{(2,40P + 1)} e^{-1,54\tau} \quad (12)$$

На рисунке 14 представлен вид структурной схемы системы регулирования [39].

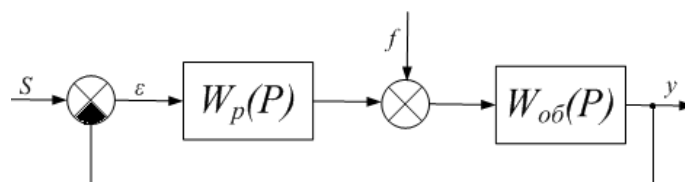


Рисунок 14 – Структурная схема системы регулирования

Расчет данной системы регулирования ведется при степени устойчивости $\psi=0,75$.

Определим значение степени колебательности по формуле:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \ln(1 - \psi) . \quad (13)$$

$$m = -\frac{1}{2 \cdot 3,14} \ln(1 - 0,75) = 0,211 .$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается выражением 12. Тогда, произведя подстановку $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$, получим выражение для РАФЧХ объекта регулирования.

$$W_{об}(m, i \cdot \omega) = \frac{0,119 \cdot e^{-1,54 \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega)}}{(2,40 \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1)} ; \quad (14)$$

Из данного выражения определить расширенные частотные характеристики объекта регулирования.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\text{Re}_{об}(m, \omega) = \text{Re}(W_{об}(m, i\omega)) \quad (15)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\text{Im}_{об}(m, \omega) = \text{Im}(W_{об}(m, i\omega)) \quad (16)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ)

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{об}^2(m, \omega) + \text{Im}_{об}^2(m, \omega)} \quad (17)$$

При известной величине $m=0,221$, зададим диапазон частот для расчета от $\omega=0,001 \text{ с}^{-1}$ до $\omega=2 \text{ с}^{-1}$, с шагом по частоте $\Delta\omega=0,1 \text{ с}^{-1}$. Результаты расчётов представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{ c}^{-1}$	$\text{Re}_{o\delta}(m, \omega)$	$\text{Im}_{o\delta}(m, \omega)$	$A_{o\delta}(m, \omega)$
0.001	0.560	-0.002	0.560
0.100	0.546	-0.232	0.593
0.199	0.413	-0.423	0.591
0.298	0.222	-0.515	0.561
0.397	0.042	-0.516	0.518
0.496	-0.098	-0.463	0.474
0.595	-0.196	-0.386	0.433
0.694	-0.258	-0.303	0.398
0.793	-0.295	-0.222	0.369
0.892	-0.312	-0.146	0.344
0.991	-0.314	-0.077	0.324
1.090	-0.306	-0.016	0.306
1.189	-0.289	0.038	0.292
1.288	-0.266	0.085	0.279
1.387	-0.238	0.126	0.269
1.486	-0.206	0.159	0.26
1.585	-0.171	0.186	0.252
1.684	-0.134	0.206	0.246
1.783	-0.095	0.220	0.24
1.882	-0.057	0.228	0.235
1.981	-0.019	0.230	0.231

Параметры настройки регулятора рассчитываются по формулам:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)}; \quad (18)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{o\delta}(m, \omega) + \text{Re}_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)}; \quad (19)$$

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

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот $0,001 \dots 2 \text{ с}^{-1}$, с шагом по частоте в $0,1 \text{ с}^{-1}$. Полученные значения представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Результаты расчета ПИ-регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.001	-1.783	0.00000738
0.100	-1.406	0.069
0.199	-0.915	0.253
0.298	-0.345	0.511
0.397	0.270	0.801
0.496	0.896	1.075
0.595	1.499	1.285
0.694	2.052	1.391
0.793	2.528	1.356
0.892	2.904	1.154
0.991	3.165	0.768
1.09	3.298	0.194
1.189	3.299	-0.561
1.288	3.167	-1.478
1.387	2.905	-2.527
1.486	2.523	-3.669
1.585	2.035	-4.855
1.684	1.457	-6.034

Продолжение таблицы 28

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
1.783	0.810	-7.149
1.882	0.114	-8.143
1.981	-0.607	-8.960

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 15. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

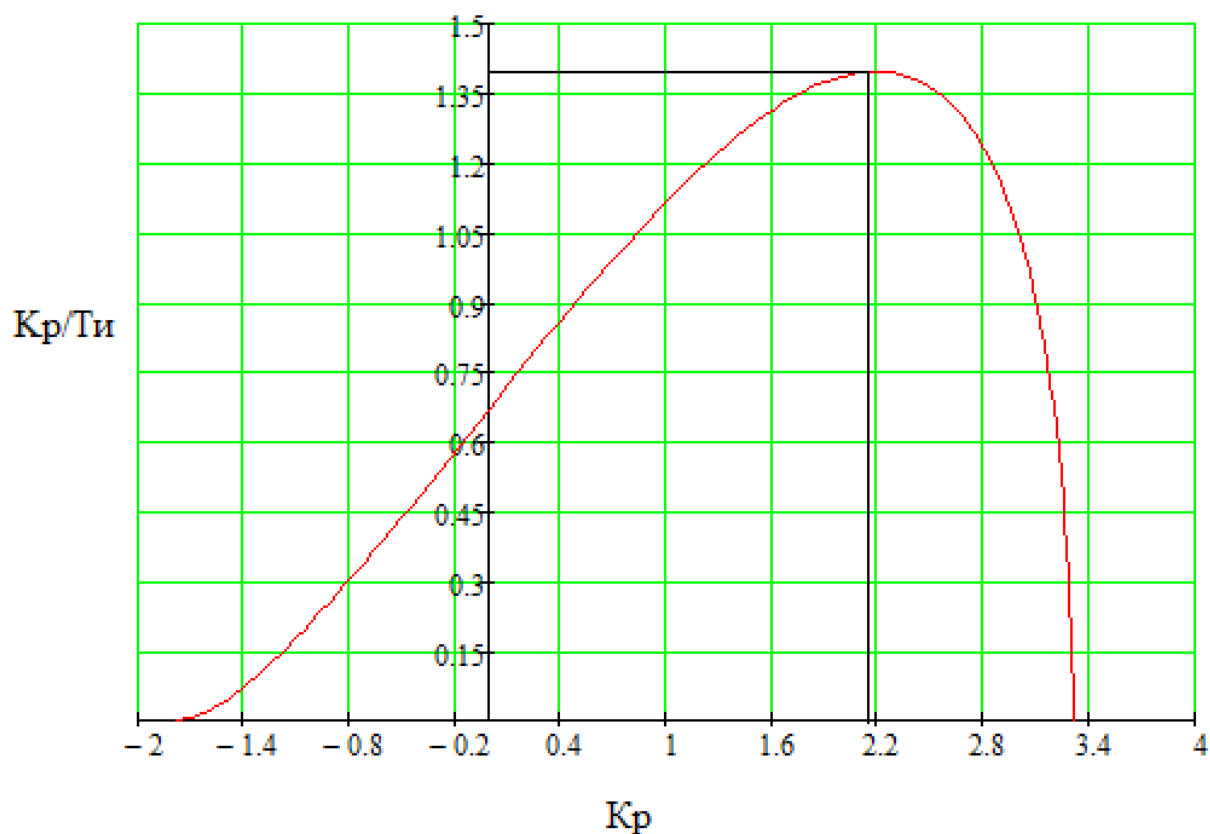


Рисунок 15 – Параметры настройки ПИ-регулятора

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением соотношения K_p/T_u на линии заданного запаса устойчивости.

Из таблицы 28 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_u} \right) = 1,3911, \quad K_p = 2,052, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,694 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p / T_u}; \quad (20)$$

$$T_u = \frac{2,052}{1,391} = 1,475 \text{ с.}$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (21)$$

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

Переходный процесс идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 16 представлен график вещественной частотной характеристики [40].

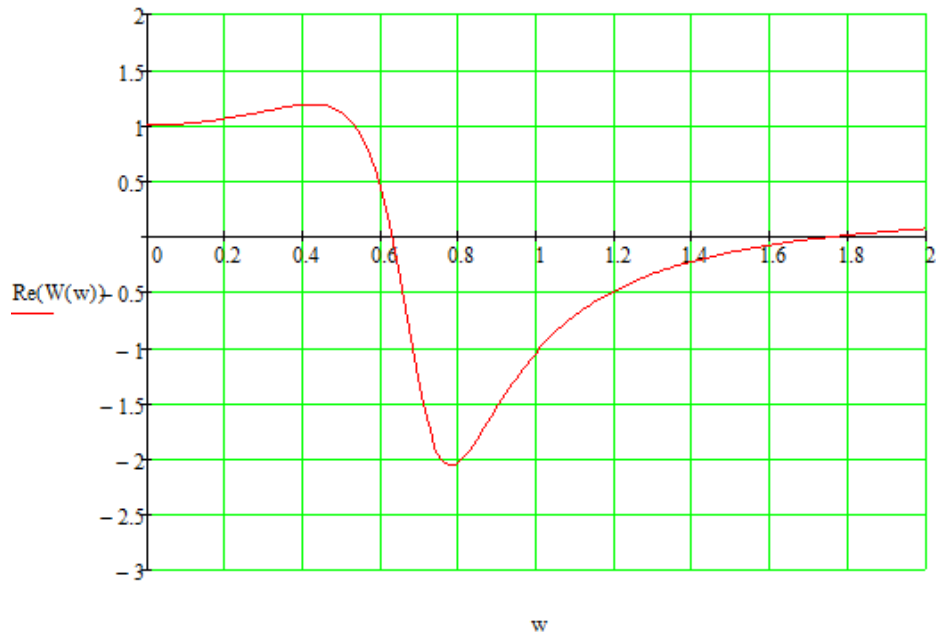


Рисунок 16 – Графическое представление вещественно частотной характеристики системы

При нулевых начальных условиях и единичном ступенчатом воздействии связь между переходной характеристикой и ВЧХ системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}_{S-Y}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (22)$$

где t – время переходного процесса в замкнутой АСР.

Для упрощения расчета интеграла $y(t)$, в качестве верхнего предела принимают не бесконечность, а значение частоты среза ω_{CP} , т. е. частоту, при которой график ВЧХ стремится к 0. Из графика, приведенному на рисунке 5, можно определить эту частоту, $\omega_{\text{CP}} = 2 \text{ с}^{-1}$.

Тогда переходный процесс в замкнутой АСР по каналу S-Y можно рассчитать по формуле:

$$y_{S-Y}(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^2 \frac{\text{Re}_{S-Y}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (23)$$

На рисунке 6 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса

была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

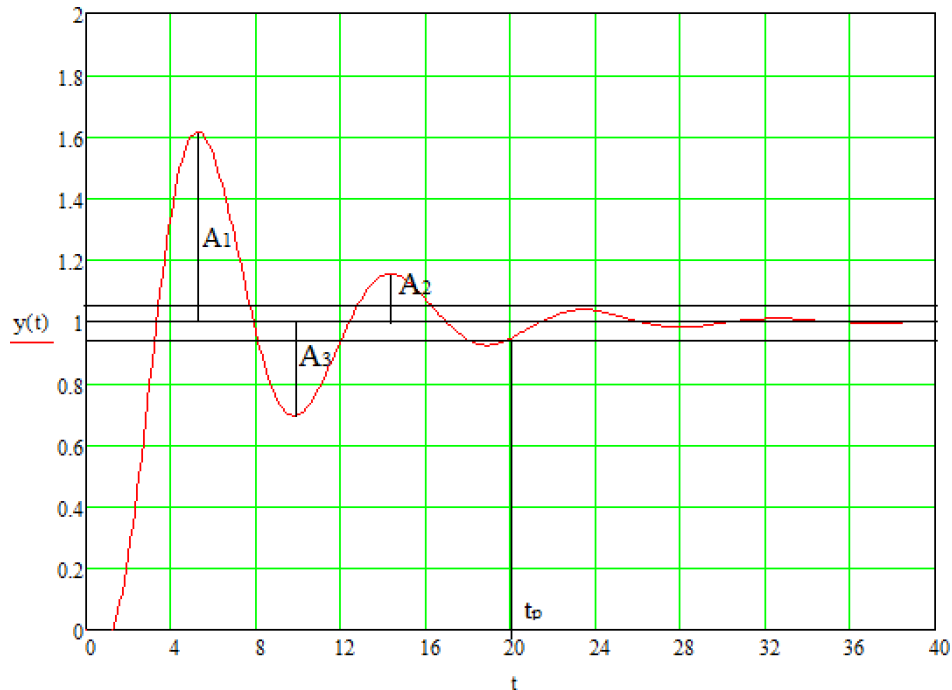


Рисунок 17 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

а) Максимальная динамическая ошибка: $A_1 = 0,614;$

б) Перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,306}{0,614} \cdot 100\% = 49\%$,

где $A_3 = 0,306$ - первое минимальное отклонение регулируемой величины;

г) Степень затухания переходного процесса: $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,154}{0,614} = 0,75;$

где $A_2 = 0,154$ - второй максимальный выброс регулируемой величины;

д) Статическая ошибка: $\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 0;$

е) Время регулирования: $t_p = 20,1$ с.

Заключение

В рамках выполнения магистерской диссертации была разработана автоматизированная система управления установкой для газификации твердого низкосортного топлива. Разработанная система позволяет автоматизировать процесс газификации, снизить риски возникновения чрезвычайной ситуации, снизить количество вредных выбросов в атмосферу, повысить качество переработки твердого топлива и сократить площади, отведенные для хранения отработанного и низкосортного топлива.

Полученные результаты научных изысканий могут быть использованы для масштабирования и создания серийного газогенераторного комплекса, позволяющего газифицировать топлива для промышленности и социальных нужд. По результатам научных изысканий был сформулирован ряд практических рекомендаций по реализации предложенного подхода в газификации топлива.

Спроектированная система состоит из трех уровней. Полевой уровень представляет собой датчики измерения температур, давления, расхода, а также комплект запорной арматуры и исполнительных механизмов. На среднем уровне располагается щит контроля и управления АСУ, в составе которого находится программируемый логический контроллер, верхний уровень представляет собой АРМ оператора.

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

Пояснительная записка к проекту содержит подробное описание экспериментального стенда, результатов выполненных экспериментальных исследований, основного оборудования, приборов и технических средств автоматизации, а также подробную методику выбора последних.

Кроме того, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в котором рассчитана общая сумма затрат на реализацию проекта (3,303 млн. руб.), а рассчитанная эффективность проекта составила 858 тыс. рублей, что говорит об эффективности реализации данного технического проекта.

Список использованных источников

1. Бекаев Л.С. Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию / Л.С. Бекаев, О.В. Марченко, С.П. Пинегин и др. Новосибирск: Наука, 2017. 300 с;
2. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки / И.И. Перелетов, Л.А. Бровкин, И.Ю. Розенгарт и др.; под ред. А.Д. Ключникова. М.: Энергоатомиздат, 2014. 336 с;
3. Гасик М.И. Теория и технология производства ферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. М.: Металлургия, 2018. 784 с;
4. Материалы Всероссийского научно-технического семинара «Новые технологии сжигания твердого топлива: их текущее состояние и использование в будущем» Доклад об опытно-промышленной установке мощностью 200 МВт для газификации и сжигания твердого топлива в шлаковом расплаве представлен группой специалистов из ОАО «НИИЭПЭ», ОАО «Ростовэнерго», НПО «Алгон», института «Гинцветмет», ТКЗ «Красный котельщик», ЮгОРГРЭС, РоТЭП, Несветай ГРЭС;
5. Тарасов В.А. Газификация твердых видов топлива с применением электронагрева / В.А. Тарасов, В.Г. Ковалев, В.И. Лоскутов // Вестник Чувашского университета. 2017. № 2. С. 170-178;
6. Технология получения и переработки синтез-газа / П.Е. Матковский, И.В. Седов, В.И. Савченко // Газохимия – 2016. – N4. – С. 77-84.
7. Быков А.В., Винаров А.Ю., Шестобитов В.В. Расчет процессов микробиологических производств. - К.: Техника, 2018. – 245 с.
8. Васильев И. П. Экологически чистые направления получения и использования топлив растительного происхождения в двигателях внутреннего сгорания // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2015. - №1. – с. 19-25
9. Панченко А. В. Биотопливо как альтернативный источник энергии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2017. №6. С. 14-18.

10. Установка для получения синтез-газа. Виды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru> свободный. – Загл. с экрана.
11. Газоанализатор. БОНЭР Тест-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://boner.ru> свободный. – Загл. с экрана.
12. Тепловизор testo 885-2. Комплект. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://testo.ru> свободный. – Загл. с экрана.
13. Волошенко А.В., Медведев В.В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 120 с.
14. Разработка электрических схем автоматизации при проектировании автоматизированных систем управления: Метод. указания к практическим занятиям по курсовому проектированию для студентов / Лаврищев И.Б., Кириков А.Ю. – Курск: Изд-во КТУ, 2015. – 51 с.
15. Ультразвуковой уровнемер EAX-711H. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/ultrazvukovie-datchiki-urovnya свободный. – Загл. с экрана.
16. Микроволновый расходомер SolidFlow. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rusautomation.ru/rashodomer-solidflow> свободный. – Загл. с экрана.
17. Вихревой расходомер Метран–300ПР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com> свободный. – Загл. с экрана.
18. Элемер. Каталог продукции 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elemer.sapfir.ru/> свободный. – Загл. с экрана
19. Многокомпонентный газоанализатор Монолит L [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ooo-monitoring.ru> свободный. – Загл. с экрана.
20. Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products.aspx> - вкладка продукция.

21. Преобразователи измерительные разделительные–491,461. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/et/et-400/et-491/tehnicheskie-dannye.aspx> свободный. – Загл. с экрана.

22. Устройства защиты дискретных каналов ввода/вывода от помех BZ-24DC, BZ2-24DC, BZ3-24DC, BZ16-24DC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/bz/bz-24dc/tehnicheskie-dannye.aspx> свободный. – Загл. с экрана.

23. МЭО-250/25-0,25-Т Механизм электроисполнительный однооборотный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/59.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

24. МЭМ-100/63-10(У,Р,М)-02К Механизм электроисполнительный многооборотный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://piek.ru/docs/files/Techop_mem100.pdf свободный. – Загл. с экрана.

25. Блок управления БУЭР 1-30, БУЭР1-30М, БУЭР 3-30, БУЭР3-30М. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elkont.ru> свободный. – Загл. с экрана.

26. Источники питания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/ef.aspx> свободный. – Загл. с экрана.

27. Диодный модуль. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/ef/ef-r-24dc-24dc/order-info.aspx> свободный. – Загл. с экрана.

28. Клапан Danfoss VF3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://products.danfoss.ru> свободный. – Загл. с экрана.

29. Задвижки шиберные. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://armatek.ru/katalog/zadvizhki_shibernye свободный. – Загл. с экрана.

30. Электродвигатели для конвейеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ugolmash.ru> свободный. – Загл. с экрана.

31. Преобразователи частоты серии ESD-TCL. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/esd-tcl/advantages.aspx> свободный. – Загл. с экрана.

32. EverGreen–LI. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.evergreenlaser.com> свободный. – Загл. с экрана.
33. Моноблок HP Pavilion 27-r118ur, 4HF62EA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.HP.com> свободный. – Загл. с экрана.
34. Ключев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
35. ГОСТ 34.201-89. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 13 с.
36. Портал КИП и Автоматика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kipexpert.ru/component/content/article/110-proektirovanie/398-shema-vneshnih-provodok.html/> свободный. – Загл. с экрана.
37. Каталог продукции ООО «Калининградгазавтоматика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kga.ru/catalog/product/shchity-i-pulty-avtomatiki> свободный. – Загл. с экрана.
38. Федосов Б.Т. Идентификация объекта управления. Примеры моделей технических объектов управления. Учебное пособие. – Рудный: Изд-во РИУ, 2017. – 42 с.
39. Ключев А.С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 150 с.
40. Лысенко Э.В. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами. Справочное пособие. – М.: Радио и связь, 2013. – 22 с.
41. Киприянов Ф.А. Исследование работы газогенератора / Ф.А. Киприянов // Современные научные исследования и инновации. 2016. №1 (57). С. 146 -152.

42. Плотников С. А. Создание новых альтернативных топлив // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – № S10. – С. 26–30. – URL: <http://e-koncept.ru/2014/14621.htm> (дата обращения: 14.04.2019).
43. Промышленные газогенераторы. Установки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cat.com> свободный. – Загл. с экрана.
44. Черенков, В. И. Об истории развитии концепции и техники SWOT-анализа / В. И. Черенков // Маркетинг и маркетинговые исследования. - 2017. № 6. – С. 435.
45. Обзор индустрии мировой газификации / А. Ф. Рыжко, В. Е. Силин // Энергетика за рубежом: приложение к журналу «Электрические станции». – 2017–№3–4.–С.13–202
46. Джесси Рассел, Рональд Кон. Диаграмма Ганта . Пособие для студентов, обучающихся на иностранном языке. – Москва.: Санкт-Петербург, 2012 – 201с.
47. Пинто Д.К. Управление проектами. Изд.: Питер, Санкт-Петербург 2004 – 142с.
48. Попов Ю.И., Яковенко О.В., Управление проектами. – Москва.: "ИНФРАМ" – 2015, 208 стр.
49. Касьянова Г.Ю. Амортизация основных средств. Бухгалтерская и налоговая. – Москва.: Отдельное издание, 2017. – 431с.
50. Касьянова Г.Ю. Заработная плата: практическое руководство для бухгалтера. – Москва.: Отдельное издание, 2014. – 280с.
51. А.Н. Асаул, М.К. Старовойтов, Р.А. Фалтинский Управление затратами в строительстве. – СПб: ИПЭВ, 2009. – 392с.
52. Соколов А.Ю. Управленческий учет накладных расходов. – Москва.: Издательство Финансы и статистика, 2017.– 141с.
53. Колтынюк Б.А. Инвестиционные проекты: Учебник. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2011. – 422 с.
54. Липсиц И.В., Коссов В.В. Инвестиционный проект. – М.: БЕК, 2006.

55. Шарп У.Ф., Александер Г.Д., Бэйли Д.В. Инвестиции. – М.: Инфра-М, 1998.
56. Баглай М. В. Конституционное право Российской федерации. – Москва.: НОРМА-ИНФРА. М, 2009.
57. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. М.: Стандартиформ, 2015. – 27 с.
58. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 30.12. 2001 № 197-ФЗ //Российская газета. – 2001. – №. 256.
59. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. М.: Стандартиформ, 2015. – 18 с.
60. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Стандартиформ, 2011. – 21 с.
61. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. М.: Стандартиформ, 2014. – 15 с.
62. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение. М.: Стандартиформ, 2010. – 12 с.
63. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. М.: Стандартиформ, 2016. – 16 с.
64. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. М.: Стандартиформ, 1982. – 45 с.
65. ГОСТ 30331.4-95 (МЭК 364-4-42-80) Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий. М.: Стандартиформ, 1994. – 41 с.
66. ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. М.: Стандартиформ, 2014. – 37 с.

67. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с.

68. Д.А. Кривошеин. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др.; Под. Ред. Л.А. Муравья. – М. ЮНИТИ-ДАНА, 2016. – 447 с.

69. Правила устройства электроустановок. Минэнерго Российской Федерации от 08.07.2002 г., 6-е издание – Энергоатомиздат, 2002. – 640с.

70. ГОСТ Р 22.0.01-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. М.: Стандартиформ, 2016. – 39 с.

71. ГОСТ Р 22.3.03-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. М.: Стандартиформ, 2007. – 43 с.

Приложение А – Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

Таблица 40 – Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

Поз.	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а	Ультразвуковой уровнемер, диапазон измерений 0,1 ... 20 м, выходной сигнал 4...20 мА, класс точности 1. «РусАвтоматизация», г. Челябинск	ЕАХ-711 Н	1
2а, 6а, 14а	Механизм электроисполнительный многооборотный с номинальным значением момента на выходном валу 100 Н·м, номинальное значение времени полного хода 63 с, номинальное значение полного хода 10 об, в составе с реостатным блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 2012. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭМ-100/63-10Р-(У,Р,М)-0,2л	3
2д, 6д, 14д	Частотный преобразователь ESD-TCL, мощность управляемого ЭД 3,1 ... 18,5 кВт, напряжение питания 380 В, интерфейс USB, ОАО «ЭлеСи», г. Томск	ESD-TCL	3
3а, 4а, 10а, 12а, 15а, 16а	Механизм электроисполнительный однооборотный, в составе с реостатным блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 2015. В составе МЭО 3 датчика положения, реостатных (3а, 10а, 15а). ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭО-250/25-0,25-Р-99	3
4д, 12д, 16д	Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления 24 ± 6 В, климатическое исполнение УХЛ 4.2. ЗАО «Волмаг», г. Чебоксары.	БЧЭР1-30-02	3
5а, 8а	Микроволновый расходомер, диапазон измерений 2 ... 75 л/с, выходной сигнал 4...20 мА, рабочая температура -30 ... +200°C, класс точности 0,5. «РусАвтоматизация», г. Челябинск	SolidFlow GX	2
7а, 11а	Вихревой расходомер, диапазон измерений 1 ... 200 л/с, выходной сигнал 4...20 мА, рабочая температура -20 ... +90°C, класс точности 1. «Emerson», г. Челябинск	Метран 300РР	2
		ФЮРА.421000.003 С01	
Выполнил	Ахметшин М.Р.	Спецификация приборов и средств автоматизации	Стад
Проверил	Медведев В.В.		Лист
			Листов
			ТРП
			1
			2
			ТПУ ИШЭ
			НОЦ И.Н. Бутакова
			Группа 5БМ74

<i>Поз.</i>	<i>Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации</i>	<i>Тип и марка прибора</i>	<i>Кол</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
9а, 20а	Термопреобразователь сопротивления, погружаемый, НСХ 50М, диапазон показаний -50 ... +800°C, монтажная длина 250 мм, класс точности 1. НПП «Элемер», г. Зеленоград	Элемер 0304/МЗ – МВ	2
13а, 19а	Датчик-газоанализатор многоканальный, диапазон измерений 0...20 % об.д выходной сигнал 4...20 мА., класс точности 1. «Синтек», г. Саров	Монолит L	2
17а	Источник света, номинальная мощность 10 кВт., напряжение питания 220 В, светимость $1,65 \cdot 10^{12}$. «EG-Сотрапу», г. Бостон, США	EverGreen-LI	1
ФЮРА.421000.003 С01			Лист
			2

Приложение Б

Обзор литературы на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Ахметшин Марк Рустамович		

Консультант школы отделения (НОЦ) школы: ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова :

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

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы: ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемисина Харрер И.А.	к.фил.н., доцент		

ANALYSIS OF SOLID FUEL GASIFICATION TECHNOLOGIES

With the depletion of oil and natural gas, the task of developing efficient technologies for integrated waste-free processing of low-grade solid fuels becomes urgent. The importance of the problem is evidenced by the fact that the Seventh Framework Program for Scientific and Technological Cooperation of the EU countries (FP7) has a special section on coal enrichment technology and energy production with zero emissions.

All technological processes are based on the use of energy and material resources. The need for energy carriers and raw materials is constantly increasing, getting them is more expensive, and environmental pollution takes a planetary scale. Therefore, the development of energy technology complexes (ETC) with the creation of low-waste and waste-free technologies and the rational use of secondary material resources are becoming increasingly important problems [1] and their solution requires inter-sectoral knowledge and approaches. For the development of energy technology complexes, it is necessary to analyze all the material and energy balances of the main and subsequent technological processes, determine the currently unused resources-intermediates, and consider the possibilities of their application.

The main source for replenishing the energy balance can be coal, and in some regions - oil shale, peat, biomass. Moreover, technologies are needed to obtain from these types of energy not only thermal and electrical energy, but also intermediate synthetic hydrocarbon liquid and gaseous energy carriers.

Traditionally, solid fuel power supply is tied to warehouses and transport. In the European part of Russia, in the Urals and the Far East, transport costs exceed the cost of mining Kuznetsk coal by 1.5-2.5 times, and Kansk-Achinsky - by 5.5-7.0 times. Gaseous and liquid fuels allow you to automate their use in boilers. The processing of solid fuels into gaseous and liquid technologies used for more than two centuries for the needs of lighting, energy and chemistry at the new stage of development can be in demand to create a fundamentally new basis for using resources and minimizing the anthropogenic impact on the environment. Taking

into account the possible effects of gasification of solid energy carriers, the use of generator gases in gas turbine and gas piston technologies, it is interesting to consider the possibility of creating energy-technological complexes for the deep processing of solid types of carbon-containing raw materials.

Environmentally friendly processes of transformation of solid fuels into electrical and thermal energy solve the problem of integrated development of raw materials, a significant reduction of waste and harmful emissions into the atmosphere. In this regard, it is necessary to study the technologies of gasification of solid fuels, the main characteristics of gas generating plants and generating gases using different types of raw materials, the choice of the most efficient technologies, the development of principles for the design of equipment for gasification of low-grade solid fuels.

Currently, the main fuel for boilers and heat power station is natural gas, which is an environmentally friendly and cheap energy carrier. To improve the reliability of boilers and CHP and ensure the smooth operation of sources of thermal energy, backup fuel is necessary.

For natural gas-fired boilers, fuel oil is currently used as a backup fuel, which is much more expensive than other types of fuel. The cost of 1 ton of fuel for fuel oil is 3.5-4 times higher than for natural gas. The cost of 1 ton of equivalent fuel when using coal is almost 2 times lower than for fuel oil. When burning fuel oil, a large amount of sulfur oxides and other harmful substances are released into the atmosphere. Direct application for obtaining thermal energy of low-grade solid fuel (brown coal, peat, wood waste) is difficult because of its high moisture content, non-combustible impurities, low calorific value and the formation of large amounts of ash. For the most promising gas-turbine, gas-turbine and gas-piston cogeneration plants currently in need, gaseous fuel is needed, which can be obtained by gasification of solid fuels. Gasification allows you to efficiently use significant reserves of low-grade solid fuel and expand its scope for any heating and power plants, as well as for the production of synthesis gas for the chemical industry.

There are two methods for thermal processing of solid fuels to produce combustible gas: allothermic - with heat input from the outside and autothermal - with obtaining thermal energy in the gasification process due to the combustion of part of the fuel. Currently, the generators of the autothermal gasification method are the most constructively developed and widely used, in which the thermal energy required for carrying out reactions is obtained in the process of burning part of the original fuel inside the gas generator, while up to 40% of the fuel is spent on maintaining the process temperature, therefore the efficiency of gasification of brown coal does not exceed 50-60% [2]. The main disadvantages of such technologies are the relatively low energy efficiency of the generating gas due to the high content of nitrogen and carbon dioxide in it, which is a restriction for the transportation of the generating gas over long distances.

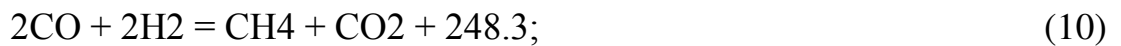
Allothermal gas generators with an external energy supply, necessary for the process of heating the fuel and gasification, are currently in the experimental stage. In allothermic gasification processes, the thermal energy necessary for gasification is obtained not by oxidizing a part of the fuel, but by converting other types of energy into thermal energy. Heat generation and gasification can be separated. In this case, the heat for the gasification process is supplied either through the heat transfer wall inside the single gas generating volume, or with the aid of an autonomously heated heat carrier, which is introduced into the medium to be gasified. Both autothermal and allothermic gasification processes can take place in a dense, suspended and “fluidized” layer, as well as in an aerosol stream or a bath of molten slag.

Chemical reactions of thermochemical processing of solid fuels in autothermal gas generators proceed with the release and absorption of thermal energy, MJ / kmol.





The thermal energy required for gasification processes is obtained by oxidizing a part of the solid fuel. The composition of the generator gas depends on the type of blast: using air, air gas containing up to 34% of carbon dioxide and more than 65% of nitrogen is obtained, enrichment of the blast with oxygen increases the content of carbon dioxide, while blowing steam in the generating gas, hydrogen appears. Air vapor, oxygen vapor and water gases can be obtained. Gasification can be carried out at atmospheric or elevated pressure. At elevated pressure, methane formation reactions proceed:



The efficiency of thermochemical processing of solid fuels into gaseous is characterized by a gasification coefficient of η_g , which is the fraction of the heat of combustion of a gasified fuel converted to the heat of combustion of the produced gas:

$$\eta_r = \frac{Q_r}{Q_t} \cdot 100,$$

where Q_g is the heat of combustion of gases, Q_t is the heat of combustion of solid fuel.

The total energy efficiency of gasification is determined by the thermal efficiency of the installation, η_r , which takes into account the costs of obtaining steam, oxygen and electrical energy for organizing the supply of solid fuels and ensuring the work of the fans and other auxiliary equipment.

$$\eta_r = \frac{Q_r}{Q_r + Q_{\text{tex}}} \cdot 100,$$

where Q_{tech} - consumption of energy supplied to the technology.

However, these figures do not take into account the efficiency of the generating gas in the subsequent processing, during transportation and incineration. Nitrogen, carbon dioxide, water vapor reduce the heat of combustion of the generator gas and reduce the potential of its energy use.

When carbon is gasified with air oxygen, the theoretical value of the gasification coefficient is $\eta_r = 70\%$, the yield of an ideal air gas for gasification of 1 kg of carbon is $5.38 \text{ m}^3 / \text{kg}$, the gas contains 34.7% carbon monoxide and 65.3% nitrogen. With oxygen blowing it is theoretically possible to obtain a gas consisting only of carbon monoxide. The coefficient of gasification does not increase. When using oxygen for gasification to determine the thermal efficiency of the installation η_t , it is necessary to take into account the power consumption for oxygen production. With a specific consumption of electricity for obtaining oxygen in air separation plants of $0.77 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^3$, the consumption of electricity for obtaining oxygen for gasification of 1 kg of carbon according to reaction (2) will be $0.537 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{kg}$. The thermal efficiency of the installation, η^T , even for an ideal process, will be 0.641.

In actual gasification processes, the composition of the air generator gas differs from the ideal one due to the content of carbon dioxide and impurities. From a thermodynamic analysis of gasification reactions, it follows that the reactions (1, 2, 6) that take place in the gasifier with the release of heat, reduce the energy potential of the gasification products and the efficiency of air gasification, respectively. With the development of endothermic reactions (3, 4, 5), the energy potential of the gasification products increases and, with a vapor-air or vapor-oxygen blast, the gasification coefficient in an ideal process reaches 100%, in fact, the gasification rates are much lower due to the need to heat the components to the onset temperature of intensive gasification and various losses. In an ideal vapor process, you can get a gas containing 41% carbon monoxide, 20.9% hydrogen and 38.1% nitrogen. With a vapor-oxygen blast, theoretically, a gas containing 65.5% carbon monoxide and 33.5% hydrogen can be obtained. Ideal water gas contains

50% carbon monoxide and 50% hydrogen, the gasification coefficient is theoretically 100%, however, the heat energy required for carrying out the process is more than 9.85 MJ (2.736 kWh) per 1 kg of gasified carbon.

Another important indicator of the produced generator gas is the specific volume energy, which in general includes the heat of combustion of the gas and physical heat, which can be used when burning the hot gas leaving the gas generator. This parameter is determined by the composition of the generating gas and depends on the method of its production. Even in ideal processes, the heat of combustion of air gas is 4.37 MJ/m³, steam-air gas is 7.4 MJ/m³. In actual practice, the heat of combustion of the generator gases is even lower. This is a restriction for transporting generator gas over long distances.

On an industrial scale, the method of gasification of fuel under high pressure has become widespread. A feature of gasification under pressure is the occurrence, along with gasification reactions (1-7), of methane formation reactions (8-11), which increase the methane content in the producer gas to 15-20%, because of which the heat of combustion of the generator gas noticeably increases and reaches 17-17, 5 MJ/m³. At the same time, the specific generator capacity for gasified fuel increases to 1500–2000 kg/(m² · h). Since methane reactions (8–11) occur with heat release and with a decrease in the number of moles in the system, the total energy potential of the gasification products decreases, the gasification coefficient does not increase, but decreases by 10–15%.

To obtain a high-calorific gas without the cost of carbon of the gasified fuel for heating the gasified mixture to a high temperature, allothermic processes are used. Thermal energy for the gasification process can be supplied by various methods, for example, by heating the coolant in a nuclear reactor. The heat carrier in the process can be helium.

It is possible to gasify fuel dust using low-temperature plasma, which makes it possible to produce gas from coal with a high content of carbon monoxide and hydrogen and a low content of carbon dioxide, methane and nitrogen. In low-temperature, electric plasma gasification occurs at a temperature of 3000-3500 °C.

At the same time, the influence of the heat source on the composition of the produced gas is excluded, the intensity of the process increases significantly. Water vapor in this process is used as a plasma-forming gas, which eliminates the blasting of the final gas with inert nitrogen.

When gasified in a fluidized bed by a vapor-oxygen process, a gas with a specific heat of combustion of $9820 \text{ kJ} / \text{m}^3$, containing 38% carbon monoxide, 40% of hydrogen and 2% of methane, is produced; containing 56% carbon monoxide, 30% hydrogen and 1% methane. When gasified using nuclear reactors, it is possible to produce gas with a specific heat of combustion of $18,700 \text{ kJ} / \text{m}^3$, containing 4% carbon monoxide, 63% hydrogen and 32% methane. Gasification of pulverized fuels in plasma produces a gas with a specific heat of combustion of $7,200 \text{ kJ} / \text{m}^3$, containing 1.5% carbon monoxide, 64.6% hydrogen.

From a comparison of the composition of gases produced in autothermal and allothermic processes, it can be seen that the vapor-oxygen process makes it possible to obtain a high-calorific generator gas with a lower content of non-combustible impurities as compared to air and vapor-air gases. Allothermic technologies also allow to obtain high-calorific generating gas.

The autothermal technology of gasification of solid fuels in the slag melt in bubbling aggregates (the Vanyukov furnace) and the ROMELT process are based on metallurgical melting processes in a liquid bath. In experimental studies at the pilot plant ROMELT, a gas with a calorific value of $10,900 \text{ kJ} / \text{Nm}^3$ containing 77% carbon monoxide CO was produced; 14% hydrogen H_2 ; 2.4% water vapor H_2O ; 4% carbon dioxide CO_2 and 2.6% nitrogen N_2 [4]. The technology of coal gasification in an oxygen blast slag melt allows the use of any low-grade coals, enables the useful use of the mineral part of the fuel with the recovery and removal of ferrous and non-ferrous metals from the melt and the production of building materials from slag, allows slag up to 90% of sulfur sulfur. The disadvantages of technology based on melting in a liquid bath are:

1) the need to use oxygen derived from atmospheric air with high energy costs, the thermal efficiency of the installation η_t does not exceed 0.64;

2) the limitations of the stable technological regimes of the autothermal process;

3) the complexity of launching the installation;

4) the complexity of managing the gasification process when changing the properties of raw materials.

The advantages of gasification in the slag melt and the elimination of the disadvantages of the autothermal smelting process in a liquid bath allow the electrothermal technologies of processing solid fuels into gaseous, which use thermal energy from the conversion of electromagnetic energy for endothermic processes of pyrolysis and gasification. Electrothermal gasifiers of solid fuels currently do not exist, however, in metallurgical coal recovery technologies for the production of cast iron and ferroalloys in ore-reduction electric furnaces, carbon gasification actually occurs, since oxides of recoverable elements give oxygen to carbonaceous reducing agent with formation of carbon monoxide [3]:



Endothermic reduction reactions occur due to the thermal energy obtained during the conversion of electrical energy, the energy potential of the solid carbonaceous reducing agent passes into the energy potential of the exhaust gases. When using electric heating based on reduction reactions (12) and (13), there is a fundamental possibility of creating gas generators based on non-oxidative, but reducing reactions, which will allow producing generating gas with high energy parameters when using any carbon-containing raw materials, to reduce the content of nitrogen oxides and sulfur in gas to bind heavy metals in the slag melt. When the working mass of the fuel enters the electroslag gasifier, materials are heated, moisture evaporates and volatiles are released from the organic mass of solid fuels. High temperature and the presence of water vapor in the reaction zone contribute to the gasification of carbon, which is part of the combustible mass, with the formation of a mixture of carbon monoxide and hydrogen. The ashes of the oxides of iron and silicon are reduced by carbon according to the reactions (12, 13).

Unlike autothermal gasifiers, thermal energy for carrying out gasification processes is obtained not due to the oxidation of a part of the fuel, but due to the conversion of electric energy into thermal energy [5-7].

During the gasification of solid fuels, gas generators undergo processes of moisture removal, pyrogenic decomposition of fuels with the release of pyrolysis gas and resinous substances and the formation of a solid residue consisting of semi-coke and ash. When the carbon of the solid reacts with oxygen and water vapor, hydrogen, oxide and carbon dioxide are formed. In the general case, a mixture of carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen, water vapor, as well as hydrocarbons (methane, ethylene, propylene) and other components that make up the pyrolysis gas leaves the gas generator. In an electrothermal installation, gasification occurs at a temperature (1000-1500 K). At this temperature and atmospheric pressure, of all the components of the pyrolysis gas, methane is the most stable, the rest are decomposed into hydrogen, carbon monoxide and carbon dioxide. An analysis of the equilibrium constants for the reactions of the interaction of oxygen with solid carbon showed that at temperatures of 1000–1500 K, the equilibrium in reactions (1) and (2) is strongly biased towards the formation of carbon oxide and carbon dioxide and the equilibrium oxygen pressure is very small. In this regard, the main components obtained by electrothermal gasification of the generator gas will be carbon monoxide and dioxide, hydrogen, water vapor and methane.

The equilibrium partial pressures of carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen, water vapor and methane in the presence of solid carbon can be determined by solving a system of equations derived from the equilibrium constants of reactions (7), (4), (3) and (8), as well as the conditions of equality of the sum of the partial pressures of the components of the mixture to the total pressure p_0 :

$$K_1 = \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2}}, \quad K_2 = \frac{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2}^2}{p_{\text{H}_2\text{O}}^2}, \quad K_3 = \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad K_4 = \frac{p_{\text{CH}_4}}{p_{\text{H}_2}^2},$$

$$p_{\text{CO}} + p_{\text{CO}_2} + p_{\text{H}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}} + p_{\text{CH}_4} = p_0.$$

Mathematical modeling of the equilibrium state of a mixture of carbon monoxide, carbon dioxide, hydrogen, water vapor and methane in the presence of solid carbon at different temperatures showed that the equilibrium composition of the generating gas depends on the gasification temperature and the ratio of the content of hydrogen and carbon H / C in the initial components. At low temperatures (up to 800 K), the equilibrium content of carbon monoxide and hydrogen is insignificant, the gas consists almost of water vapor and carbon dioxide. Figure 1 shows that at a temperature of 800-1100 K the content of hydrogen and carbon monoxide increases dramatically and the content of water vapor and carbon dioxide decreases. At temperatures above 1100 K, the generating gas consists essentially of their hydrogen and carbon monoxide. At higher temperatures, the equilibrium composition of the generator gas remains almost unchanged, the equilibrium content of water vapor and carbon dioxide is very small. The ratio of hydrogen to carbon monoxide is significantly affected by the ratio of the content of hydrogen and carbon H / C in the starting components. All carbon comes from the gasified raw materials, hydrogen can come from both the combustible mass of the raw material and from water vapor, which is formed from the moisture of the raw material and can be supplied additionally. When the H / C ratio is low, at high temperature the equilibrium content of carbon monoxide is significantly higher than the hydrogen content, as the H / C ratio increases, the equilibrium hydrogen content increases, the carbon monoxide content decreases, the lower heat value of the generator gas decreases slightly.

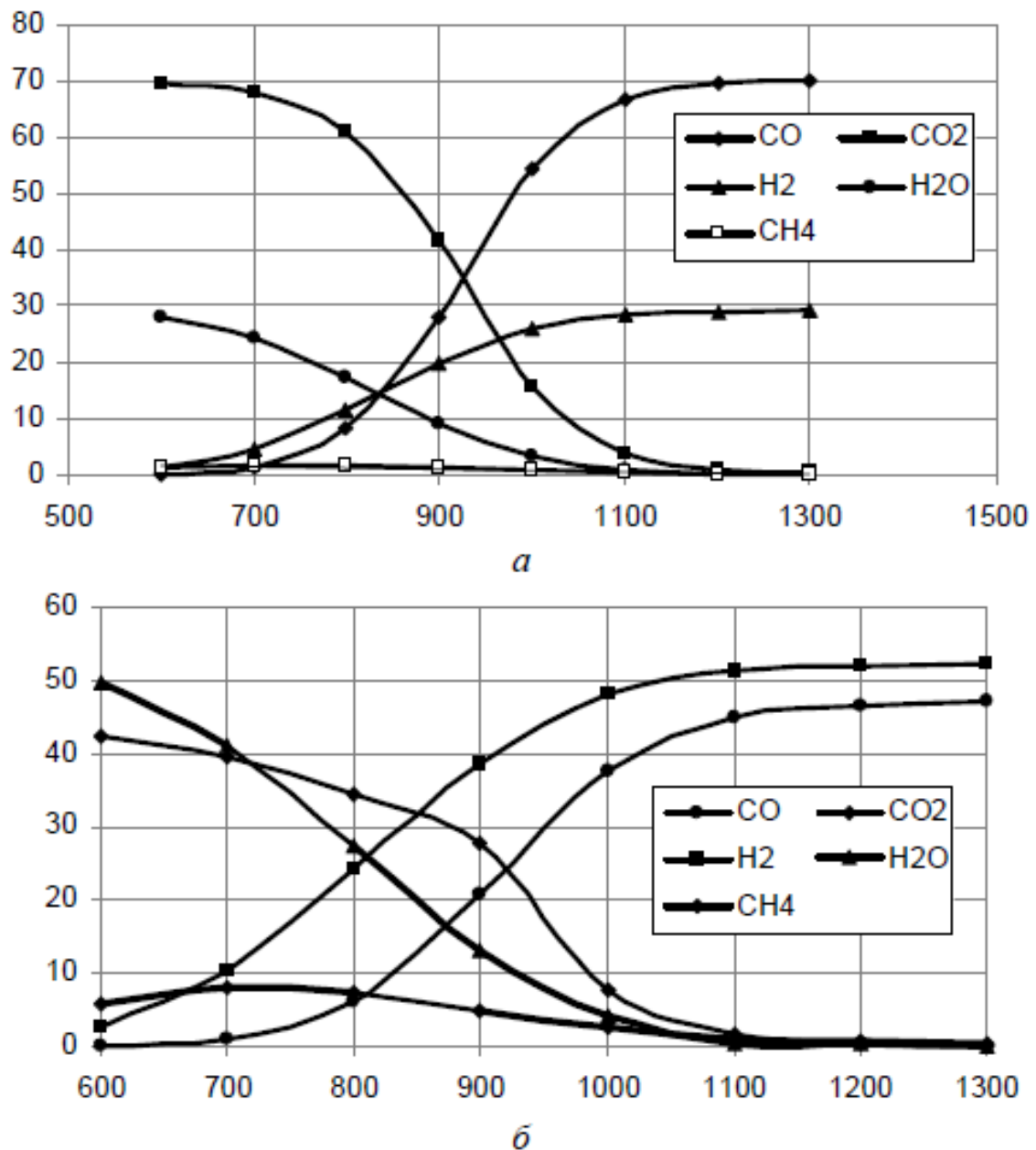


Figure 19 - Dependence of the equilibrium composition of the generating gas on the gasification temperature (% by volume) without using (a) and with full use (b) of brown coal moisture

Equilibrium calculations in a system containing carbon monoxide and carbon dioxide, hydrogen and water vapor showed that when the temperature changes from 300 K to 1300 K, the composition of the mixture by the reaction of water gas (7) changes slightly, therefore, when the generator gas is cooled, its composition will not change.

The energy balance of the ESG process depends on the composition of the electrical and thermal characteristics of the installation and its modes, the

composition of the gasified fuel and slag-forming materials supplied to the working space.

Estimated calculations of the energy balance of electroslag gasification were made for the Kansk-Achinsk brown coal of the Nazarovsky deposit. Working mass of fuel (%): moisture $W_r = 39$; ash $A_r = 7.3$; sulfur $S_{op} + S_k = 0.4$; carbon $C_r = 37.6$; hydrogen $H_r = 2.6$; nitrogen $N_r = 0.6$; oxygen $O_r = 12.7$. The lowest calorific value of coal $Q_p = 13020 \text{ kJ / kg}$.

Calculations showed that if gasification of all carbon of the coke residue with water vapor occurs through an endothermic reaction (4) only due to electricity, the energy consumption for gasification of 1 t of Brown coal, excluding thermal and electrical losses, is 4,600 MJ, 5580 MJ.

The energy potential of processed products of 1 ton is 16,280 MJ. The ratio of the energy potential of the processed products to the necessary energy costs is $16,280 / 4600 = 3.53$. The ratio of the energy potential of refined products to energy costs, taking into account heat and electrical losses, is $16280/5580 = 2.92$.

Electricity consumption can be significantly reduced if part of the carbon is gasified with oxygen through an exothermic reaction (2). At the same time, heat release may partially or fully compensate for the energy consumption per reaction (4). If 135 mol of carbon according to reaction (4) simultaneously reacts by 1 mol of carbon reacting according to reaction (2), then the total thermal effect of reactions (2) and (4) will be equal to zero. In this case, electric power will be spent only on evaporation of moisture, heating and pyrolysis of the charge components, in this case the energy cost of gasification of 1 ton of brown coal, excluding thermal and electrical losses, will be $1,783 \text{ MJ} = 495 \text{ kWh}$.

The energy potential of the processing products of 1 ton in this mode will be $14510 \text{ MJ} = 4030 \text{ kW h}$. The ratio of the energy potential of refined products to the necessary energy costs is $14510/1783 = 8.14$. Taking into account the consumption of electricity for oxygen production in air separation plants $76 \text{ kWh} = 274 \text{ MJ}$, the necessary electricity consumption will be $571 \text{ kWh} = 2036 \text{ MJ}$. The

ratio of the energy potential of the processed products to the necessary energy costs, taking into account the cost of obtaining oxygen, will be $14510/2056 = 7.06$.

When all the carbon of the coke residue is gasified with oxygen by the reaction (2), the release of thermal energy will be $2850 \text{ MJ} = 791 \text{ kWh}$, which exceeds the energy consumption for the evaporation of moisture, heating and pyrolysis of the charge components. The energy potential of the processed products of 1 ton in this mode will be $11660 \text{ MJ} = 3230 \text{ kW h}$. Therefore, when operating in this mode, the electric power will be only spent on compensating for the heat loss of the installation and the production of oxygen. Electricity consumption for oxygen production is not more than $150 \text{ kW} \cdot \text{h} = 540 \text{ MJ}$. The ratio of the energy potential of the processed products to the necessary energy costs, taking into account the cost of obtaining oxygen, will be $11660/540 = 21.6$.

The energy technology complex for gasification of solid fuels, production of ferroalloys and slag processing based on slag reduction reactions has an analogue in the form of closed ore-reducing electric furnaces for the production of iron and ferroalloys. Electroslag gasification technology has significant advantages over autothermal gasification technologies in a liquid bath:

- 1) increased stability and controllability of the process compared to autothermal fusion;
- 2) ease of start and stop;
- 3) a wide range of stable modes of operation with any properties of the raw materials;
- 4) the possibility of using electroslag gasification installations for daily and seasonal regulation of the consumption of electrical energy.

An additional product of production is a metal alloy, which increases the energy and economic efficiency of the technology and is an important product for the metallurgical and chemical production, expanding the possibilities of utilizing and processing slag into marketable products.

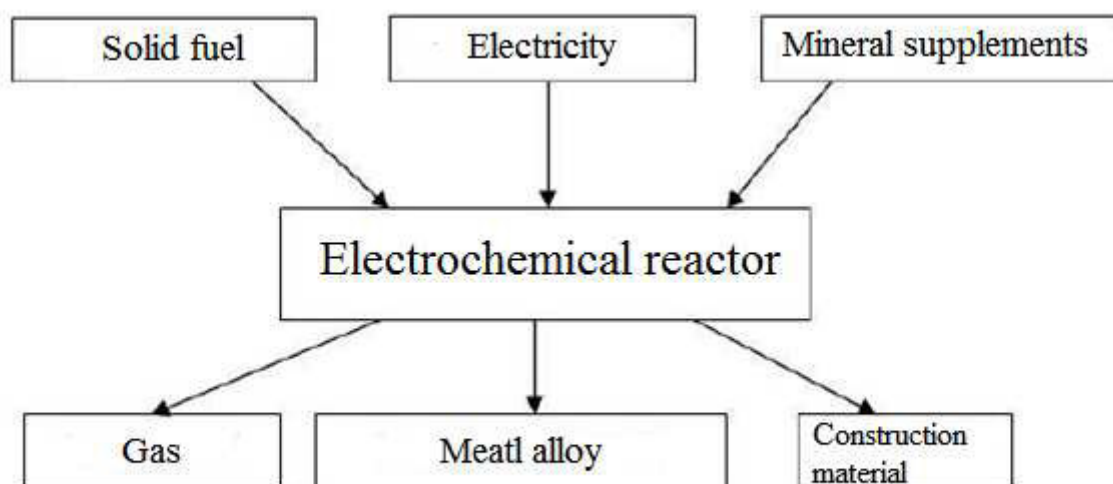


Figure 20 - Scheme of integrated processing of low-grade solid fuel

In energy technology complexes, waste gases should be considered as a chemical intermediate. When burning the reaction gas, carbon dioxide and water vapor are formed. Carbon dioxide can be extracted from the products of combustion and used to produce commercial carbon dioxide. For the production of marketable carbon dioxide in industrial installations, natural gas is burned, while the carbon dioxide content in the products of complete combustion of natural gas does not exceed 11%. 34.7% of carbon dioxide is contained in the products of combustion of carbon monoxide, carbon dioxide can be 24% in the products of combustion of the reaction gas, which facilitates the production of carbon dioxide from the products of combustion. In the energy technology complex, it is possible to combine the production of electrical, thermal energy, pig iron or ferroalloys and commercial carbon dioxide into a single technological cycle, while significantly reducing carbon dioxide emissions into the atmosphere and increasing production efficiency.

Carbon dioxide can be used in industry as a protective during arc welding, for filling fire extinguisher cylinders; in foundries as a hardener for casting molds and cores; in the contour diagrams of power plants as a heat and energy carrier. In the food industry, carbon dioxide can be successfully used for long-term storage of

vegetables, fruits and berries, silage, as well as meat, fish, eggs and other food products. Carbon dioxide is used to obtain extracts from plant and animal raw materials. Simple, fast, safe freezing when using liquid carbon dioxide with cooling to -100°C can be used in industry, medicine, when working in emergency conditions or installing equipment.

Thus, there is an opportunity to increase the depth of fuel processing by creating energy technology complexes. The energy technology complex has a main function, according to its performance and other parameters of which equipment and auxiliary functions are selected, aimed at obtaining additional types of products. This should provide deep processing of raw materials based on the use of semi-products of the main technological process and obtaining additional products. The best are technologies that ensure the full use of all energy and material resources.

Among numerous technologies of gasification of solid fuels, autothermal technologies now dominate, in which the gasification coefficients of industrial plants are much lower than theoretically possible.

Allothermal gasification technologies for solid fuels make it possible to obtain gasification ratios with high quality synthesis gas that are not lower than those obtained with autothermal technologies.

The technology of coal gasification in an oxygen blast slag melt makes it possible to use the mineral part of the fuel with the reduction and removal of ferrous and non-ferrous metals from the melt and to reduce harmful emissions.

Electrochemical technology of gasification in an electrothermal installation while retaining all the positive features of autothermal gasification in slag melt has additional advantages due to increased stability and controllability of the process for any type of raw material, increased range of performance control, ease of start and stop, the possibility of using cheap electric energy of night minima and operation as a consumer regulator.

References

1. Bekaev L.S. World energy and the transition to sustainable development / L.S. Bekaev, O.V. Marchenko, S.P. Pinegin et al. Novosibirsk: Science, 2000. 300 p.
2. High-temperature thermotechnological processes and installations / I.I. Pereletov, L.A. Brovkin, I.Yu. Rosengart et al. ; by ed. HELL. Klyuchnikov. M. : Energoatomizdat, 1989. 336 p.
3. Gasik M.I. Theory and technology of production of ferroalloys / M.I. Gasik, N.P. Lyakishev, B.I. Emlyn M. : Metallurgy, 1988. 784 p.
4. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Seminar “New Technologies for Combustion of Solid Fuel: Their Current State and Future Use”
A report on a pilot industrial plant with a capacity of 200 MW for gasification and combustion of solid fuel in slag melt was presented by a group of specialists from JSC NIIPE Rostovenergo OJSC, NPO Algon, Institute of Gintsvetmet, Krasny Kotelshchik Specialized Works, YugORGRES, RoTEP, Nesvetay GRES.
5. Pat. 2117217 Russian Federation, MPK7 C 10 47/16. Method for processing solid household and industrial wastes / Kovalev VG, Loskutov VI, Petelin Yu.Yu. and etc.; applicant and patent holder Chuvash State. un-t No. 96110932; declare 05/30/1996; publ. 08/10/1998. Bul No. 2
6. Tarasov V.A. Opportunities to improve the energy efficiency of ore recovery processes through the use of the energy potential of charge materials / V.A. Tarasov // Bulletin of the Chuvash University. 2006. No. 2. P. 278-284.
7. Tarasov V.A. Gasification of solid fuels using electric heating / V.A. Tarasov, V.G. Kovalev, V.I. Rags // Bulletin of the Chuvash University. 2007. No. 2. P. 170-178.