

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

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АСУ ТП газификации отходов углеобогащения

УДК 004.896:662.66.022.51-032.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Белоногов Максим Владимирович		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код	Результат обучения
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>	
P1	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при предварительном анализе, проектировании, синтезе, ресурсоэффективной эксплуатации автоматизированных и автоматических систем управления теплоэнергетическими процессами, а также систем теплотехнических измерений и регистрации
P2	Разрабатывать комплекты проектной, конструкторской и эксплуатационной документации для сложных систем теплотехнических измерений и управления
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>	
P3	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
P4	Применять и совершенствовать фундаментальные и прикладные знания по современным динамично изменяющимся теплоэнергетическим технологиям, принципам, методам и системам их управления для прорывных научно-исследовательских работ
P5	Применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>	
P6	Проводить теоретические и экспериментальные научные исследования термодинамических и физико-химических процессов в теплоэнергетике, а также систем их контроля и управления, интерпретировать, давать практические рекомендации по внедрению результатов исследований в производство, критически их интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>	
P7	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
<i>педагогическая деятельность:</i>	
P8	Осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки
<i>Универсальные компетенции</i>	
P9	Мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации
P10	Использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться
P11	Использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере



	-обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,75
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Экспериментальные исследования. 2. Проектирование АСУ процессом газификации. 3. Схема взаимосвязи оборудования верхнего, среднего и полевого уровней. 4. Разработка щита управления САУ газификации. 5. Расчет параметров настройки регулятора. 6. Видеокадр мнемосхемы АСУ. 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
<b>Перечень графического материала</b>	1 Схемы структурная. 2 Схема функциональная. 3 Схема принципиальная электрическая щита управления. 4 Схема монтажная. 5 Общий вид щита управления.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
1. Введение 2. Экспериментальные исследования	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.02.20
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Белоногов Максим Владимирович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 150 страниц, 27 рисунков, 68 таблиц, 63 источника.

Ключевые слова: газификация, отходы углеобогащения, автоматизированная система управления.

Объектом автоматизации является установка промышленной газификации «Prenflo».

Цель работы – разработка АСУ ТП газификации отходов углеобогащения.

В процессе выполнения работы проведены экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составлена структурная схема АСУ ТП газификации, разработаны функциональная, принципиальная электрическая, монтажная схемы и общий вид щита управления, выбраны приборы и технические средства автоматизации с последующим составлением заказной спецификации.

В результате исследования разработана автоматизированная система управления процессом газификации отходов углеобогащения.

Основным преимуществом разработанной АСУ ТП 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 своевременно среагировать на экстренную ситуацию в процессе эксплуатации системы и перевести технологический процесс в безопасный режим автоматически.

## Обозначения и сокращения

АСУ – автоматизированная система управления;

ВУТ – водоугольное топливо;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

Фильтр-кек – типичные отходы углепереработки;

ПК – персональный компьютер.

## Содержание

Введение.....	10
1 Экспериментальные исследования.....	12
1.1 Материалы и методы .....	12
1.2 Влияние влажности топливной смеси на состав продуктов газификации.....	17
1.3 Влияние концентрации кислорода в атмосфере камеры на протекание процесса газификации .....	19
1.4 Влияние интенсивности светового потока на протекание процесса газификации.....	22
1.5 Оценка погрешности измерений и их влияние на точность регулирования процесса газификации.....	24
1.6 Выводы по исследовательской работе.....	33
2 Проектирование АСУ ТП газификации.....	34
2.1 Анализ объекта автоматизации .....	34
2.2 Разработка структуры КТС АСУ.....	38
2.3 Проектирование функциональной схемы системы управления .....	44
2.4 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации.....	46
2.5 Оценка погрешности измерительных каналов .....	57
2.6 Проектирование принципиальной электрической схемы щита управления.....	58
2.7 Проектирование схемы внешних проводок .....	61
2.8 Проектирование сборочного чертежа щита управления .....	61
2.9 Проектирование мнемосхемы SCADA – системы .....	62

3	Расчет параметров настройки регулятора .....	64
3.1	Идентификация объекта управления .....	64
3.2	Расчет параметров настройки регулятора .....	67
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	74
4.1	Предпроектный анализ .....	74
4.2	Инициация проекта .....	89
4.3	Планирование управления научно-техническим проектом .....	91
4.4	Бюджет проекта.....	95
4.5	Реестр рисков проекта .....	103
4.6	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	104
4.7	Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	107
5	Социальная ответственность.....	110
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ....	110
5.2	Производственная безопасность .....	113
5.3	Экологическая безопасность.....	118
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	120
5.5	Заключение по разделу «Социальная ответственность» .....	123
	Заключение .....	124
	Список использованных источников .....	125
	Приложение А. Experimental research of the gasification of the waste derived coal .....	132
	Приложение Б. Заказная спецификация приборов и средств автоматизации.....	148

Графический материал:	на отдельных листах
ФЮРА.421000.004 С2	Схема функциональная
ФЮРА.421000.004 ЗС1 автоматизации	Спецификация технических средств
ФЮРА.421000.004 ЗС автоматизации	Заказная спецификация технических средств
ФЮРА.421000.004 С4	Схема внешних проводок
ФЮРА.421000.004 Э4	Схема принципиальная электрическая
ФЮРА.421000.004 ПЭ	Перечень элементов
ФЮРА.421000.004 СБ	Сборочный чертеж щита управления
ФЮРА.421000.004 СБС	Спецификация щита управления
ФЮРА.421000.004 ВО	Общий вид щита управления

## Введение

В настоящее время отходы углеобогащения и низкосортные ископаемые топлива становятся все более привлекательными энергетическими ресурсами из-за растущих цен на традиционные энергоносители [1-3]. С другой стороны, внедрение различных горючих биомасс в промышленный топливный цикл позволяет получить возобновляемые источники топлива растительного происхождения, чья экологичность существенно превосходит традиционные топлива [4, 5]. Приготовление топливных смесей различных типов (суспензии, эмульсии, брикетированные порошковые смеси) на основе низкосортных топлив и растительных масел позволяет получать топлива с достаточно высокой теплотворной способностью [6]. Однако, их промышленное использование требует детального исследования протекающих процессов и разработки оптимальных способов максимально эффективного извлечения тепловой энергии [7, 8].

Достаточно хорошие результаты наблюдаются при использовании ряда технологий газификации органических топлив [7-10] применительно к смесям, приготовленным из различных горючих биомасс. Нагрев выше температуры пиролиза позволяет превратить в смесь горючих газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и др.) практически любые смеси сложных органических соединений [12]. С другой стороны, газификация коксового остатка низкосортных твердых топлив (торфы, бурые угли и кек) позволяет производить синтез-газ с высоким содержанием  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  и предельных углеводородов (преимущественно метана). Организация совместной термохимической переработки таких топлив и растительных масел позволяет производить синтез-газ с высокой теплотворной способностью, а также с низким выходом золы [12, 13]. Варьирование соотношения компонентов топлива позволяет подстраивать химический состав исходной смеси под доступный режим нагрева в ходе газификации [14-16]. Конверсия отходов в синтез-газ с помощью

традиционных методик осложняется в силу их низкой теплотворной способности, т.е. для конверсии единицы массы топлива приходится сжигать сопоставимые или большие массы [17]. Такой подход, очевидно, не является эффективным и требуется разработка новых

Использование внешнего источника нагрева вместо сжигания части топлива позволяет повысить как общую производительность метода [18, 19] (за счет роста интенсивности теплового потока), так и увеличить управляемость протекания процесса за счет более гибкого управления внешним нагревом [20, 21].

В качестве удобного и потенциально бесплатного источника тепла имеет смысл использовать собираемый с больших площадей и фокусируемый на поверхности слоя топлива солнечный свет [22, 23]. Для исследования основных закономерностей аллотермической газификации отходов углеобогащения в работе используется сфокусированный световой поток от галогенной лампы.

Основной целью данного исследования является поиск оптимального состава топливной смеси для достижения наибольшей концентрации горючих компонентов синтез-газа, а также минимального содержания вредных примесей и негорючих компонентов. Отдельным вопросом стоит определение минимально необходимого уровня теплового входящего потока, позволяющего успешно конвертировать топливные смеси в синтез-газ. Полученные данные позволят определиться с диапазонами регулирования данных параметров в ходе автоматизации процесса газификации топливной смеси.

## 1 Экспериментальные исследования

### 1.1 Материалы и методы

В данной работе предлагается использовать сфокусированный световой поток для адресной доставки тепловой энергии к порции топлива, в результате чего достигаются условия, при которых происходит его газификация при атмосферном давлении. Одним из преимуществ данного метода в отличие от традиционных методик газификации является низкое содержание (или полное отсутствие)  $\text{CO}_2$  в составе синтез-газа и, соответственно, производство синтез-газа с высокой теплотворной способностью [5].

Для исследования особенностей аллотермической газификации отходов углеобогащения были подготовлены образцы топливной смеси на основе порошка фильтр-кека каменного угля марки Г, имеющего высокое содержание связанных летучих веществ и обладающего хорошей смачиваемостью водой. Результаты технического и элементного анализа фильтр-кека представлены в таблице 1. Топливную смесь приготавливали в виде суспензии, содержащей 50...100 % (мас.) порошка фильтр-кека и до 50 % (мас.) воды. Средний размер частиц кека был порядка 100 мкм.

Таблица 1 – Свойства кека

Характеристика	Значение
$A^d$ , %	33,82
$V^{daf}$ , %	43,11
$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг	22,16
$C^{daf}$ , %	75,12
$H^{daf}$ , %	4,638
$N^{daf}$ , %	0,02
$S_t^d$ , %	0,226
$O^{daf}$ , %	19,99
Массовая доля твердой части, %	47,0
$Q_{s,v}^a$ , МДж/кг	10,4

Принципиальная схема экспериментального стенда, использующего свет от некогерентных источников (Солнце или различные лампы) для поддержания процесса конверсии показана на рисунке 1.

Образец топлива помещается в специальную камеру, которая представляет собой медную емкость с внутренним объемом  $\sim 2 \text{ см}^3$  с тремя отверстиями. Окно во фронтальной поверхности камеры предназначено для введения пучка света, падающего на образец. Второе отверстие расположено в верхней части камеры и предназначено для отвода пробы газа из камеры к газоанализатору. Через третье отверстие происходит подсос воздуха из комнаты за счет тяги насоса газоанализатора. Газоанализатор «Бонер» Тест-1 позволяет проводить измерения концентраций основных продуктов разложения и окисления органического топлива, таких как  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , а также измерять содержание в газовой смеси кислорода, оксидов серы и азота.

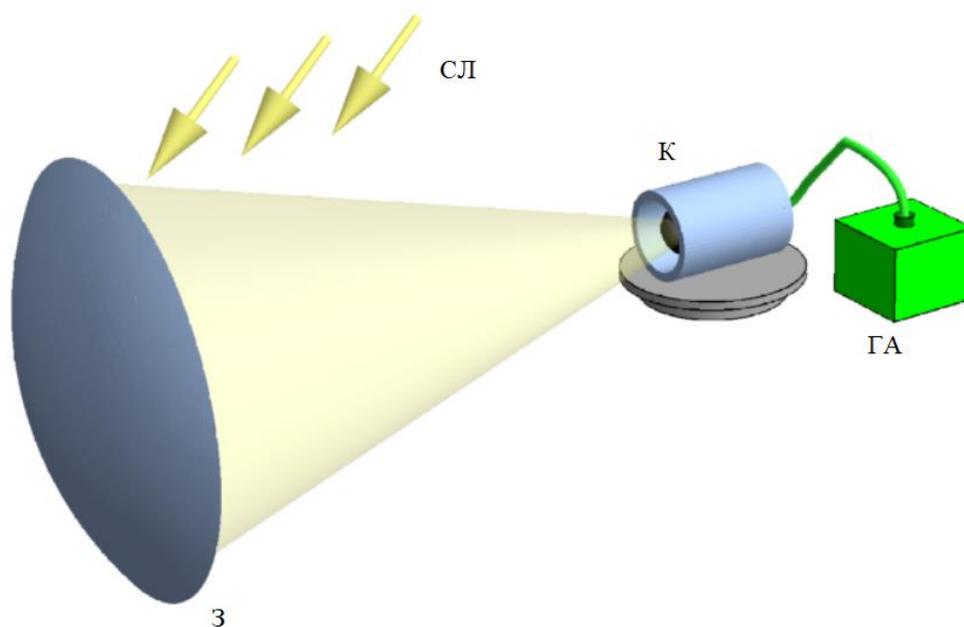


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

На схеме показаны газоанализатор (ГА), фокусирующее зеркало (З), поток света от источника (СЛ), камера (К)

В ходе первой серии экспериментов были определены температуры поверхности топлива, достигаемые в ходе нагрева сфокусированным световым пучком. Для этого с окна камеры снималось стекло, а температура топлива контролировалась с помощью тепловизора Testo 885-2, который смотрел на образец под близким к нормали углом. Показания тепловизора предварительно проверялись с помощью малоинерционных термопар, что позволило определить коэффициент серости ( $\epsilon$ ) для используемого топлива. Максимальная корреляция показаний тепловизора и термоэлектрических измерений температуры достигалась  $\epsilon \sim 0,82$ . Далее, варьируя интенсивность светового потока, измерялась величина установившегося значения температуры после 60 секунд радиационного нагрева. Результаты измерений представлены на рисунке 2.

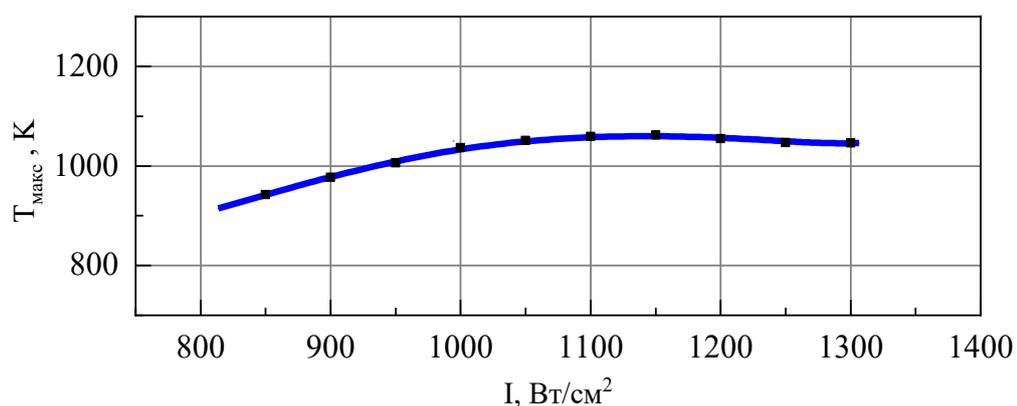


Рисунок 2 – Зависимость температуры на освещенной поверхности топлива от интенсивности светового потока

Как видно из рисунка, температура растет с интенсивностью светового потока, однако после 1100 Вт/см<sup>2</sup> зависимость выходит на постоянное значение ( $T$  изменяется в пределах 1050...1100 К). Таким образом, можно заключить, что при интенсивностях порядка 800 Вт/см<sup>2</sup> достигаются температуры достаточные для запуска процессов пиролиза и газификации углей. Рост интенсивности нагрева свыше 1100 Вт/см<sup>2</sup> не имеет особого

смысла, т.к. рост потерь за счет теплового излучения приводит к остановке роста температуры образца.

Исследование состава продуктов конверсии топливной смеси производилось при закрытом стеклом оптическом окне камеры. Включение светового потока приводило к быстрому росту концентраций оксидов углерода, серы и азота в атмосфере камеры. На рисунке 3 показаны типичные зависимости концентраций этих газов от времени нагрева, измеренные в ходе одного из экспериментов по газификации сухого фильтр-кека ( $I=800 \text{ Вт/см}^2$ ). Видно, что соотношение концентраций CO и CO<sub>2</sub> на пике их производства достигает порядка 1,2:1, однако, со временем это соотношение падает. Стоит отметить, что использование даже слабого воздушного дутья в зону реакции приводит к воспламенению топлива с массовым производством CO<sub>2</sub>. Также стоит отметить присутствие в составе синтез газа заметного количества CH<sub>4</sub>, который является полезным горючим газом с высокой теплотворной способностью. По-видимому, образование метана происходит при пиролизе высокомолекулярных летучих, присутствующих в составе фильтр-кека [21]. Малое количество H<sub>2</sub> говорит о практически полном отсутствии паровуглеродных реакций при газификации сухого фильтр кека.

Небольшие значения концентраций всех газов в данном эксперименте (максимальное значение у CO<sub>2</sub> – 3 % объема (об.)) обусловлены тем, что камера изначально заполнена воздухом, а генерация синтез-газа мала в силу малой мощности использованного источника света. Масштабирование производительности использованной установки может быть осуществлено использованием источника света большей мощности и его фокусировки в пятно соответственно большего размера (при сохранении требуемой интенсивности).

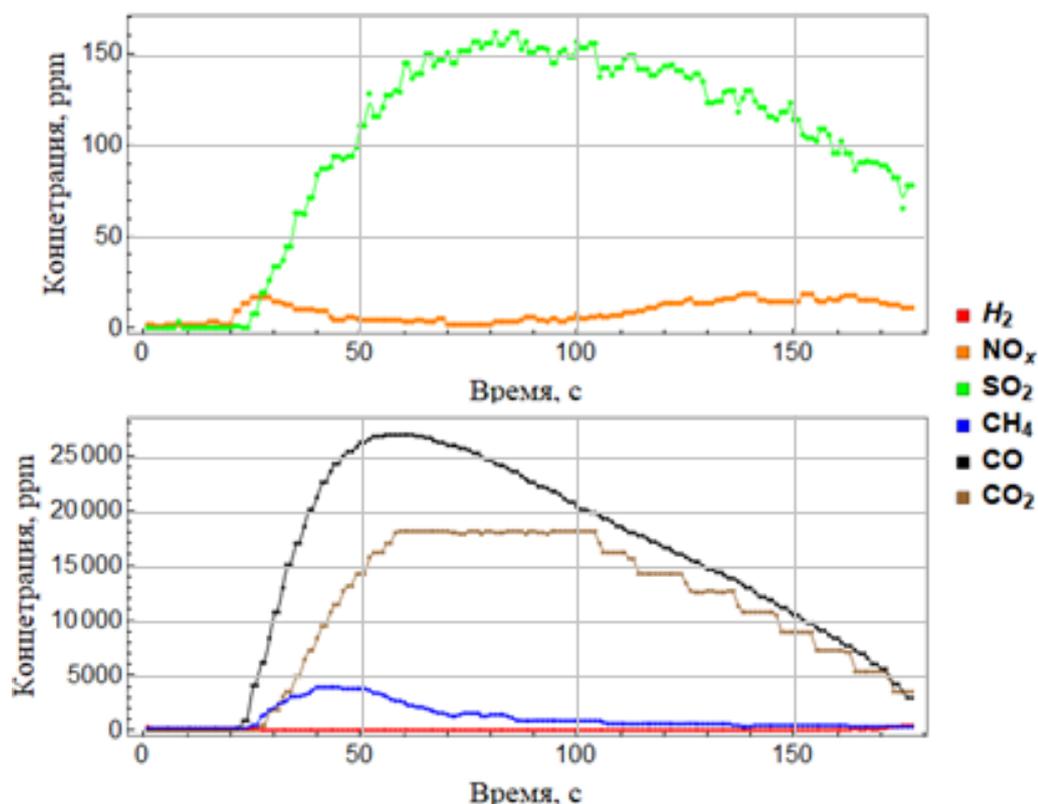


Рисунок 3 – Концентрации компонентов синтез-газа при газификации сухого порошка фильтр-кека

В дальнейшем, с целью выяснить влияние влажности топливной смеси на протекание ее газификации была произведена серия экспериментов с использованием смесей с различным содержанием воды. Влажность варьировалась в диапазоне 0...50 % массовой доли (масс.). Результаты газификации топливной суспензии, содержащей 50 % (масс.) воды представлены на рисунке 4. Видно, что при газификации влажного кека концентрация CO немного превосходит 2000 ppm при совсем небольшом всплеске производства  $CO_2$ . Интегральное соотношение масс CO и  $CO_2$  превосходит 70:1.

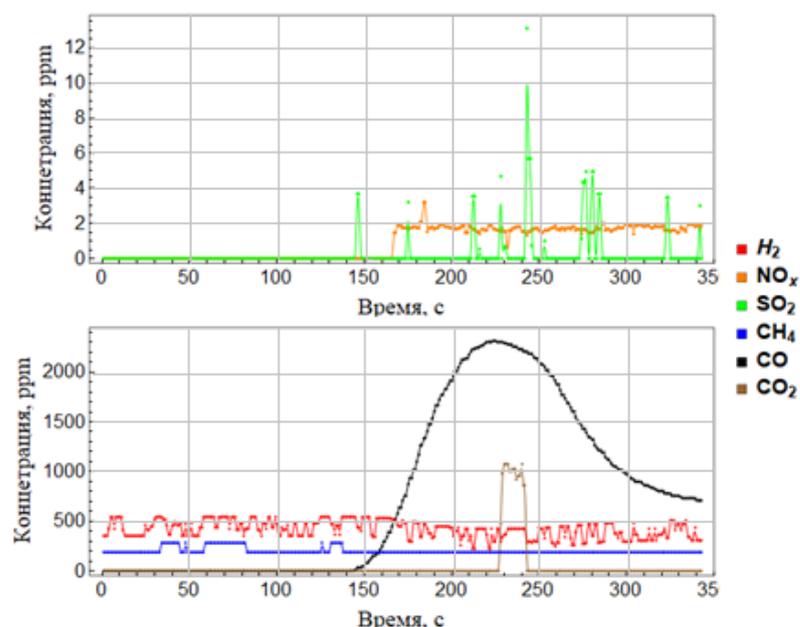


Рисунок 4 – Состав газа при использовании фильтр-кека при 40 % влажности

Концентрация  $\text{CO}$  при 50 % влажности немного превосходит 2000 ppm, что в несколько раз меньше, чем при использовании сухого кека. Стоит отметить, что при газификации отходов углеобогащения наблюдается в несколько раз меньший уровень производства сопутствующих вредных газов ( $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ ). Это происходит вследствие большей интенсивности процесса окисления при аллотермической конверсии и быстрому падению концентрации кислорода в приповерхностном слое воздуха. В дополнение к этому, выходящие из слоя топлива газы также существенно снижают содержание кислорода в приповерхностном слое, снижая скорость окисления.

## 1.2 Влияние влажности топливной смеси на состав продуктов газификации

Для исследования влияния влажности топлива на процесс газификации была проведена серия экспериментов с варьированием концентрации воды в образце топлива. Интенсивность светового потока была установлена на 900 Вт/см<sup>2</sup> регулировкой тока лампы. Температура на поверхности топливной

смеси достигала  $\sim 1000$  К. Для каждого состава топливной смеси была проведена серия из трех экспериментов. Зависимости подобные представленным на рисунках 3 и 4 интегрально усреднялись по всему времени процесса, а также по серии экспериментов. Зависимость усредненных концентраций компонентов синтез-газа от исходной влажности топливной смеси представлена на рисунке 5.

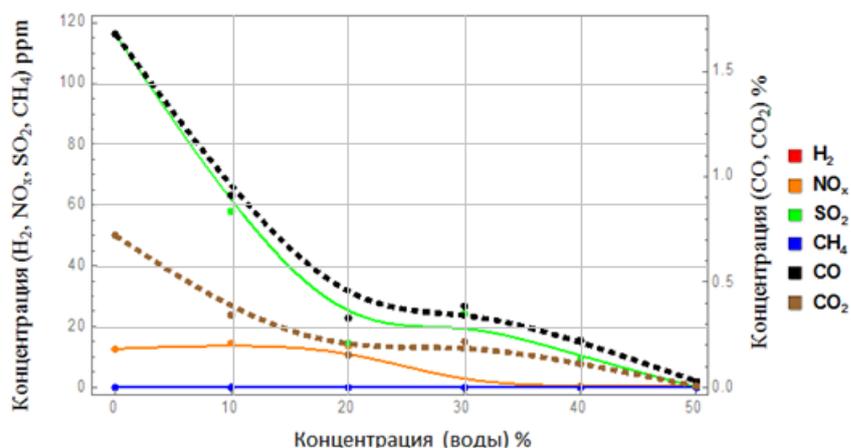


Рисунок 5 – Зависимость концентрации компонентов синтез-газа от влажности образца топлива

Из представленных зависимостей можно сделать вывод, что при увеличении концентрации воды снижается, интенсивность газогенерации в целом. Видно, что при влажности  $\sim 50$  %, показатели концентрации компонентов газов минимальны, также видно, что дальнейшее повышение концентрации воды нецелесообразно. Однако, с ростом влажности смеси растет соотношение концентраций CO и CO<sub>2</sub>. При влажности топливной смеси порядка 50 % производство CO<sub>2</sub> становится ничтожно малым. Это отражает влияние четырех факторов:

1. Испарение избыточной влаги приводит к снижению рабочих температур.
2. Включение паро-углеродных реакций, приводящих к восстановлению CO<sub>2</sub> до CO.

3. Вероятность возгорания топливной смеси заметно снижается уже при влажности более 20 % (мас.).

4. При влажностях топливной смеси порядка 30 % (мас.) производство вредных примесей резко падает.

В итоге, можно заключить, что добавление воды в топливную смесь является очень сильным фактором, позволяющим достаточно плавно регулировать протекание процесса газификации. Однако, рост влажности смеси приводит к быстрому снижению производства синтез-газа в целом, что накладывает существенные ограничения на регулирование процесса газификации через манипуляцию данным параметром.

### 1.3 Влияние концентрации кислорода в атмосфере камеры на протекание процесса газификации

Для оценки влияния концентрации окислителя на протекание процесса газификации отходов углеобогащения была проведена модификация экспериментального стенда. Концентрация кислорода модулировалась подачей азота в камеру, что позволяло снижать концентрацию окислителя в широком диапазоне. Интенсивность светового потока составляла порядка 900 Вт/см<sup>2</sup>. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 6. Уровень кислорода в камере перед началом процесса, а также в его ходе контролировался по показаниям газоанализатора. Были проведены две серии экспериментов, когда концентрация кислорода устанавливалась на уровне 10 % (об.) и когда кислород вытеснялся практически полностью. Очевидно, что в последнем случае газификация углерода могла протекать только за счет паро-углеродных реакций. Однако, из-за отсутствия теплового эффекта реакций окисления максимальные температуры в данном случае оказываются существенно меньшими, чем при работе в богатой кислородом атмосфере. Учитывая также, что паро-углеродные реакции являются эндотермическими,

то основным источником газогенерации в данном случае является процесс пиролиза летучих, которые присутствуют в составе топлива.

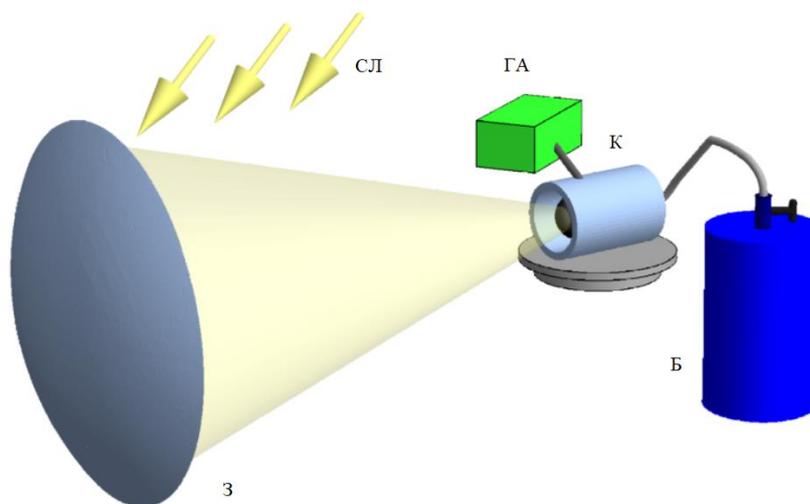


Рисунок 6 – Схема экспериментального стенда для исследования процессов разложения топлив в атмосфере азота

На схеме показаны газоанализатор (ГА), фокусирующее зеркало (З), поток светового излучения (СЛ), камера (К), баллон с азотом (Б)

Зависимость концентраций компонентов синтез-газа от исходной влажности топливной смеси для различных составов атмосферы представлена на рисунках 7 и 8. Из рисунка 7 видно, что в полностью бескислородной атмосфере интенсивность газогенерации снизилась приблизительно в 30 раз. При этом на зависимости наблюдается два максимума концентраций, соответствующих сухому топливу и смеси с влажностью в 30 % (об.). Первый максимум соответствует практически чистому пиролизу летучих компонентов фильтр-кека, второй обусловлен включением паро-углеродных реакций, т.к. с ростом влажности снижаются температуры на поверхности топлива и интенсивность протекания пиролиза должна падать. Дальнейший рост влажности смеси приводит к резкому снижению газогенерации из-за слишком большого падения температуры. Абсолютно доминирующими газами являются СО и оксиды азота (что не удивительно, т.к. атмосфера в камере состояла из него практически полностью).

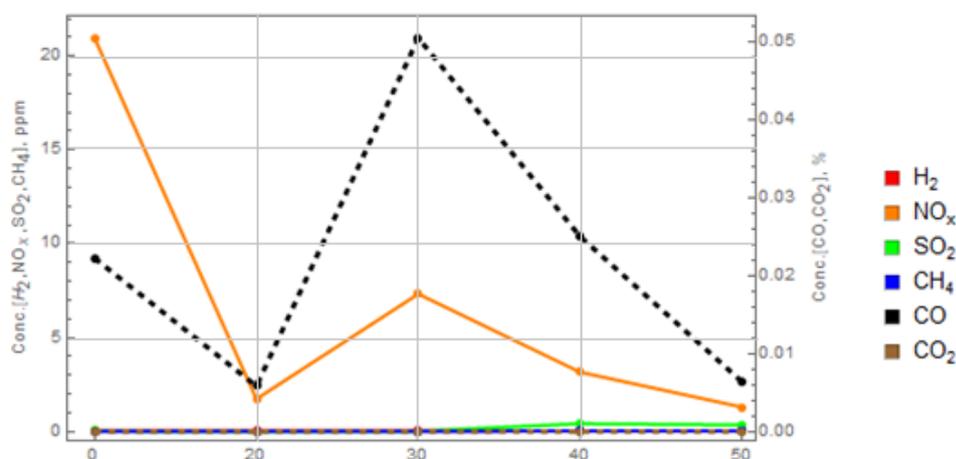


Рисунок 7 – Зависимость концентраций компонентов синтез-газа от влажности топлива в атмосфере азота

Применение атмосферы с пониженным до 10 % (об.) содержанием кислорода позволяет оценить соотношение процессов прямого окисления углерода, а также его производства за счет паро-углеродных реакций. Из рисунка 8 следует, что выход CO растет более, чем в полтора раза при одновременном задействовании прямого окисления и паро-углеродных реакций. При влажности топливной смеси порядка 40 % (мас.) наблюдается максимальное соотношение концентраций CO и CO<sub>2</sub>. При этом также наблюдается достаточно низкое производство диоксида серы.

Регулирование содержания окислителя в составе атмосферы реактора при газификации отходов углеобогащения позволяет достаточно сильно изменять соотношение компонентов синтез-газа. Однако, катастрофическое снижение общей интенсивности газогенерации не дает возможности считать данный параметр удобным средством регулирования процесса газификации углей и водо-угольных смесей. Снижение концентрации кислорода ниже уровня стандартной атмосферы не целесообразно при работе в рассмотренном диапазоне температур и давлений.

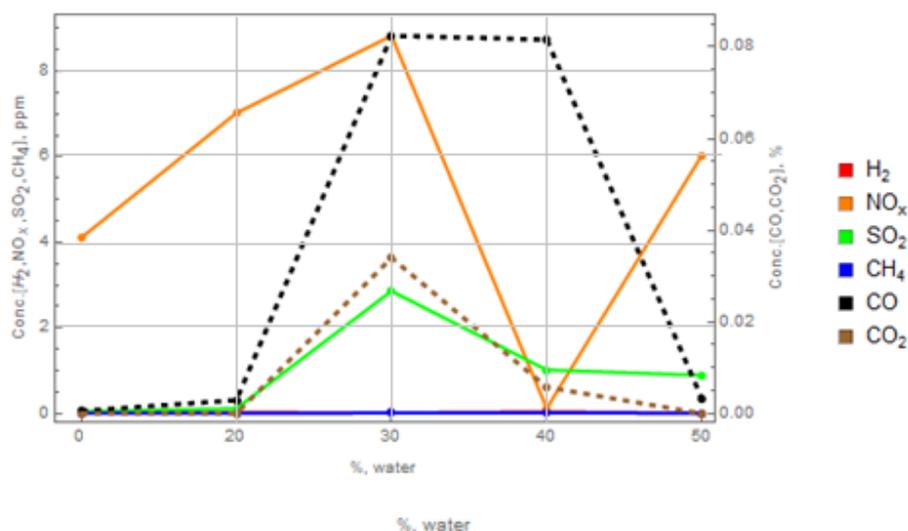


Рисунок 8 – Зависимость концентраций компонентов синтез-газа от влажности топлива в атмосфере с концентрацией кислорода ~10 % (об)

#### 1.4 Влияние интенсивности светового потока на протекание процесса газификации

Из рисунка 2 становится очевидно, что рост интенсивности световой накачки до 1000...1100 Вт/см<sup>2</sup> приводит к росту температуры на поверхности топлива. Согласно уравнению Аррениуса (1.1), это означает рост скоростей ( $W$ ) всех протекающих химических реакций:

$$W = A \cdot \text{Exp}\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right). \quad (1.1)$$

Т.к. термо-кинетические константы  $A$  и  $E_a$  достаточно сильно отличаются для различных реакций, то при изменении интенсивности светового потока будет происходить существенное изменение соотношения концентраций компонентов синтез-газа. Для исследования зависимости газогенерации от интенсивности нагрева была проведена серия экспериментов с варьированием интенсивности светового потока (рисунок 9) при фиксированной влажности смеси (40 % (мас.)). На рисунке представлены нормированные концентрации компонентов синтез-газа. В качестве нормировочного множителя выступают максимальные концентрации каждого из компонентов, которые наблюдались в ходе всей серии измерений (чаще

всего соответствуют максимальной интенсивности светового потока). Интенсивность светового потока во всех экспериментах варьировалась в диапазоне 500...1300 Вт/см<sup>2</sup> регулировкой тока лампы.

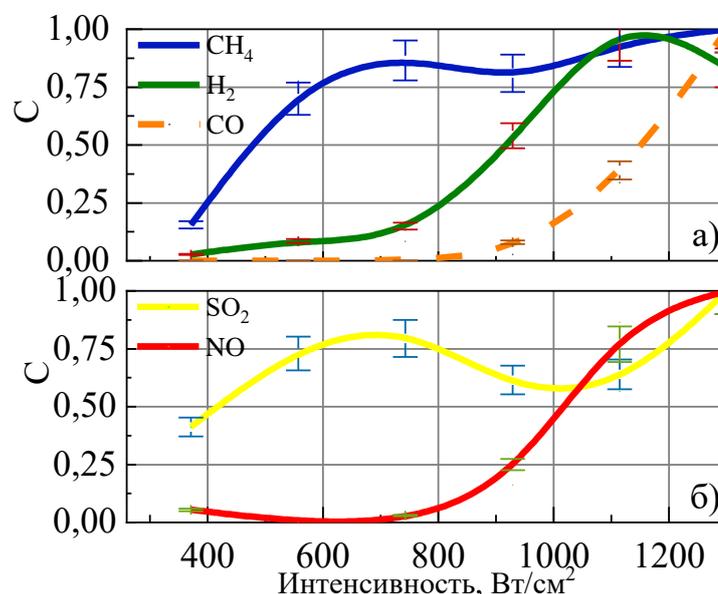


Рисунок 9 – Зависимость интенсивности светового потока от концентрации компонентов газа. Зависимости нормированы на максимальные наблюдавшиеся в ходе данной серии измерений значения концентраций сухого газа:  $C_{\max}(\text{CO}) = 5940 \text{ ppm}$ ,  $C_{\max}(\text{H}_2) = 270 \text{ ppm}$ ,  $C_{\max}(\text{CH}_4) = 190 \text{ ppm}$ ,  $C_{\max}(\text{SO}_2) = 30 \text{ ppm}$ ,  $C_{\max}(\text{NO}) = 15 \text{ ppm}$

Из представленных кривых можно сделать заключение, что при росте интенсивности растут концентрации всех компонентов синтез-газа. Также видно, что для запуска производства разных газов требуется различная интенсивность. Производство метана начинается при достаточно небольшой интенсивности, тогда как производство водорода и оксида углерода требует более высоких значений интенсивности. Стоит отметить, что производство CO стартует, когда интенсивность превышает пороговое значение 800 Вт/см<sup>2</sup>. Производство оксидов азота также стартует при превышении данной пороговой величины. Т.к. CO является самым массовым компонентом синтез-газа в данных условиях, то эта величина может считаться абсолютным

пороговым значением теплового потока, определяющим запуск газификации использованной водо-угольной смеси.

Таким образом, интенсивность подвода тепла к топливу является одним из самых удобных и эффективных параметров для плавного управления процессом газификации. Однако, при работе в автотермическом режиме газификации (схема «Prenflo»), управление тепловыми потоками является достаточно сложным делом, т.к. происходит опосредованно, через регулировку подачи окислителя и пара.

### 1.5 Оценка погрешности измерений и их влияние на точность регулирования процесса газификации.

Выяснить с абсолютной точностью истинное значение измеряемой величины, как правило, невозможно в силу того, что все средства измерений не идеальны. Систематические (приборные) ошибки сопровождаются случайными ошибками, возникающими в силу случайных факторов (флуктуации измеряемой величины, рабочих параметров приборов, внешних условий). Общее отклонение измеренного значения от истинного принято называть погрешностью измерения. Величина этого отклонения может быть оценена при помощи статистических методов анализа разброса данных при многократных измерениях с учетом систематических погрешностей. На практике вместо истинного значения используют действительное значение величины, то есть значение физической величины, полученное экспериментальным путём и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. Такое значение обычно вычисляется как среднестатистическое значение, полученное при обработке результатов серии измерений. Это значение не является точным, а лишь наиболее вероятным. Поэтому для проводимых измерений необходимо вместе с полученным результатом указывать доверительный интервал значений.

По характеру проявления ошибки делятся на:

- случайная погрешность — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом в серии повторных измерений одной и той же величины, проведенных в одних и тех же условиях;
- систематическая погрешность — погрешность, изменяющаяся во времени по определённому закону;
- прогрессирующая погрешность — непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени;
- грубая погрешность — погрешность, возникшая вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры.

#### 1.5.1 Расчет систематических погрешностей температуры

Температуру измеряли на поверхности образца топлива, помещенного в камеру. Было выбрано пять точек измерений: самая горячая и точки в различных областях на поверхности образца топлива. Температура определялась тепловизором, погрешность зависела от выбранного диапазона измерений. Измерения проводились в диапазоне 350...1200 °С. По технической документации к тепловизору в данном интервале систематическая погрешность составляет  $\pm 2\%$  от измеренного значения.

Таблица 2 – Систематические погрешности измерений температуры образца.

$\tau, \text{с}$	$T_1, \text{°C}$	Погрешность $\pm \text{°C}$	$T_2, \text{°C}$	Погрешность $\pm \text{°C}$
5000	591,6	11,9	596,7	11,9
5150	592,7	11,9	598,3	12,0
5250	592,0	11,8	592,5	11,8
5350	593,7	11,9	604,9	12,1

## 1.5.2 Расчет систематической погрешности концентраций газов

Погрешность измерения концентрации каждого анализируемого компонента газа задана в документации к соответствующему датчику. При измерении концентрации CO систематическая погрешность будет составлять  $\pm 10\%$ , при регистрации CH<sub>4</sub> составляет  $\pm 5\%$ , при регистрации NO составляет  $\pm 15\%$ , при регистрации SO<sub>2</sub> составляет  $\pm 5\%$ .

Таблица 3 – Погрешность измерения концентрации CO.

$\tau$ , с	Концентрация CO, млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 1	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>	Концентрация CO, млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 2	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>
200	13342,54	1334,25	14378,22	1437,82
225	12456,06	1245,61	12890,08	1289,01
250	10295,15	1029,15	10749,37	1074,94

Таблица 4 – Погрешность измерения концентрации H<sub>2</sub>.

$\tau$ , с	Концентрация H <sub>2</sub> , млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 1	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>	Концентрация H <sub>2</sub> , млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 2	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>
100	314,83	15,74	332,47	16,62
200	391,46	19,57	381,66	19,01
300	154,12	7,71	179,54	8,97

Таблица 5 – Погрешность измерения концентрации NO.

$\tau$ , с	Концентрация NO, млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 1	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>	Концентрация NO, млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 2	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>
100	1,85	0,28	2,02	0,3
200	5,56	0,83	6,00	0,9
300	7,36	1,1	7,56	1,13

Таблица 6 – Погрешность измерения концентрации SO<sub>2</sub>.

$\tau$ , с	Концентрация SO <sub>2</sub> , млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 1	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>	Концентрация SO <sub>2</sub> , млн <sup>-1</sup> , Эксперимент 2	Погрешность $\pm$ млн <sup>-1</sup>
100	12,57	0,63	13,28	0,66
200	87,08	4,35	82,21	4,11
300	92,87	4,64	90,18	4,51

По данным из таблиц 3...6 видно, что наибольшую абсолютную погрешность имеет компонент CO, это связано с тем, что его концентрация является самой высокой из регистрируемых компонентов. Каждый компонент газа при регистрации в соответствующие моменты времени в экспериментах 1 и 2 имеет очень близкое значение, следовательно, колебания в измеряемых точках изменяются незначительно.

Алгоритм расчета случайных погрешностей [10].

1. Находим среднее арифметическое значение величин по серии измерений

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (1.2)$$

где  $x_i$  – значение измеренной величины в эксперименте  $i$ .

2. Находим среднюю квадратичную погрешность отдельного результата при  $n=3$  измерениях

$${}^nS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}. \quad (1.3)$$

3. Исключить промахи

Наиболее простым способом исключения грубых ошибок из статистического ряда результатов измерений является правило трех сигм: разброс случайных величин от среднего значения не должен превышать  $3 \cdot {}^nS$ . Значения  ${}^nS$  представлены в таблицах 8...12. При проведении экспериментов не было выявлено грубых ошибок, поэтому ничего не исключалось.

По критерию  $3 \cdot {}^nS$ , представленным в таблицах 8...12, все значения серии измерений попадают полученный диапазон. Грубых ошибок измерений не выявлено.

4. Найти погрешность данных для серий измерений

$${}^nS_{\bar{x}} = \frac{{}^nS}{\sqrt{n}}. \quad (1.4)$$

5. Найти доверительный интервал (абсолютную погрешность результата измерений)  $\Delta x$  для  $\bar{x}$

5.1 Задана доверительная вероятность  $\alpha=0,8$  и выбран коэффициент Стьюдента для данной вероятности для трех экспериментов 1,9, для двух 3,1.

5.2 Определить доверительный интервал  $\Delta x$

$$\Delta x = n S_{\bar{x}} \cdot t(\alpha, n). \quad (1.5)$$

6. Найти относительную погрешность результата серий измерений:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}. \quad (1.6)$$

Расчет случайных погрешностей измерений каждого отдельного параметра представлен в таблицах 8...12.

При проведении первичных экспериментов было замечено, что максимальные концентрации газов и температура хорошую повторяемость значений для различных серий измерений. Поэтому в дальнейшем производилось по 2 эксперимента. При расчете погрешностей температуры и состава газа используется коэффициент Стьюдента для  $\alpha = 0,8$  ( $t(\alpha, n) = 3,1$ ), для уменьшения доверительного интервала, т.к. при использовании коэффициента Стьюдента для  $\alpha = 0,95$  ( $t(\alpha, n) = 12,71$ ) доверительный интервал достигает значений, соизмеримых с измеренными величинами.

Таблица 8 – Расчет случайных погрешностей температуры

$\tau$ , мс	T, °С. Опыт 1	T, °С. Опыт 2	$\bar{x}$ , °С	$nS$ , °С	$3 \cdot nS$	$nS_{\bar{x}}$ , °С	$\Delta x$ , °С	$\delta_x$ ,
5000	591,6	596,7	594,15	3,60	10,82	2,55	7,91	0,013
5150	592,7	598,3	595,5	3,95	11,88	2,8	8,68	0,014
5250	592	592,5	592,25	0,35	1,0606	0,25	0,78	0,001
5350	593,7	604,9	599,3	7,91	23,79	5,6	17,36	0,028

В таблице приняты обозначения:

$\bar{x}$  – среднее арифметическое значение величин;

${}^nS$  – средняя квадратичная погрешность;

$3 \cdot {}^nS$  – правило трех сигм;

${}^nS_{\bar{x}}$  – погрешность данных для серий измерений;

$\Delta x$  – доверительный интервал;

$\delta_x$  – относительная погрешность результата серий измерений.

Таблица 9 – Расчет случайных погрешностей компонентов газа CO

т, с	Концентрация CO, млн <sup>-1</sup> Опыт 1	Концентрация CO, млн <sup>-1</sup> Опыт 2	$\bar{x}$ , млн <sup>-1</sup>	${}^nS$ , млн <sup>-1</sup>	$3 \cdot {}^nS$	${}^nS_{\bar{x}}$ , млн <sup>-1</sup>	$\Delta x$ , млн <sup>-1</sup>	$\delta_x$ ,
200	13342,54	14378,22	13860,38	732,34	15,65	517,84	1605,30	0,1158
225	12456,06	12890,08	12673,07	306,89	2197	217,01	672,723	0,0531
250	10295,15	10749,37	10522,26	321,18	920,69	227,11	704,04	0,0669

Таблица 10 – Расчет случайных погрешностей компонентов газа H<sub>2</sub>

т, с	Концентрация H <sub>2</sub> , ppm Опыт 1	Концентрация H <sub>2</sub> , ppm Опыт 2	$\bar{x}$ , ppm	${}^nS$ , ppm	$3 \cdot {}^nS$	${}^nS_{\bar{x}}$ , ppm	$\Delta x$ , ppm	$\delta_x$ ,
100	314,83	332,47	323,65	12,47	37,42	8,82	27,34	0,084
200	391,46	381,66	386,56	6,92	20,78	4,9	15,19	0,039
300	154,12	179,54	166,83	17,97	53,92	12,71	39,40	0,239

Таблица 11 – Расчет случайных погрешностей компонентов газа NO

т, с	Концентрация NO, ppm Опыт 1	Концентрация NO, ppm Опыт 2	$\bar{x}$ , ppm	${}^nS$ , ppm	$3 \cdot {}^nS$	${}^nS_{\bar{x}}$ , ppm	$\Delta x$ , ppm	$\delta_x$ ,
100	1,85	2,02	1,94	0,12	0,36	0,085	0,264	0,136
200	5,56	6	5,78	0,31	0,93	0,22	0,682	0,117
300	7,36	7,56	7,46	0,14	0,42	0,1	0,31	0,041

Таблица 12 – Расчет случайных погрешностей компонентов газа SO<sub>2</sub>

т, с	Концентрация SO <sub>2</sub> , ppm Опыт 1	Концентрация SO <sub>2</sub> , ppm Опыт 2	$\bar{x}$ , ppm	${}^nS$ , ppm	$3 \cdot {}^nS$	${}^nS_{\bar{x}}$ , ppm	$\Delta x$ , ppm	$\delta_x$ ,
100	12,57	13,28	12,925	0,50	1,50	0,355	1,10	0,085
200	87,08	82,21	84,645	3,44	10,33	2,435	7,55	0,089
300	92,87	90,18	91,525	1,90	5,70	1,345	4,169	0,045

Размах результатов измерений определяется по формуле:  $R_n = x_{\max} - x_{\min}$ .

$x_{\max}$  и  $x_{\min}$  обозначают максимальные и минимальные измеренные температуры в каждой точке. В таблицах 13...17 приведены значения размаха результатов измерений.

Таблица 13 – Результаты оценки размах результатов измерений температуры образца топлива

$\tau$ , с	T, °C. Опыт 1	T, °C. Опыт 2	$x_{\max}$ °C	$x_{\min}$ °C	$R_n$ °C
5000	591,6	596,7	596,7	591,6	5,1
5150	592,7	598,3	598,3	592,7	5,6
5250	592	592,5	592,5	592	0,5
5350	593,7	604,9	604,9	593,7	11,2

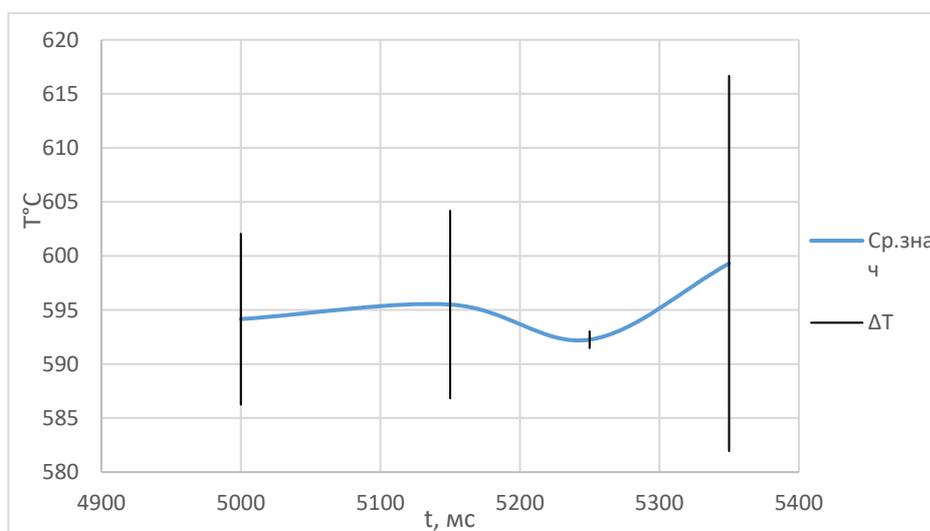


Рисунок 10 — Оценка доверительного интервала цикла экспериментов по измерению температуры образца топлива

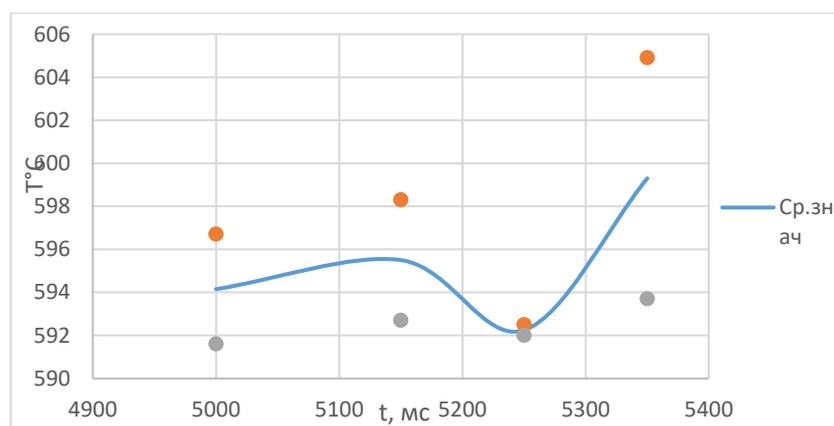


Рисунок 11 — Оценка размаха результатов серий экспериментов по измерению температуры образца топлива

Таблица 14 – Размах результатов измерений концентрации CO

$\tau$ , с	Концентрация CO, ppm Опыт 1	Концентрация CO, ppm Опыт 2	$x_{\max}$ °C	$x_{\min}$ °C	$R_n$ °C
200	13342,54	14378,22	14378,22	13342,54	1035,68
225	12456,06	12890,08	12890,08	12456,06	434,02
250	10295,15	10749,37	10749,37	10295,15	454,22

Таблица 15 – Размах результатов измерений концентрации H<sub>2</sub>

$\tau$ , с	Концентрация H <sub>2</sub> , ppm Опыт 1	Концентрация H <sub>2</sub> , ppm Опыт 2	$x_{\max}$ °C	$x_{\min}$ °C	$R_n$ °C
100	314,83	332,47	332,47	314,83	17,64
200	391,46	381,66	391,46	381,66	9,8
300	154,12	179,54	179,54	154,12	25,42

Таблица 16 – Размах результатов измерений концентрации NO

$\tau$ , с	Концентрация NO, ppm Опыт 1	Концентрация NO, ppm Опыт 2	$x_{\max}$ °C	$x_{\min}$ °C	$R_n$ °C
100	1,85	2,02	2,02	1,85	0,17
200	5,56	6	6	5,56	0,44
300	7,36	7,56	7,56	7,36	0,2

Таблица 17 – Размах результатов измерений концентрации SO<sub>2</sub>

τ, с	Концентрация SO <sub>2</sub> , ppm Опыт 1	Концентрация SO <sub>2</sub> , ppm Опыт 2	x <sub>max</sub> °C	x <sub>min</sub> °C	R <sub>n</sub> °C
100	12,57	13,28	13,28	12,57	0,71
200	87,08	82,21	87,08	82,21	4,87
300	92,87	90,18	92,87	90,18	2,69

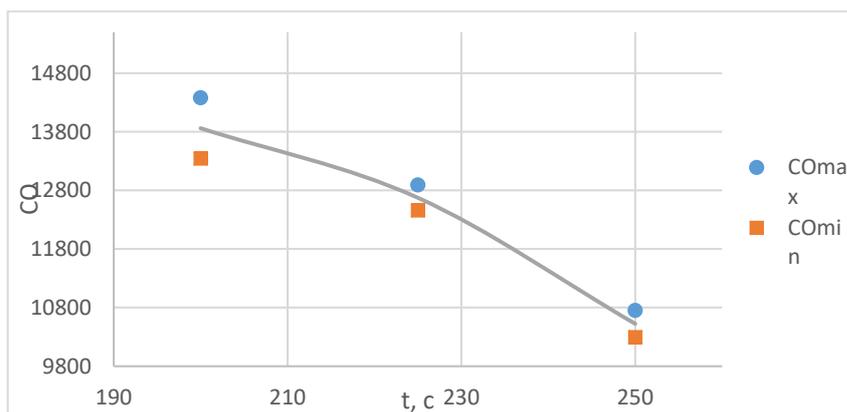


Рисунок 12 — Оценка размаха результатов серий экспериментов по измерению концентрации газа CO

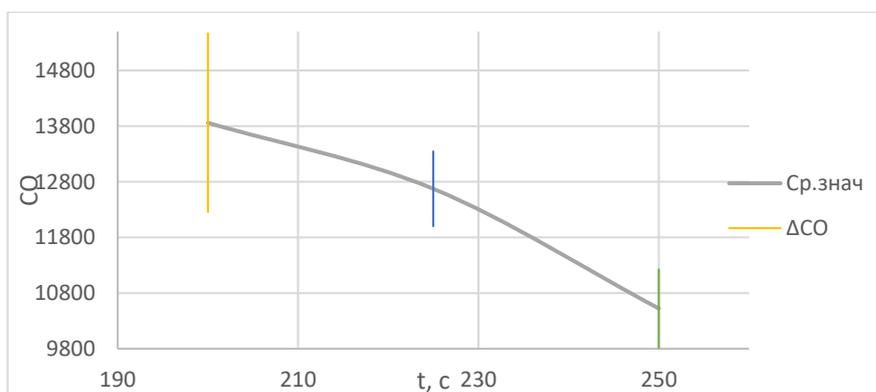


Рисунок 13 — Оценка доверительного интервала цикла экспериментов по измерению концентрации газа CO

Результаты анализа размаха результатов измерений показывают, что к концу эксперимента он увеличивается. Размах измерений температуры 0,5...11,2 °C, размах результатов измерений концентрации зависит от

выбранного компонента и составляет максимально для CO — 1035,68 ppm, H<sub>2</sub> — 25,42 ppm, NO — 0,44 ppm, SO<sub>2</sub> — 4,87 ppm. Относительная погрешность всех экспериментов не превышает 20 %.

## 1.6 Выводы по исследовательской работе

Выполненные исследования демонстрируют, что предложенный метод газификации отходов углеобогащения позволяет производить синтез-газ из отходов углеобогащения при атмосферном давлении. Использование сфокусированного потока солнечного излучения позволяет без особых затруднений достигать условий, необходимых для запуска термохимической конверсии углей. При этом изменение интенсивности входящего теплового потока, варьирований концентрации воды в составе топливной смеси, а также концентрации кислорода в атмосфере камеры являются достаточно удобными параметрами для регулирования протекания процесса газификации отходов.

Наилучший набор условий для конверсии фильтр-кека в синтез-газ реализуется, когда интенсивность светового потока превышает 800 Вт/см<sup>2</sup>, исходная влажность топливной смеси превышает 30 % (мас.), а концентрация кислорода равна атмосферной. При этом получаемый синтез-газ содержит минимальные количества бесполезного CO<sub>2</sub>, а также вредных примесей (SO<sub>2</sub> и NO).

Самым удобным параметром для управления протеканием газификации является интенсивность нагрева. Вместе с подбором влажности исходной смеси, этот параметр позволяет гибко управлять как составом синтез-газа, так и общей интенсивностью процесса газогенерации.

Был произведен анализ систематических и случайных погрешностей измерений, а также произведена оценка размаха результатов серий измерений и доверительных интервалов цикла экспериментов.

## 2 Проектирование АСУ ТП газификации

### 2.1 Анализ объекта автоматизации

В работе в качестве объекта автоматизации выбрана установка “Prenflo”. В установке процесс газификации предназначен для применения в ПГУ ТЭС. В качестве сырья применяется уголь. Он подвергается процессу газификации под давлением 2,5 МПа с высокой степенью конверсии углерода [25].

Принцип действия газификации основан на неполном окислении угля в насыщенной кислородом среде или смеси кислорода и водяного пара. Отличительные черты процесса – в реакторе отсутствуют радиационные поверхности производства пара, горелки располагаются в нижней части газификатора напротив друг друга и наличие пережима – в верхней. Пылегазовый поток направлен снизу-вверх. Температура может достигать 2020 °С в зоне сгорания, а также 1450...1650 °С при выходе из газогенератора. Жидкий шлак выводят в коллектор из нижней части газогенератора, где в дальнейшем он охлаждается в водяной бане и подвергается дроблению, а после переходит в накопитель гранулированного шлака. Производительность газогенератора составляет 1875 кг/ч по углю и 4,2 тыс. м<sup>3</sup>/ч по газу. Эксплуатация газогенератора при использовании более чем 6500 ч. показала, что результаты газификации приближены к теоретически возможным верхним пределам.

Рабочее давление в установке выбирается исходя из характеристик газовой турбины и цикла в целом, т.к. процесс предназначен для ТЭС с комбинированным циклом. На производство пара расходуется 10 % энергии загружаемого топлива [25]. На установке получилось добиться степени конверсии углерода 98,5... 99,3 %, содержания СО и Н<sub>2</sub> в газе – 87...97 %.

Установка газификации “Prenflo” работает следующим образом. Сперва пылевидное сырье, предназначенное для загрузки, подготавливают в

узле подготовки топлива. Около 80 % угольной пыли имеет размер (диаметр частицы округленной формы) менее 0,1 мм. Далее это сырье подвергается процессу газификации в газогенераторе (газификаторе). В качестве газифицирующих агентов (окислителей) используют кислород и пара. Температура, при которой происходит газификация, превышает температуры плавления золы, что дает возможность удалять угольную золу в виде шлака. Газогенератор охлаждаемого типа имеет горелки, расположенные горизонтально [26].

В получаемом, во время процесса PRENFLO с генерацией пара, сыром газе содержится преимущественно окись углерода и водород, который охлаждают в котле-утилизаторе при генерации пара. Сырым газом называется природный горючий газ, который характеризуется повышенным содержанием (более 15 %) тяжелых углеводородов. В дальнейшем полученный газ подвергается обеспыливанию в керамическом фильтре и после очищается в скруббере Вентури.

Шлак из газогенератора используется в качестве строительного материала, а летучая зола из керамического фильтра используется как исходный материал для цементной промышленности.

Основные характеристики технологии PRENFLO [26]:

- перемещающийся поток;
- подача сухой пыли для обеспечения высокой эффективности;
- несколько горелок с высокой степенью эксплуатационной готовности и длительным сроком службы;
- горизонтальное расположение горелок, обеспечивающее;
- высокую степень конверсии углерода;
- мембранная стенка с длительным сроком службы;
- котел-утилизатор для эффективной регенерации тепла;
- работа при температуре выше температуры плавления золы.



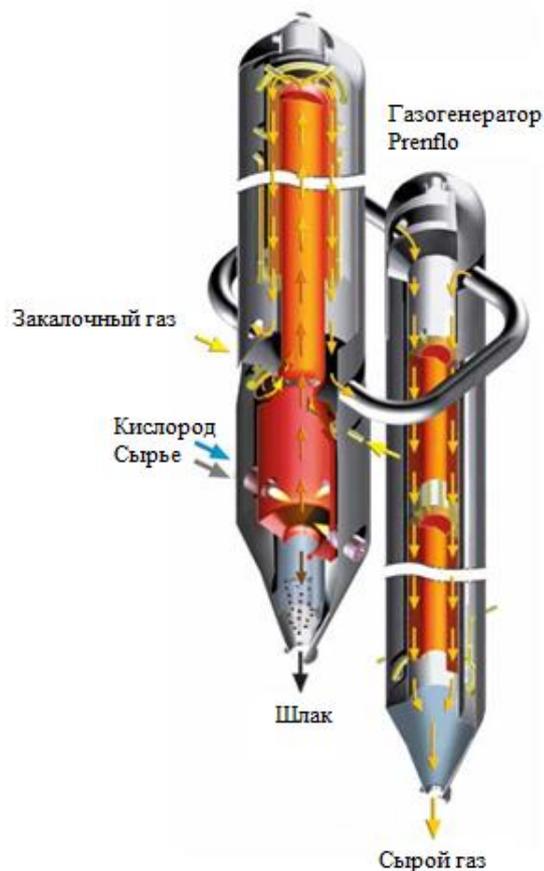


Рисунок 15 – Вид газогенератора PRENFLO

В основе технологии газификации лежит подача сырья в сухом виде. Это дает возможность использовать все виды углей (высокозольный уголь, каменный уголь, антрацит, бурый уголь, уголь с высокой точкой плавления), а также на нефтяном коксе, древесном угле и биомассе (древесина, куриный помет, осадок сточных вод, остатки прессования маслин и т.п.) [27, 28].

Помимо основного продукта (синтез-газ) в ходе процесса газификации производятся и побочные продукты, обладающие экономической ценностью. В ходе процесса газификации твердых веществ получают летучая зола, шлак, а после последующей очистки газа – элементарная сера или серная кислота.

В установках для газификации может применяться широкий диапазон исходного сырья: нефтяной кокс, антрацитный кокс, биомасса, бурый уголь, каменный уголь (высоко- и низкозольный), бытовые отходы.

## 2.2 Разработка структуры КТС АСУ

Задачей системы управления является обеспечение бесперебойной работы технологического оборудования, получение продукта с заданными характеристиками и предотвращение возможных аварийных ситуаций.

АСУ ТП содержит в себе информационные, управляющие и вспомогательные функции.

Функция управления в АСУ ТП – это функция, посредством которой вырабатываются и реализуются управляющие воздействия на технологический объект управления.

Информационная функция АСУ ТП – это функция, которая выполняет задачу сбора, обработки и представления информации о состоянии объекта оперативному персоналу или отправка полученной информации для дальнейшей обработки.

Вспомогательные функции АСУ ТП – это функции, которые обеспечивают выполнение внутрисистемных задач. Они не обладают потребителем вне системы и необходимы для функционирования АСУ ТП (функционирование технических средств системы, контроль за их состоянием, хранением информации и т.д.).

Функции, реализуемые АСУ установкой промышленной газификации:

- управление технологическим оборудованием и регулирование технологических параметров;
- защита оборудования при аварийных ситуациях;
- сбор и хранение информации о состоянии оборудования, полученном продукте;
- контроль состояния оборудования и технологического процесса.
- отображение информации о текущем состоянии готовности продукта, состоянии оборудования, анализ режима работы;
- формирование отчетов о произведенной продукции;
- диагностика системы;

– ремонтпригодность (возможность восстановления работоспособности за минимальное время при экономически оправданной стоимости ремонта);

– надежность, путем резервирования.

Архитектура АСУ промышленной установки газификации представлена на рисунке 16.



Рисунок 16 – Архитектура АСУ

На нижнем уровне иерархии АСУ ТП находятся датчики измеряемых технологических параметров для контроля давления, температуры, расхода, состава газа и других физических величин. На нижнем уровне автоматизации будут решаться следующие задачи:

- сбор и обработка данных о параметрах технологического процесса;
- управление электроприводами и другими исполнительными механизмами.

На среднем уровне находится ПЛК, безопасность работы которого (в случае выхода из строя) обеспечивается способом горячего резервирования.

Полученная на контроллерах информация направляется к АРМ оператора.

ПЛК осуществляют следующие функции:

- сбор и обработка данных с измерительных преобразователей;
- синхронизация работы системы;
- хранение данных в архивах по принятым параметрам;
- обмен данными между нижним и верхним уровнем;
- работа в автономном режиме при нарушениях связи с верхним уровнем;
- резервирование каналов передачи данных и др.

На верхнем уровне иерархии системы находится пункт диспетчерского управления, представляющий собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Функции, выполняющиеся на АРМ:

- сбор, обработка и хранение данных, полученных от устройств нижнего уровня;
- наглядное представление полученных данных в виде таблиц, мнемосхемы и графиков;
- дистанционное управление технологическим процессом;
- вывод световой и звуковой сигнализации, а также вывод информации на экран, в случае обнаружения каких-либо неисправностей, либо критических значений в показателях датчиков;
- формирование отчетов о результатах, составление единой документации.

Состав АСУ установкой промышленной газификацией должен обеспечивать выполнение всех технических, информационных, программных функций, необходимых для обеспечения работоспособности объекта управления. Для выполнения технического обеспечения применяются средства сбора информации, исполнительные устройства, контроллеры, кабели связи, устройства световой и звуковой сигнализации. Комплекс технических средств должен обеспечивать измерения всех технологических

параметров в условиях эксплуатации установки с заданной точностью, быстродействием и надежностью в соответствии с установленными эксплуатационными и метрологическими характеристиками. Устройства получения информации должны быть размещены на самом оборудовании, либо по близости от него.

Верхний, средний и нижний уровень взаимодействуют между собой посредством сети Ethernet. Для обеспечения безопасности используется основной и резервный кабели.

На АРМ должны быть установлены табло для получения информации о технологических процессах, происходящих в установке, световая и звуковая сигнализация. Для запуска, остановки, регулирования и управления процессом используется ПК. Также для защиты от несанкционированного входа должна использоваться система паролей.

Требования к измерительным каналам:

- при проектировании, изготовлении и эксплуатации измерительные каналы должны соответствовать требованиям безопасности;
- необходима техническая документация, сопровождающая этапы жизненного цикла (разработка, производство, монтаж, наладка, эксплуатация) [29];
- измерительные каналы должны обеспечивать непрерывную передачу информации к контроллеру [30];
- измерительный канал должен быть защищен защитной арматурой, должен иметь линии связи и электрический соединитель [31];
- надежное соединение всех датчиков измерительного канала, без потери электрического контакта с линиями связи контроллера должно обеспечиваться конструкцией измерительных каналов [32];
- защитная арматура должна защищать измерительные каналы. Измерительные каналы должны выдерживать механические нагрузки, связанные с установкой, вибрацией, сейсмическими нагрузками и ударами. В

технической документации должны быть установлены нормы требований по устойчивости измерительных каналов к различным факторам [33];

- измерительные каналы должны выдерживать следующие климатические условия в нерабочем состоянии: температура  $-50...+50$  °С; влажность до 100 %;

- при отказе более 30 % основных детекторов состояние измерительного канала считается предельным. Признаком неисправного состояния детекторов считается его отсутствие сигнала или неустранимое отклонение измеряемого сигнала от значения, принятого за наиболее вероятное, более чем на 20 % [34];

- полуфабрикаты и материалы, которые используются для сборки измерительных каналов, должны отвечать действующим нормативам на эти материалы, а также правилам устройства и безопасной эксплуатации оборудования [35];

- все сигнальные жилы линий связи, должны быть заземлены [36].

В состав измерительных каналов систем автоматизации могут входить различные датчики, преобразователи, модули ввода и вывода информации. Величина предельной погрешности является важным техническим показателем для измерительного средства. Предельная погрешность характеризует максимально возможное значение погрешности, которое может появиться при эксплуатации технического средства измерения.

Для нахождения погрешности измерительного канала начальными данными являются [37]:

- метрологические характеристики средств измерения;
- методическая погрешность;
- влияние внешних факторов (влажность, температура и т.п.);
- характеристики измеряемого сигнала.

Одним из способов определения погрешности измерительного канала является нахождение среднеквадратического отклонения погрешностей всех

компонентов измерительного канала. Для нормального закона распределения случайных составляющих погрешности в % от нормирующего значения используют формулу:

$$\sigma_T = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2} \quad (2.1)$$

где  $Y$  погрешность компонента измерительного канала.

Структурная схема АСУ установкой промышленной газификации представлена на рисунке 17.

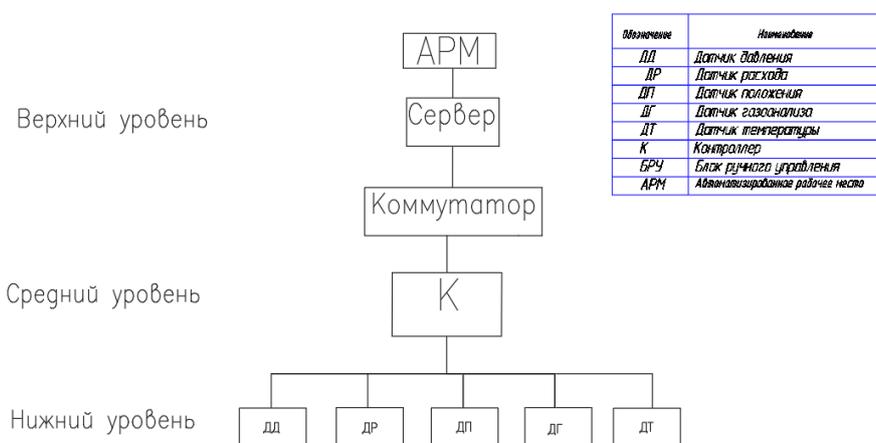


Рисунок 17 – Структурная схема АСУ установкой промышленной газификации

Структурная схема, включает в себя комплекс технических средств, состоящий из датчиков давления, расхода, положения, газоанализа, температуры, контроллер, сервер, блок ручного управления и АРМ.

На нижнем уровне установлены измерительные приборы: датчики давления, расхода, положения, газоанализа и температуры. На среднем уровне расположены контроллер и блок ручного управления. На верхнем уровне находится АРМ и сервер, хранящий всю историю и информацию технологического процесса. Связь между уровнями осуществляется посредством специальных кабелей.

## 2.3 Проектирование функциональной схемы системы управления

Схема автоматизации — это основной документ, который определяет оснащение объекта управления средствами автоматизации и приборами, а также функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля технологического процесса, его регулирования и управления. По схеме автоматизации определяется структура и функциональные связи между средствами автоматизации и технологическим процессом.

Схема автоматизации выполнена в соответствии с ГОСТ 21.403-80. Взаимодействие частей технологического процесса, принцип действия, взаимосвязь датчиков и другие ТСА изображается в виде упрощенных контуров.

Схема автоматизации составляется в два этапа. На первом этапе определяются точки отбора измерительной информации.

Каналы 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 31, 32 предназначены для передачи управляющих воздействий исполнительным механизмам, регулирующие положение задвижек для подачи угольной пыли (каналы 1, 2) в бункер, кислорода (3, 4), угольной пыли в газогенератор (7, 8), шлака в газогенератор (10, 11), питательной воды в барабан (14, 15), пара в газогенератор (17, 18) и его отпуск (19, 20), а также промывочной воды в скруббер (30, 31). Уровень угольной пыли в бункере определяет измерительный канал 5. Каналы 6, 9, 16, 24, 29, 32 передают информацию о расходе воздуха и газа. Канал 6 определяет расход кислорода, поступающего в газогенератор. Каналы 24, 29 передают информацию о расходе газа, полученного в газогенераторе и прошедшего очистку. Каналы 16 и 30 передают информацию о расходе питательной и промывочной воды, поступающие в барабан и скруббер. Канал 9 показывает расход шлака, направленного в газогенератор. Каналы 12, 13 показывают давление в разных частях газогенератора. Температура получившегося газа показывают каналы

22 и 25. Компонентный состав получившегося газа определяют газоанализаторы каналов 23, 26, 33.

Угольная пыль хранится в бункере. Информацию об уровне ПУТ в бункере передается измерительным каналом 5. До и после бункера находятся РО1 и РО2 (каналы 1, 2, 7, 8) которые регулируют подачу угольной пыли в бункер и горелку. Параллельно в горелку поступает кислород, расход которого измеряется расходомером канала 6, также регулирование расхода осуществляется исполнительным механизмом с датчиком положения (каналы 3, 4). В газогенераторе в нижней и верхней частях находятся датчики давления, каналы 12, 13. По показаниям датчиков можно определить достаточно ли тяга в газогенераторе. Также в газогенератор приходят охлажденный генераторный газ и пар. Генераторный газ, получаемый в газогенераторе, проходит котел утилизатора, где охлаждается и попадает в систему очистки. Проба газа на анализ отбирается газоанализаторами каналов 23, 26. Каналы 22 и 25 передают информацию о температуре газа до и после котла утилизатора, для отслеживания остывания газа. В системе очистки газа установлена сигнализация, чтобы отслеживать состояние фильтров и процесса очистки газа. После газ проходит через скруббер для промывки и уходит к потребителю. До и после скруббера установлены газоанализаторы для отслеживания состава газа. Для получения газа с разным составом в газогенератор подается пар и охлажденный генераторный газ. Расход пара регулируется РО5 (каналы 31, 32), а также измеряется расходомером канала 36. В барабан поступает питательная вода, расход которой регулируется исполнительным механизмом (каналы 14 и 15), а измеряется расходомером канала 16. Отпуск пара потребителю регулируется РО7 (каналы 19, 20). Подача в газогенератор охлажденного генераторного газа регулируется каналами 17, 18, и измеряется расходомером, информация с которого передается на канал 24. Промывочная вода в скруббер регулируется РО9 (канал 30). В газогенераторе образуется шлак, который направляется в систему удаления шлака. Уровень шлака в этой системе определяется уровнемером с

измерительного канала 9. Часть шлака отправляется в газогенератор. Расход шлака в газогенератор регулируется РО4 (каналы 10 и 11). Регулируя расход ПУТ, кислорода, охлажденного генераторного газа и пара можно получить газ с различным содержанием компонентов CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и O<sub>2</sub>

На основании данных, полученных с газоанализатора по измерительному каналу 21, ПЛК формирует управляющий сигнал, который приводит в действие приводы исполнительных механизмов подачи пара, топлива, кислорода и охлажденного генераторного газа. За счет регулирования подачи этих компонентов изменяется состав полученного газа.

Внизу схемы автоматизации изображены приборы, установленные по месту и щит управления. Также в щите управления располагается контроллер.

В данном разделе была разработана функциональная схема АСУ газификации, которая приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.004 С2.

## 2.4 Выбор технических средств системы управления, составление спецификации

Для измерения технологических параметров в ходе процесса применяются различные датчики. При выборе средств измерения учитываются их характеристики, такие как выходной сигнал, стоимость, диапазон измерений и условия эксплуатации. Для измерения всех параметров, входящих в систему необходимы: датчики расхода воздуха, пара и воды, датчики давления, температуры и расхода, газоанализатор, уровнемер.

### 2.4.1 Выбор расходомера воздуха

Для измерения расхода подаваемого воздуха и получаемого газа применяются расходомеры. Рассмотрим три типа расходомеров.

Расходомер EE771 фирмы полтраф.

Расходомер EE771, подходит для измерения расхода воздуха и газов (в том числе кислорода) в трубопроводах. Эффективен в использовании для измерения расхода сжатого воздуха, азота, кислорода, CO<sub>2</sub>, гелия, аргона и

других не агрессивных газов [37]. Характеристики расходомера представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Характеристики расходомера EE771

Характеристика	Значение
Класс точности	1,5
Выход	4...20 мА
Диапазон измерений	0,5...200 м/с
Рабочее давление	16 МПа

Расходомер воздуха SD2000 фирмы IFM Electronic.

Расходомер SD2000 от компании IFM Electronic предназначен для измерения и контроля расхода сжатого воздуха в диапазоне до 700 м<sup>3</sup>/ч. На корпусе расходомера SD2000 имеется дисплей, а также кнопки для управления и настройки. В таблице 19 приведены характеристики расходомера [37].

Таблица 19 – Характеристики расходомера Метран 350

Характеристика	Значение
Выход	4...20 мА
Максимальное давление	16 МПа
Верхний предел	700 м <sup>3</sup> /ч

Расходомер воздуха VA 500 фирмы ИЗМЕРКОМ.

Расходомер воздуха VA 500 обладает широким диапазоном, прибор можно использовать даже для случаев, в которых большой расход (большие объемы газа при малом диаметре) [38].

Таблица 20 – Характеристики расходомера воздуха VA 500

Характеристика	Значение
Измеряемая среда	Газ, воздух.
Выход	4...20 мА
Рабочее давление	До 50 МПа
Верхний предел	900 м <sup>3</sup> /ч

Выбираем расходомер EE771 т.к. он способен работать в условиях агрессивных газов, диапазон измерения обладает подходящими требованиями для разрабатываемой системы измерения, а также он способен выдерживать давление в трубопроводе.

#### 2.4.2 Выбор датчика температуры

##### Метран 2000

Универсальные модульные первичные преобразователи Метран 2000 предназначены для измерения температуры в широком спектре сред в самых разных отраслях промышленности. Имеют модульную структуру и большое разнообразие исполнений. Использование допускается в нейтральных или агрессивных средах, по отношению к которым, материалы, контактирующие с измеряемой средой, являются коррозионностойкими. Доступны взрывозащищенные и высокотемпературные термопары [39].

Таблица 21 – Характеристики термопары Метран 2000

Характеристика	Значение
Диапазон измеряемых температур	0...1600 °С
Степень защиты	IP65
Тип НСХ	ТПП (S)
Выходной сигнал	унифицированный выходной сигнал тока 0(4)...20 мА

##### ОВЕН УКТ38

УКТ38 измеритель температуры 8-канальный. Измеритель предназначен для контроля давления, влажности, уровня либо иной физической величины в нескольких зонах одновременно. Прибор оснащен аварийной сигнализацией для оповещения о выходе какого-либо параметра из заданного предела [40]. Технические характеристики прибора представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Характеристики термопары ОВЕН УКТ38

Характеристика	Значение
Диапазон измеряемых температур	0...1700 °С
Степень защиты	IP54
Тип НСХ	ТПП(S)
Выходной сигнал	унифицированный выходной сигнал тока 0(4)...20 мА

### ОВЕН ТРМ138

Измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ 138. Прибор предназначен для измерения, регистрации и регулирования температуры, давления или иной физической величины. Прибор может управлять одновременно до восьми исполнительными механизмами. Регистрируемые параметры регистрируются на ЭВМ [41]. Характеристики термопары ОВЕН ТРМ138 представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Характеристики термопары ОВЕН ТРМ138

Характеристика	Значение
Диапазон измеряемых температур	0...2500 °С
Степень защиты	IP54
Тип НСХ	ТВР (А-1)
Выходной сигнал	унифицированный выходной сигнал тока 0(4)...20 мА

### Термопреобразователь ТПР-1888.

Термопреобразователь ТПР-1888 предназначен для измерения температуры воздуха, инертных газов [42].

Таблица 24 – Характеристики Термопреобразователя ТПР-1888

Характеристика	Значение
Диапазон измеряемых температур	0...2000 °С
Степень защиты	IP54
Тип НСХ	ТПР
Выходной сигнал	унифицированный выходной сигнал тока 4...20 мА
Тепловая инерция	менее 5 с

Выбираем термопреобразователь ТПР-1888. Характеристики данного прибора соответствуют требованиям разрабатываемой системы по диапазону измерения, степени защиты от влаги и пыли.

### 2.4.3 Выбор датчика давления

Интеллектуальный манометр SPG Rosemount

Интеллектуальный манометр SPG Rosemount обладает высокой надежностью конструкции. Манометр способен работать до 10 лет без необходимости технического обслуживания и замены компонентов [43].

Таблица 25 – Характеристики манометра SPG Rosemount

Характеристика	Значение
Диапазон измерений	до 27,5 МПа
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты корпуса	IP 66
Предельное давление перегрузки	до 75,8 МПа

ОВЕН ПД100 модели 115

Датчики ОВЕН ПД100 – это преобразователи давления с измерительной мембраной. Устойчив к эксплуатации в тяжелых условиях. Данный преобразователь используется в различных отраслях промышленности: газотранспортных и газораспределительных системах, нефтепромыслах, транспортировки нефти, объектах энергетики и т.п. [44]. Информация и характеристики преобразователя представлена в таблице 26.

Таблица 26 – Характеристики ОВЕН ПД100

Характеристика	Значение
Диапазон измерений	от 16 кПа до 25 МПа
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты корпуса	IP 65
Предельное давление перегрузки	не менее 400 % от ВПИ

Манометр показывающий МП4-У фирмы Манотомь.

Манометр показывающий МП4-У выполняет измерения вакуумметрического и избыточного давления неагрессивных, некристаллизующихся по отношению к медным сплавам жидкостей, пара и газа, в том числе кислорода, ацетилен [45]. Характеристики манометра приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Характеристики манометра, показывающего МП4-У

Характеристика	Значение
Диапазон измерений	от 0 до 6 МПа
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты корпуса	IP 54
Класс точности	1,0

Выбираем показывающий манометр МП4-У, т.к. его характеристики удовлетворяют требованиям разрабатываемой системы. Он обладает необходимым диапазоном измерения, а также имеет наименьшую стоимость.

#### 2.4.4 Выбор газоанализатора

Рассмотрим газоанализатор Testo 340. Газоанализатор имеет датчик кислорода, а также способен быть дополнен дополнительными датчиками по необходимости. Применяется для пуско-наладочных работ, сервисного и технического обслуживания и для регистрации проведенных измерений. Технические характеристики приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Технические данные газоанализатора Testo 340 [46]

Размеры	283 x 103 x 65 мм
Рабочая температура	-5...+50°C
Корпус	Поликарбонат
Класс защиты	IP40
Размер дисплея	160 x 240 мм
Дисплей	Графический
Источник питания	Блочный аккумулятор

## Газоанализатор ТЕСТ-1

Газоанализатор применяется для измерения объемной доли кислорода, оксида углерода, оксида азота. Оснащен датчиком температуры для определения температуры в месте отбора пробы газа. Расчетным методом способен определить концентрации диоксида углерода, суммы оксидов азота и коэффициент избытка воздуха. Применяется для контроля режима горения в установках, которые используют различные виды топлива. Газоанализатор обладает принципом непрерывного действия. Способ забора пробы - принудительный, от встроенного побудителя расхода [47]. Технические характеристики приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Технические данные газоанализатора Тест 1 [47]

Определяемый параметр	Диапазон измерения	Пределы допускаемой основной погрешности	
		Абсолютной	Относительной
Температура газового потока	0...800 °С	±2 °С	±2 %

Многокомпонентный переносной газоанализатор МАГ-6 П применяется для непрерывного действия. Газоанализатор используется для измерения концентрации метана, кислорода, диоксида углерода, монооксида углерода, сероводорода и аммиака. Используется в различных отраслях промышленности, энергетике, сельском хозяйстве и других отраслях хозяйства. Технические характеристики МАГ-6 П приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Технические данные газоанализатора МАГ-6 П [48]

Рабочие условия прибора – температура воздуха, °С	-20...+40
Рабочие условия прибора – относительная влажность, %	10...95
Время непрерывной работы от полностью заряженного аккумулятора, ч	8
Напряжение питания, В	3,3...4,4
Интерфейс для связи с компьютером	USB

### Продолжение таблицы 30

Длина линии связи USB, м	3
Масса прибора, кг	0,8
Габаритные размеры прибора, мм	225x85x35
Средний срок службы, лет	5

Выбираем газоанализатор Тест 1, так как он имеет наименьшую погрешность и широкий диапазон измерения.

#### 2.4.5 Выбор уровнемера

##### Радарный уровнемер DFMC

Радарный уровнемер использует принцип частотно-модулированной непрерывной волны. Радарный уровнемер применим для измерения уровня твердых материалов в бункерах и промежуточных бункерах. И обладает высокой помехозащищенностью, высокой стабильностью работы с частотной модуляцией. Область применения включает в себя цементную промышленность, горную промышленность, угольную промышленность, а также электрическую промышленность [49].

Таблица 31 – Технические данные уровнемер DFMC

Технические характеристики	Значение
Диапазон измерения	до 150 м
Повторность	0,5 мм
Скорость измерения	12 м/мин.
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP65

##### Уровнемер бесконтактный радарный РИЗУР-2030

РИЗУР-2030 используется в бункерах, емкостях, открытых и закрытых резервуарах, технологических установках, естественных и искусственных водоемах. Прибор определяет количество следующих веществ:

- жидкости (сточные и загрязненные воды, нефтепродукты, газообразные жидкости, вязкие, агрессивные и химические среды);
- сыпучие вещества (щебень, песок, уголь, цемент, сажа и т.д.).

Таблица 32 – Технические данные уровнемер РИЗУР-2030 [50]

Технические характеристики	Значение
Диапазон измерения	До 70 м
Частота измерения	6,8; 26 ГГц
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP67

#### Радарный уровнемер Rosemount 5400

Радарные уровнемеры Rosemount 5400 это интеллектуальные приборы, предназначенные для бесконтактных измерений уровня жидкостей в резервуарах и трубах различного типа и конфигурации. Прибор способен проводить измерения в тяжелых условиях процесса, таких как парообразование, конденсация. Радарные уровнемеры Rosemount 5400 способны работать в автономном режиме эксплуатации и в составе различных автоматизированных систем управления [51].

Таблица 33 – Технические данные уровнемер Rosemount 5400

Технические характеристики	Значение
Диапазон измерения	от 0,4 до 35 м
Частота измерения	6,8; 26 ГГц
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP67
Скорость измерения	40 мм/с

Выбираем уровнемер Rosemount 5400, т.к. его характеристики достаточны для разрабатываемой системы по диапазону и скорости измерения.

## 2.4.6 Выбор расходомера воды

### Расходомер МПР-380

Промышленный электромагнитный расходомер МПР-380 — решает задачи расхода жидкостей. Осуществляет непрерывно измерение объема электропроводных жидкостей, протекающих по трубопроводу [52]. В таблице 34 приведены технические характеристики расходомера.

Таблица 34 – Технические данные расходомера МПР-380

Технические характеристики	Значение
Температура рабочей среды	-40...50 °С
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP67

### Расходомер Blancett 1100

Турбинный металлический расходомер Blancett 1100 адаптирован для применения в сложных условиях. Blancett 1100 обладает точностью до 1 % и идеально подходит для измерения расхода в нефтяной и нефтехимической промышленности [53]. Технические характеристики расходомера приведены в таблице 35.

Таблица 35 – Технические данные расходомера Blancett 1100

Технические характеристики	Значение
Температура рабочей среды	-100...177 °С
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP67
Предел измерения	до 31,6 л/с

Выбираем турбинный расходомер Blancett 1100, т.к. его характеристики достаточны для разрабатываемой системы по диапазону и скорости измерения.

## 2.4.6 Выбор расходомера пара

МЕТРАН 332 — счетчик пара вихревой.

Счетчик пара Метран-332 предназначен для измерения объемного расхода. Коммерческий учет насыщенного и перегретого пара  $T \leq 200$  °С в открытых системах (без возврата конденсата) на объектах ЖКХ и промышленности [54].

Таблица 36 – Технические данные расходомера МПР-380

Технические характеристики	Значение
Предел измерения	5...160 м <sup>3</sup> /ч
Температура рабочей среды	до 50 °С
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP67

Ультразвуковой расходомер OPTISONIC 8300.

OPTISONIC 8300 ультразвуковой расходомер для пара и с температурой до +620°С и давлением до 20 МПа. Обладает высокой точностью измерений. Применяется в технологическом процессе на котельных и электростанциях или для учёта пара [55].

Таблица 37 – Технические данные расходомера МПР-380

Технические характеристики	Значение
Температура рабочей среды	до 620 °С
Предел измерения	0...180 м <sup>3</sup> /ч
Выходной сигнал	4...20 мА
Степень защиты	IP67

Вихревой расходомер-счетчик ЭМИС-ВИХРЬ 200

Интеллектуальный вихревой расходомер-счетчик ЭМИС-ВИХРЬ 200. Способен работать при высоких температурах и давлениях [56].

Таблица 38 – Технические данные расходомера МПР-380

Технические характеристики	Значение
Точность измерения	±1 %
Температура рабочей среды	-60...450 °С
Выходной сигнал	4...20 мА
Давление измеряемой среды	до 25 МПа

Выбираем ультразвуковой расходомер OPTISONIC 8300. Данный расходомер имеет наибольшую температуру рабочей среды, а также его диапазон измерений наиболее широкий.

В приложении Б приведена заказная спецификация приборов и средств автоматизации, основанная на выборе из рассмотренного списка приборов для измерения всех параметров в ходе технологического процесса.

## 2.5 Оценка погрешности измерительных каналов

Определение предела допускаемой основной приведенной погрешности измерительного канала измерения уровня:

$$\gamma_{ук} = \sqrt{\gamma_{ин}^2 + \gamma_{ПЛК}^2}, \quad (2.2)$$

где  $\gamma_{ин}$  – погрешность измерительного прибора (уровнемер Rosemount 5400);

$\gamma_{ПЛК}$  – погрешность модуля аналогового ввода ПЛК (SM 331-7NF00).

Тогда,

$$\gamma_{ук} = \sqrt{0,01^2 + 0,0005^2} = 0,01 \text{ \%}.$$

Определение предела допускаемой основной приведенной погрешности измерительного канала измерения давления:

$$\gamma_{ук} = \sqrt{\gamma_{ин}^2 + \gamma_{ПЛК}^2}, \quad (2.3)$$

где  $\gamma_{ин}$  – погрешность измерительного прибора МП4-У);

$\gamma_{ПЛК}$  – погрешность модуля аналогового ввода ПЛК (SM 331-7NF00).

Тогда,

$$\gamma_{ук} = \sqrt{0,0075^2 + 0,0005^2} = 0,075 \text{ \%}.$$

Определение предела допускаемой основной приведенной погрешности измерительного канала измерения расхода:

$$\gamma_{ук} = \sqrt{\gamma_{ин}^2 + \gamma_{ПЛК}^2}, \quad (2.4)$$

где  $\gamma_{ин}$  – погрешность измерительного прибора (расходомер Blancett 1100 );

$\gamma_{ПЛК}$  – погрешность модуля аналогового ввода ПЛК (SM 331-7NF00).

Тогда,

$$\gamma_{ук} = \sqrt{1^2 + 0,0005^2} = 1 \text{ \%}.$$

Определение предела допускаемой основной приведенной погрешности измерительного канала измерения температуры воздуха:

$$\gamma_{ук} = \sqrt{\gamma_{ин}^2 + \gamma_{ПЛК}^2}, \quad (2.5)$$

где  $\gamma_{ин}$  – погрешность измерительного прибора (ТПР-1888);

$\gamma_{ПЛК}$  – погрешность модуля аналогового ввода ПЛК (SM 331-7NF00).

Тогда,

$$\gamma_{ук} = \sqrt{0,25^2 + 0,0005^2} = 0,25 \text{ \%}.$$

Предел допускаемой основной приведенной погрешности выбранных средств автоматизации не превышает 1,5 %.

## 2.6 Проектирование принципиальной электрической схемы щита управления

Назначения принципиальной электрической схемы состоит в том, чтобы отобразить взаимные связи средств автоматизации, отдельных приборов и вспомогательной аппаратуры, входящих комплекс функциональных узлов систем автоматизации, также показаны их принцип действия и последовательность работы. Принципиальная электрическая схема применяется при производстве наладочных работ и в эксплуатации, в ней

отображается действие системы автоматизации. По принципиальной электрической схеме происходит разработка других документов проекта: таблиц пультов и щитов, монтажных схем, схем соединения внешних проводок и подключения и т. д.

Для разработки принципиальной электрической схемы используют следующую последовательность действий:

- на основании функциональной схемы составляются технические требования;
- по составленным требованиям устанавливают последовательность действия и условия схемы;
- показывается каждое из заданных условий действия схемы в виде различных элементарных цепей;
- элементарные цепи соединяются в общую схему;
- производится выбор аппаратуры и электрический расчет параметров отдельных элементов;
- проверка схемы на возможности возникновения ложных цепей или ее неправильной работы при повреждениях элементарных цепей или контактов;
- рассматриваются возможные варианты решения и принимается окончательная схема применительно к уже имеющейся аппаратуре.

В условном виде на принципиальной электрической схеме показаны аппараты, приборы, линии связи между отдельными элементами, блоками и модулями этих устройств.

В принципиальной электрической схеме изображены последовательно друг за другом по прямой условные графические обозначения составных частей электрических аппаратов и систем автоматизации входящих в одну цепь, а отдельные цепи – одну под другой, образуя параллельные строки. Также допускается и вертикальное расположение строк.

Показывают полностью линии связи между аппаратами, но в отдельных случаях, они могут быть оборваны, чтобы не усложнять схему. Обрывы линий при этом заканчиваются стрелками.

На первой странице схемы изображен щит питания для подвода электричества. Установлено термореле для защиты щита управления. Также установлено устройство защиты от перенапряжения. На втором листе показан модуль бесперебойного питания для подачи питания в различные компоненты щита управления. Также установлена вентиляция для охлаждения оборудования и защиты от перегрева. На третьем листе показана сборка жазимов, а также таблица расположения модулей на панели контроллера.

На четвертом листе указан аналоговый модуль контроллера схема соединения приборов по интерфейсу RS 485.

На листах 5...8 указано подключение приборов. Все приборы заведены в модули ET 491, которые связаны с аналоговым модулем контроллера. Также оставлена несколько резервных подключений на случай расширения системы или выхода из строя какого-либо измерительного прибора.

На девятом листе установлен модуль контроллера, который отвечает за сигнализацию в случае внештатных или чрезвычайных ситуаций. Между модулем контроллера и сигнализацией установлен коммутирующий разделительный усилитель MACX MCR-EX-SL-2NAM-RO-SP фирмы Phoenix contact.

На листах 10...22 показаны задвижки и дискретные модули контроллера для управления ими. Связь между модулем контроллера и задвижкой осуществляется через разделительный усилитель MACX MCR-EX-SL-2NAM-RO-SP. Кнопки для управления задвижками выведены на дверцу шкафа управления. На листах 24 и 25 указаны схемы подключения кнопок управления задвижками.

В данном разделе была разработана схема электрическая принципиальная АСУ газификации, которая приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.04 Э3.

## 2.7 Проектирование схемы внешних проводок

В верхней части схемы находится таблица, в которой отражаются наименования измеряемых параметров и места отбора информации.

Исполнительный механизм и пусковое устройство изображены в прямоугольниках. Показаны соединения внутри исполнительных механизмов, номера зажимов и номера соединений между ними. Внизу схемы показан щит управления в виде прямоугольника, внутри которого изображена сборка зажимов и подключения жил кабелей к клеммам колодки.

Упрощенно показаны изображения устройств. В каждом устройстве поставлены цифры, указывающие порядковый номер изделия. Над линиями, приходящими к зажимам, указаны маркировки участков цепей в соответствии с принципиальной схемой АСУ.

Для монтажной схемы внешних электрических и трубных проводок выбраны соответствующие провода и кабели. Электропроводки в системах автоматизации выполняют изолированными проводами и кабелями.

Монтажная схема представлена на листе ФЮРА.421000.004 С4

## 2.8 Проектирование сборочного чертежа щита управления

Щит автоматизации предназначается для размещения в нем аппаратуры управления и обеспечения автоматизации различных агрегатов. Основной принцип действия основан на постоянном отслеживании изменений параметров системы и выборе оптимального режима ее работы. Управление шкафами может осуществляться в автоматическом или ручном режиме.

Щит управления является шкафом силового класса. Он успешно используется для решения широкого спектра задач по автоматизации объектов, различающихся по назначению и сложности технического исполнения.

Разработанный щит автоматизации представлен на листах ФЮРА.421000.004 СБ.

В начальный момент разработки щита был выбран шкаф, в котором далее размещаются все модули. В верхней части щита располагаются контроллер Allen Bradley. Под ним размещены источник бесперебойного питания и аккумуляторный модульный блок АБ-24М. В следующих трех ячейках показаны различные термореле, преобразователи, выключатели, реле, резисторы. В нижней части изображены клеммы зажимов.

Также изображен шкаф в разрезе, с условным изображением общей толщины вставляемого оборудования. Показана дверь шкафа, на которой находятся кнопки управления задвижками. Для наглядности маркировки кнопок вынесены вниз в увеличенном размере.

На третьем листе показана панель шкафа Rittal ES 5884.500. По ней видно, как размещаются дин рейки в шкафу. На четвертом листе показана дверь шкафа с размерами для установки кнопок на ней.

## 2.9 Проектирование мнемосхемы SCADA – системы

На мнемосхеме показан технологический процесс установки промышленной газификации, а также на мнемосхеме видны показания параметров датчиков, информация о работе оборудования или его не работе, реализованы как обратная связь. По показаниям датчиков могут выскакивать алармы. Управление процессом происходит за счет кнопок регулирующих органов открыть, закрыть.

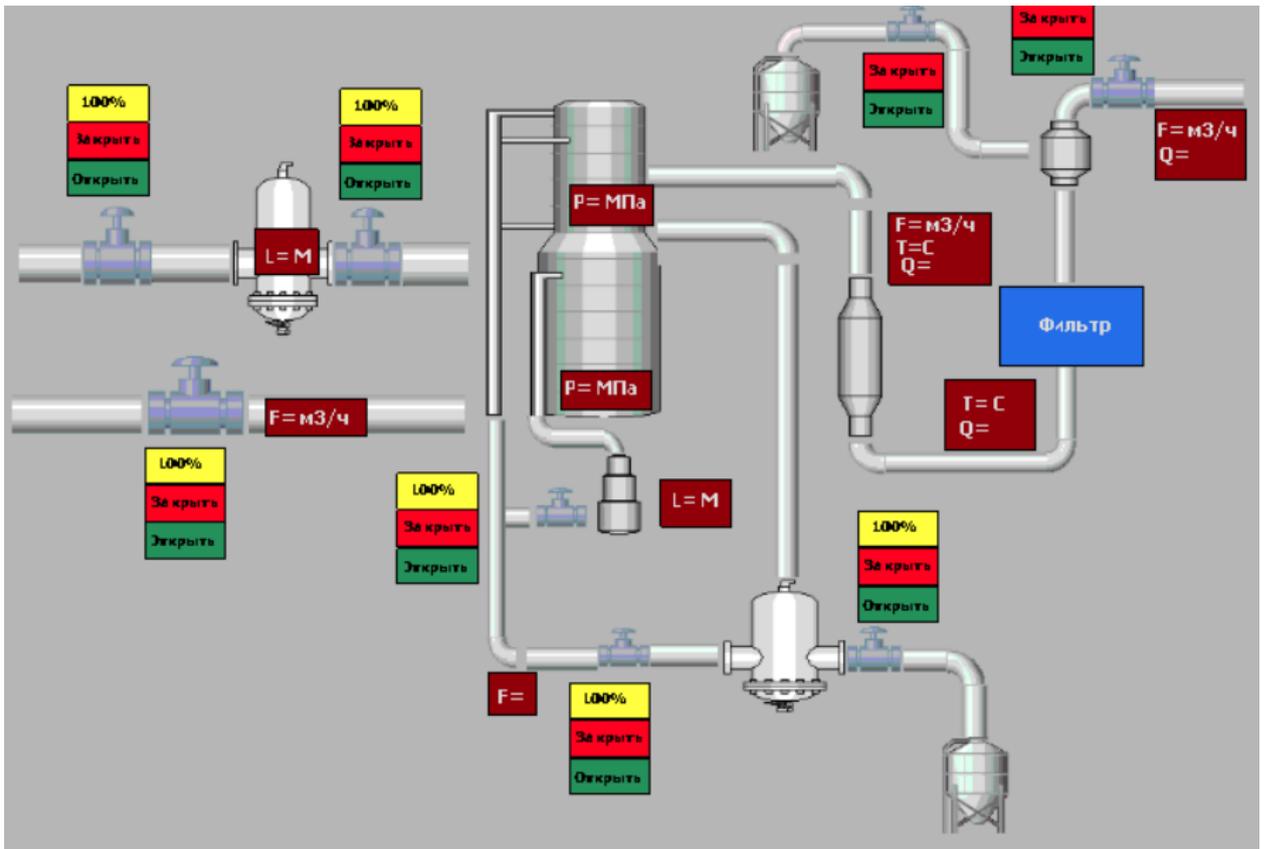


Рисунок 18 – Изображение мнемосхемы SCADA

### 3 Расчет параметров настройки регулятора

#### 3.1 Идентификация объекта управления

Идентификацией систем называется объединение способов, с помощью которых строится математическая модель динамической системы по наблюдаемым данным. Под математической моделью понимается описание математическими методами поведения процесса или системы в частотной или временной области. Выделяют два вида идентификации: пассивную и активную. Для активной идентификации исследуемый объект выводится из нормального рабочего режима, а на входы подают специальные сигналы. Активным видом идентификации пользуются для разработки новых технологий применительно к действующим промышленным объектам, а пассивную для уточнения математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения расхода. Модель составлена на базе экспериментальных исследований, проведенных на реальном объекте. Кривая разгона приведена на рисунке 19.

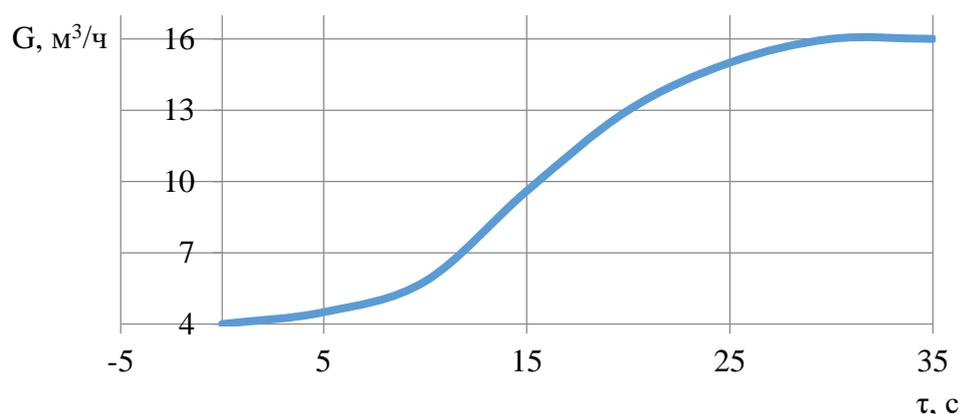


Рисунок 19 – Кривая разгона объекта управления:

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

Передаточная функция для кривой представляет собой аperiodическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP+1)} e^{-P\tau}, \quad (3.1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления;

$p$  – оператор Лапласа;

$\tau$  – время запаздывания;

$T$  – постоянная времени.

Решение уравнения 3.1 при нулевых начальных условиях представляет собой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[ 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases} \quad (3.2)$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания  $\tau$  и постоянную времени  $T$ .

Получаем два неизвестных значения время запаздывания  $\tau$  и постоянную времени  $T$ .

Коэффициент усиления:

$$k = \frac{h(T_y)}{A}, \quad (3.3)$$

где  $A$  – выходное воздействие, при единичном воздействии  $k = h(T_y)$ .

На кривой разгона строим две точки – А и Б. Точка А определяется как  $0,33 k$ , а точка Б имеет ординату  $0,7 k$ .

Постоянная времени  $T$  и время запаздывания  $\tau$  определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)}, \quad (3.4)$$

$$\tau = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \quad (3.5)$$

где  $t_A$  и  $t_B$  – значение времени для соответствующих точек на кривой;

$h_A$  и  $h_B$  – значение ординат для точек А и Б.

Определяем расположение на кривой точек А и Б и находим необходимые неизвестные параметры.

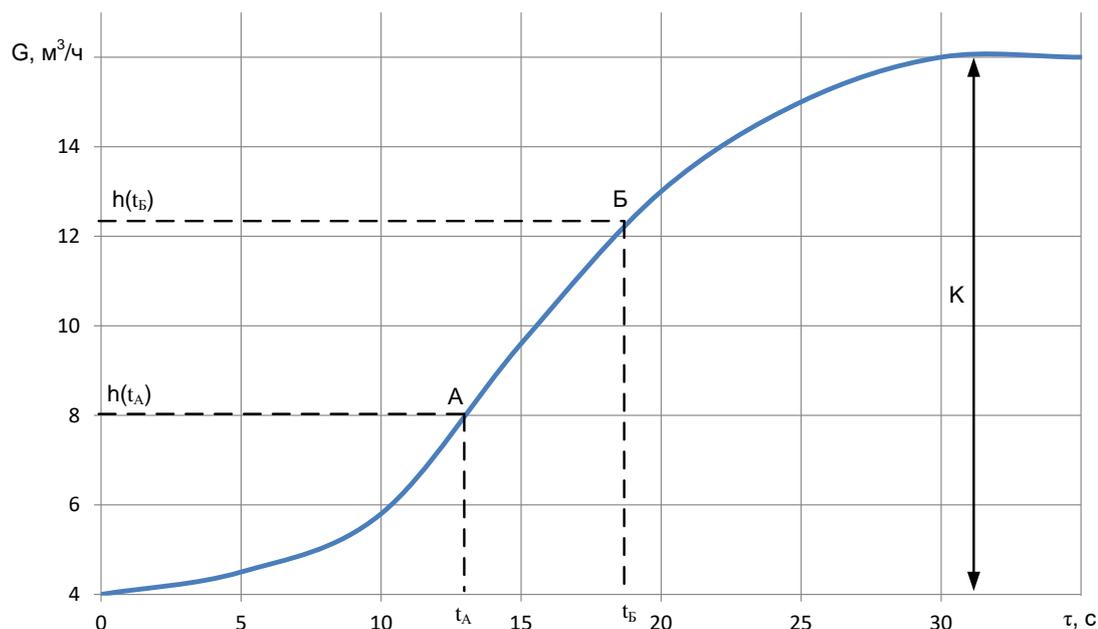


Рисунок 20 – Определение точек на кривой разгон для расчета параметров регулятора

Для наглядности и точности производится аппроксимация кривой по методу Орманна. Определяется время  $t_B$  по нормированной переходной функции  $H(t)$ , которое является корнем уравнения  $h(t_B)$  и время  $t_A$  и  $h(t_A)$ . Затем вычисляются постоянная времени  $T$  и время запаздывания  $\tau$ :

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B), \quad (3.6)$$

$$T = \frac{t_B - \tau}{1.2} = 1,25(t_B - t_A). \quad (3.7)$$

Определяем значения постоянной времени  $T$  и времени запаздывания

$\tau$ :

$$\tau = 0,5(3 \cdot 13 - 19) = 10 \text{ с},$$

$$T = 1,25(19 - 13) = 7,5 \text{ с.}$$

Передаточная функция (3.1) имеет вид:

$$W(P) = \frac{12}{(7,5P+1)} e^{-10P}.$$

### 3.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 21 представлен вид расчетной схемы системы регулирования.

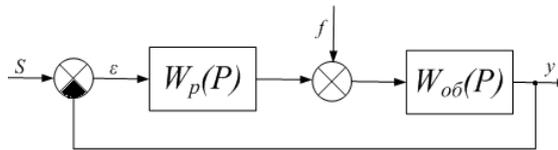


Рисунок 21 – Расчетная схема системы регулирования

Расчет системы производится для степени устойчивости равной  $\psi=0,75$ .

Определяем значение степени колебательности:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2\pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221. \quad (3.8)$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается формулой:

$$W(P) = \frac{12}{(7,5P+1)} e^{-10P}.$$

Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 39. Полученные значения представлены для диапазона частот от  $0,0001$  до  $0,34 \text{ с}^{-1}$ , с шагом по частоте в  $0,02 \text{ с}^{-1}$ .

Таблица 39 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m,\omega)$	$\text{Im}_{об}(m,\omega)$	$A_{об}(m,\omega)$
0	12,005	-0,021	12,005
0,020	12,024	-4,443	12,819
0,040	10,143	-8,703	13,365
0,060	6,654	-11,871	13,609
0,080	2,307	-13,383	13,580
0,100	-2,062	-13,189	13,349
0,120	-5,828	-11,614	12,994
0,139	-8,667	-9,121	12,582
0,159	-10,493	-6,146	12,160
0,179	-11,359	-3,030	11,756
0,199	-11,385	-0,018	11,385
0,219	-10,711	2,726	11,052
0,239	-9,479	5,093	10,760
0,259	-7,823	7,016	10,508
0,279	-5,867	8,457	10,293
0,299	-3,727	9,401	10,112
0,319	-1,506	9,848	9,963
0,338	0,699	9,817	9,842

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются как:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (3.9)$$

$$K_p = - \frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (3.10)$$

где  $T_u$  – постоянная времени интегрирования регулятора, с;

$K_p$  – коэффициент передачи регулятора.

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0 до 0,34  $\text{с}^{-1}$ , с шагом по частоте в 0,02  $\text{с}^{-1}$ . Полученные значения представлены в таблице 40.

Таблица 40 – Значение параметров ПИ-регулятора

$\omega, \text{c}^{-1}$	$K_p$	$K_p/T_i$
0	-0,08327	0,000000015
0,020	-0,0672	0,00056713
0,040	-0,04602	0,00203892
0,060	-0,02176	0,00402029
0,080	0,00353	0,00606603
0,100	0,02793	0,0077319
<b>0,120</b>	<b>0,04972</b>	<b>0,00862125</b>
0,139	0,06748	0,00842386
0,159	0,08014	0,00694466
0,179	0,08703	0,0041211
0,199	0,08787	0,00002847
0,219	0,08275	-0,0051264
0,239	0,07214	-0,01102187
0,259	0,0568	-0,01724699
0,279	0,03774	-0,02333334
0,299	0,01613	-0,0287909
0,319	-0,00676	-0,03314499
0,338	-0,02962	-0,03597189

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 22. 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.

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

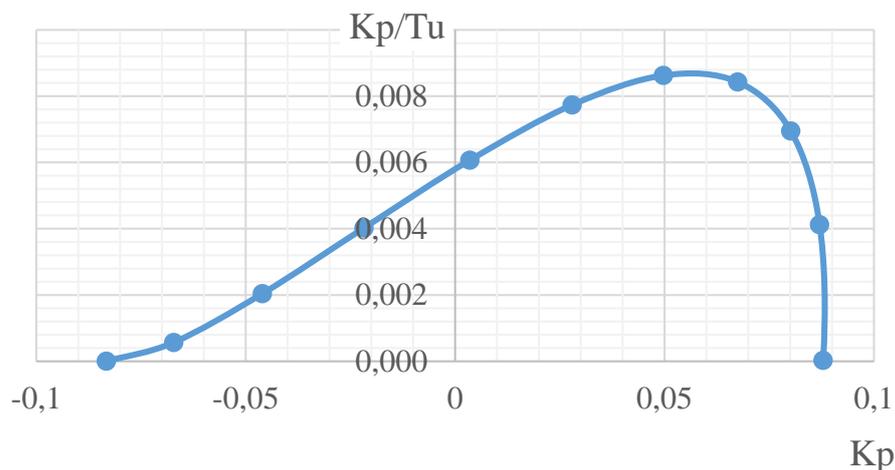


Рисунок 22 – График зависимости отношения  $K_p/T_u$  от коэффициента передачи регулятора  $K_p$

Из таблицы 40 определяем:

$$\max \left( \frac{K_p}{T_u} \right) = 8,62 \cdot 10^{-3}, \quad K_p = 49,72 \cdot 10^{-3}, \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,120 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_u} = 5,77 \text{ с.} \quad (3.11)$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (3.12)$$

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 23 представлен график вещественно-частотной характеристики.

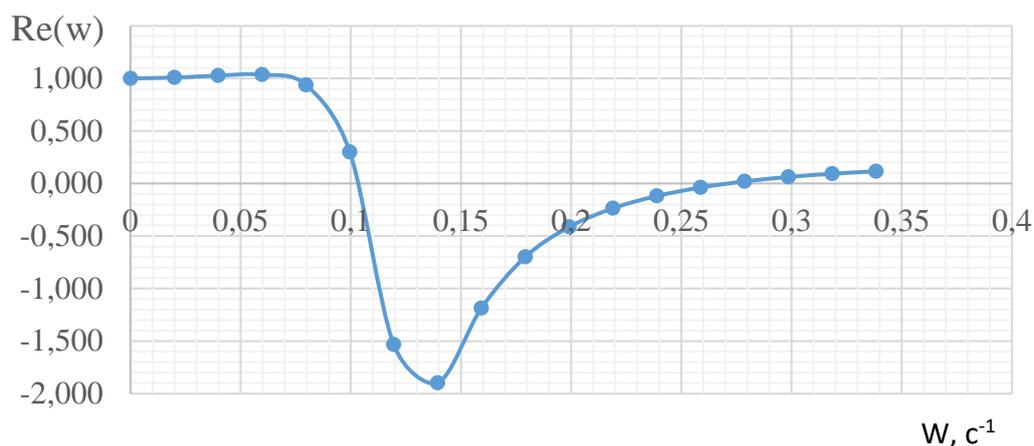


Рисунок 23 – Графическое представление вещественно-частотной характеристики системы

Переходная характеристика системы связана с вещественно частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega , \quad (3.13)$$

где  $Re(\omega)$  – вещественно-частотная характеристика системы;

$\omega$  – частота;

$t$  – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором вещественная частотная характеристика системы стремится к 0. Из рисунка 17 определяем это значение.

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,10} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega . \quad (3.14)$$

На рисунке 24 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.

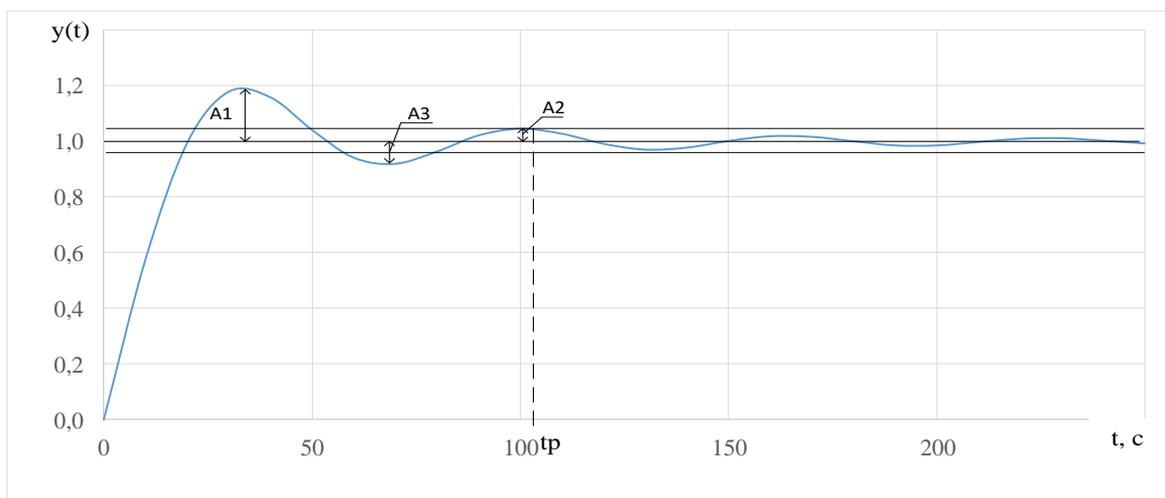


Рисунок 24 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график переходного процесса, определяются прямые оценки качества:

1) максимальная динамическая ошибка:  $A_1=0,2$ ;

2) перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,02}{1} \cdot 100 = 2 \% ; \quad (3.15)$$

3) динамический коэффициент регулирования  $R_d$ :

$$R_d = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,2+1}{12} \cdot 100 = 10 \% , \quad (3.16)$$

где  $K_{об} = 12$  – коэффициент передачи объекта;

4) степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,04}{0,2} = 0,8, \quad (3.17)$$

где  $A_2 = 0,04$  – второй максимальный выброс регулируемой величины;

5) статическая ошибка:

$$\varepsilon_{СТ} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0; \quad (3.18)$$

б) время регулирования:  $t_p = 107$  с.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ82	Белоногову Максиму Владимировичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>И.Н. Бутакова</b>
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- В исследовании задействовано 2 человека: Руководитель исследования, магистрант. - Исследования выполняется на базе ТПУ - бюджет проекта - не более 1000000 руб., в т.ч. затраты на оплату труда - не более 350000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» Значение показателя интегральной ресурсоэффективности - не менее 9,2 баллов из 11.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплата труда.

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Планирование работ и оценка их выполнения
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Смета затрат на проект
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Смета затрат на оборудование

**Перечень графического материала:**

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Диаграмма FAST
4. Матрица SWOT
5. Потенциальные риски

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	16.04.20
---	----------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5БМ74	Белоногов Максим Владимирович		

## 4 Финансовый менеджмент

Темой научно-исследовательской работы является разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом газификации отходов углеобогащения.

Целью научно-исследовательской работы является анализ целесообразности газификации отходов углеобогащения и поиск оптимального режима газификации, а также реализация проекта данной системы.

Целью написания данного раздела является расчет экономической эффективности разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом газификации отходов углеобогащения. Как известно, ресурсоэффективность — способность минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов, чтобы таким образом сэкономить ресурсы в широком смысле этого слова (материальные, финансовые и временные ресурсы, силы, здоровье и т.д.), а также использование меньшего количества ресурсов для производства того же объема продукции. В данной работе проведен анализ эффективности перехода с использования угля на использование отходов углеобогащения.

### 4.1 Предпроектный анализ

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями автоматизированной системы управления технологическим процессом газификации могут быть действующие установки, на которых не установлена система автоматизации. Они подразделяются на установки большой, средней и малой мощности. В таблице 41 приведены эффекты от внедрения системы автоматизации, а также указано для каких установок они будут действовать.

Таблица 41 – Карта сегментирования рынка по эффективности внедрения автоматизированной системы

Эффект от внедрения автоматизированной системы	Установки газификации		
	Установки большой мощности (Prenflo)	Установки средней мощности (Lurgi)	Установки малой мощности (Г-50)
Повышение производительности	+	+	-
Сокращение затрат	+	+	+
Сокращение персонала	+	+	-
Увеличение объема продукции	+	-	-
Целесообразность внедрения	+	+	-

По таблице сегментации рынка видно, что автоматизированная система подходит не для всех установок. Основными рынками, для которых целесообразно использовать систему, будут установки большой и средней мощности. Для установок малой мощности внедрение автоматизированной системы нецелесообразно, т.к. возможный положительный эффект не превысит затраты на внедрение и обслуживание. В установках большой и средней мощности после внедрения системы ожидается повышение производительности, повышение объема продукции и снижение затрат на обслуживающий персонал, что ведет к снижению затрат на обслуживание целесообразности внедрения системы.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Данный анализ проводится с целью изучения конкурирующих разработок, которые имеются на рынке. Результаты этого анализа может внести коррективы в научное исследование, для увеличения конкурентоспособности исследования. Для анализа используется вся

имеющаяся информация о других разработках. Помимо прочего, данный анализ позволяет оценить насколько эффективна научная разработка и определить направление дальнейшего развития. Результаты анализа приведены в таблице 42. В таблице ф – исследуемая разработка, к1 – новая разработка конкурентов, использующая схожую технологию, к2 – традиционные методы газификации.

Таблица 42 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	5	4	1,5	1,5	1,2
Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	4	0,15	0,2	0,2
Надежность	0,1	4	4	3	0,3	0,3	0,2
Безопасность	0,15	5	4	5	0,8	0,6	0,8
Функциональные возможности	0,1	4	4	4	0,5	0,3	0,4
Качество получаемого продукта	0,15	5	5	4	0,7	0,7	0,6
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	3	0,2	0,2	0,1
Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	4	0,1	0,1	0,05
Цена	0,1	4	3	4	0,3	0,3	0,4
Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	4	0,4	0,4	0,3
Финансирование научной разработки	0,05	4	4	4	0,3	0,3	0,3
Итого	1	49	47	43	5,55	4,9	4,55

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее

слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Из таблицы видно, что разрабатываемый продукт является конкурентоспособным, по сравнению с конкурентной продукцией, за счет таких показателей, как безопасность, удобство в эксплуатации и качество получаемого продукта.

#### 4.1.3 FAST – анализ

FAST – анализ необходим для выявления того, что затраты, которые уходят на создание и эксплуатацию проекта, являются необходимыми. Также этот анализ помогает избежать излишних затрат, связанных с несовершенством проекта.

В магистерской диссертации в качестве объекта автоматизации выбрана установка промышленной газификации “Prenflo”. В установке процесс газификации предназначен для применения в ПГУ ТЭС. В качестве сырья применяется уголь. Он подвергается процессу газификации под давлением 2,5 МПа с высокой степенью конверсии углерода.

Установка в ходе своей работы осуществляет несколько функций. В таблице 43 приведены эти функции, а также они разделены на главные, основные и вспомогательные.

Таблица 43 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование узла	Выполняемая функция	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
Газогенератор	Газификация топлива	+		
Система подготовки топлива	Подготовка топлива для дальнейшей газификации		+	

Продолжение таблицы 43

Наименование узла	Выполняемая функция	Ранг функции		
		Главная	Основная	Вспомогательная
Система очистки газа	Очистка получившегося газа от примесей		+	
Система удаления шлака	Удаление накопившегося шлака из газогенератора			+

Из таблицы 43 видно, что главная функция установки является газификация топлива. Функции подготовки топлива и его очистки можно отнести к основным функциям, без которых функционирование установки невозможно. Функция удаление накопившегося шлака относится к вспомогательным, т.к. несет функцию поддержания работоспособности установки.

По полученным функциям проводится оценка их значимости. Для этого используется метод расстановки приоритетов. Результаты оценки представлены в таблице 44.

Таблица 44 – Матрица смежности

	Газификация топлива	Подготовка топлива	Очистка газа	Удаление шлака	Итого
Газификация топлива	1	1,5	1,5	1,5	5,5
Подготовка топлива	0,5	1	1	1,5	4
Очистка газа	0,5	1	1	1,5	4
Удаление шлака	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					16

Из таблицы 44 можно узнать, что наибольший бал набрала функция газификация топлива. Подготовка топлива и очистка газов являются равно значимыми функциями. Наименьший балл набрала функция удаление шлака.

Каждая выполняемая функция имеет определенный уровень затрат на ее реализацию. Для оценки уровня этих затрат применяется нормативный метод. Результаты определения стоимости функций, выполняемых объектом автоматизации представлены в таблице 45.

Таблица 45 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование узла	Выполняемая функция	Норма расхода	Заработная плата	Себестоимость
Газогенератор	Газификация топлива	1875 кг/ч	34,4	-
Система подготовки топлива	Подготовка топлива	1875 кг/ч	27,4 руб.	348, руб.
Система очистки газа	Очистка получившегося газа от примесей	4200 м <sup>3</sup> /ч	30,1 руб.	157, руб.
Система удаления шлака	Удаление накопившегося шлака из газогенератора	200 кг/ч	25,2 руб.	96, руб.

Информацию, собранную на предыдущих стадиях анализа, обобщим в виде функционально-стоимостной диаграммы

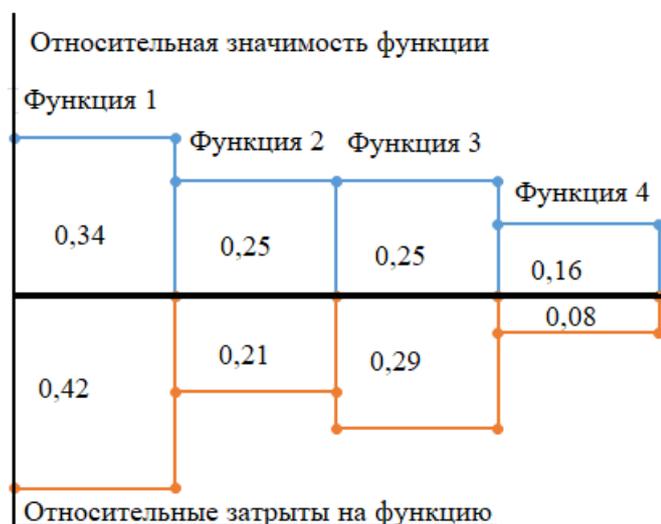


Рисунок 25 – Функционально стоимостная диаграмма

По построенной функционально стоимостной диаграмме видно, что самой значимой функцией является газификация. Функция подготовки топлива и очистки газа имеют примерно одинаковую значимость. Функция 4 является наименее значимой для исследуемого объекта. Также видно, что затраты на функции примерно идентичны их значимости. Больше всего затрат идет на функцию газификации, а меньше всего на функцию удаления шлака.

Для оптимизации функций, выполняемых объектом, можно предложить применение новых технологий, таких как автоматизация всех процессов, что позволит повысить производительность установки, а также качество получаемого продукта. Также, за счет автоматизации, повысится качество получаемого продукта, что также может вести к дополнительной прибыли. Кроме названных преимуществ, автоматизация повысит безопасность работы на установке. В дополнение повысится ремонтпригодность приборов и оборудования. Помимо названных преимуществ, автоматизация уменьшит расходы на обслуживание за счет сокращения обслуживающего персонала и повышения производительности и качества продукта.

#### 4.1.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма Исикава представляет собой графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Диаграмму используют для оценки причинно-следственных связей, анализа и упорядочивания процессов на производстве, нахождение причин происхождения проблем. Диаграмма Исикава представлена на рисунке 26.

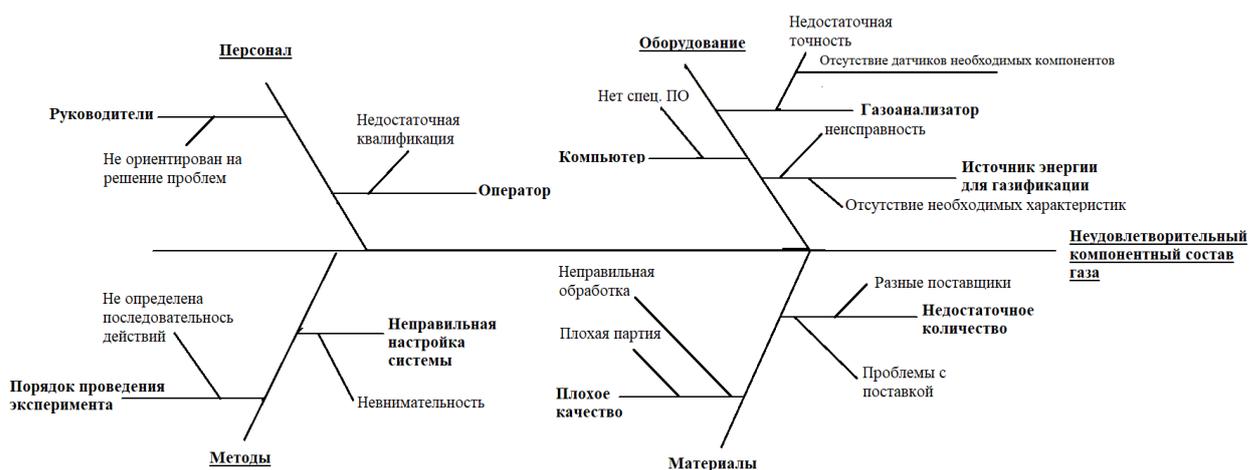


Рисунок 26 – Диаграмма Исикава

#### 4.1.5 SWOT – анализ

Назначением SWOT – анализа является выявление сильных и слабых сторон проекта, его возможностей, а также угроз, связанных с созданием проекта. Анализ проводится в несколько этапов. На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта. В таблице 46 представлены сильные и слабые стороны проекта, а также выявлены возможности и угрозы его реализации. На втором этапе строятся интерактивные матрицы для оценки вариантов стратегического выбора. Они представлены в таблице 47.

Таблица 46 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта (С):</p> <p>С1. Надежная работа технологии.</p> <p>С2. Востребованность производимого газа.</p> <p>С3. Низкая стоимость производства</p> <p>С4. Доступность и низкая стоимость источника газификации</p> <p>С5. Наличие финансирования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта (Сл):</p> <p>Сл1. Доля рынка продаж.</p> <p>Сл2. Сложность с отбором произведенного продукта в специальную емкость.</p> <p>Сл3. Отсутствие у компаний, персонала способные оборудовать предприятия данной технологией.</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта разработки прототипа.</p>
<p>Возможности (В):</p> <p>В1. Возможность долговременной эксплуатации технологии.</p> <p>В2. Обслуживание новых групп потребителей и товарных сегментов.</p> <p>В3. Появление спроса на разработанную технологию.</p> <p>В4. Обновление методик, работающих в данной области.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>		
<p>Угрозы (У):</p> <p>У1. Отсутствие спроса на разработанную технологию.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Непригодность предприятия для реализации технологии.</p> <p>У4. Неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение данного проекта.</p>		

Таблица 47 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	0
	В2	+	+	+	+	+
	В3	+	-	+	+	-
	В4	+	+	+	+	0
В5	-	-	-	+	-	
Возможности проекта	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	В1	+	-	-	-	
	В2	+	-	-	-	
	В3	+	-	-	+	
	В4	+	-	-	+	
В5	+	-	-	+		
Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	-	-	+
	У2	+	+	+	+	0
	У3	+	-	+	+	-
	У4	+	+	-	+	
У5	+	-	-	+	-	
Угрозы	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	У1	+	-	-	+	
	У2	+	-	-	+	
	У3	-	+	+	-	
	У4	+	-	-	+	
У5	+	-	-	+		

По полученным результатам интерактивных матриц, представленных в таблицах 46 и 47, видно, что сильные стороны коррелируются с возможностью оборудования предприятий данной технологии и возможным появлением спроса на разработанную технологию.

Полученные результаты анализа заносятся в таблицу 48, для наглядной демонстрации возможных корреляционных вариантов.

Таблица 48 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта (С):</p> <p>С1. Надежная работа технологии.</p> <p>С2. Востребованность производимого газа.</p> <p>С3. Низкая стоимость производства</p> <p>С4. Доступность и низкая стоимость источника газификации</p> <p>С5. Наличие финансирования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта (Сл):</p> <p>Сл1. Доля рынка продаж.</p> <p>Сл2. Сложность с отбором произведенного продукта в специальную емкость.</p> <p>Сл3. Отсутствие у компаний, персонала способные оборудовать предприятия данной технологией.</p> <p>Сл4. Отсутствие опыта разработки прототипа.</p>
<p>Возможности (В):</p> <p>В1. Возможность долговременной эксплуатации технологии.</p> <p>В2. Обслуживание новых групп потребителей и товарных сегментов.</p> <p>В3. Появление спроса на разработанную технологию.</p> <p>В4. Обновление методик, работающих в данной области.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1С1С2С3С4</p> <p>В1С1С2С3С4С5</p> <p>В3С1С3С4</p> <p>В1С1С2С3С4</p> <p>В1С4</p>	<p>В1Сл1</p> <p>В2Сл1</p> <p>В3Сл1Сл4</p> <p>В3Сл1Сл4</p> <p>В3Сл1Сл4</p>
<p>Угрозы (У):</p> <p>У1. Отсутствие спроса на разработанную технологию.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Непригодность предприятия для реализации технологии.</p> <p>У4. Неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение данного проекта.</p>	<p>У1С1С2С5</p> <p>У2С1С2С3С4</p> <p>У3С3С4</p> <p>У4С1С2С4</p> <p>У5С1С4</p>	<p>У1Сл1Сл4</p> <p>У1Сл1Сл4</p> <p>У1Сл2Сл3</p> <p>У1Сл1Сл4</p> <p>У1Сл1Сл4</p>

SWOT-анализ показал, что для реализации проекта наиболее благоприятными направлениями являются: возможность оборудования завода данной технологией и появление спроса на разработанную технологию у других предприятий. А главными угрозами для реализации проекта являются: неблагоприятные изменения курсов валют или торговой политики в других странах и отсутствие спроса на разработанную технологию.

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемая технология является перспективным проектом, о чем свидетельствует большое количество сильных сторон и маловероятные угрозы.

#### 4.1.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка готовности к коммерциализации позволяет оценить уровень знаний по научной разработке. При оценке необходимо заполнить специальную форму, в которой содержатся показатели о степени готовности проекта с точки зрения коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта. В таблице 49 приведён перечень вопросов и оценка компетенции.

Таблица 49 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4

Продолжение таблицы 49

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	3
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	1
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	4
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>60</b>	<b>50</b>

При проведении анализа по таблице, каждому показателю присваивается оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. При оценке уровня знаний у разработчика: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать. Оценка готовности определяется суммой баллов. Если сумма баллов составляет от 75 до 60, то разработку можно считать перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – в этом случае перспективность выше среднего. В случае от 44 до 30 – то перспективность считается средней. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По таблице видно в каких направлениях следует в дальнейшем продолжать развитие проекта. Пунктам таблицы, которые получили баллы от трех и меньше, следует попытаться увеличить балл. По степени проработанности научного проекта итоговый балл вышел равным 60, что соответствует перспективности проекта. По уровню имеющихся знаний у разработчика вышел балл 50, что соответствует перспективности выше среднего, но имеется задел для развития и повышения балла.

#### 4.1.7 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В данном разделе выбирается метод коммерциализации научных разработок. Коммерциализация необходима для достижения определенной

цели. Целью может являться получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок, однократное получение финансовых ресурсов или обеспечение постоянного притока финансовых средств.

Существует несколько методов для реализации:

- торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе;

- передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом;

- инжиниринг, предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной другой стороне, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции;

- франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях;

- организация собственного предприятия;

- передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия;

- организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия;

- организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Оптимальным методом коммерциализации научной разработки будет передача ноу-хау. Благодаря этому методу можно будет раскрыть потенциал разработки, за счет чего другие фирмы, желающие узнать технологию, могут заинтересоваться проектом. При передаче ноу-хау коммерческая ценность

информации не потеряет силу, что может способствовать сохранению в тайне новых технологий. Также сохраняются авторские права на разработку.

#### 4.2 Инициация проекта

Инициация состоит из процессов, которые выполняют для определения нового проекта или новой фазы существующего. В ходе инициации определяют первоначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяют внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Процесс инициации состоит из нескольких этапов. На первом этапе определяют цели заинтересованные стороны и результаты проекта. Эти данные представлены в таблицах 50 и 51. На втором этапе определяется рабочая группа. Она показана в таблице 52. И на заключительном этапе выявляют ограничения и допущения проекта, представленные в таблице 53.

Таблица 50 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчик проекта	Достижение положительного результата, выполнение поставленных задач
Спонсор	Успешная реализация поставленных задач, публикации в известных журналах
Руководитель проекта	Выполнение всех обязательств, успешная реализация проекта
Команда проекта	Получение опыта работы

Таблица 51 – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта</b>	Разработка новой технологии газификации.
<b>Ожидаемые результаты проекта</b>	Разработана технология, позволяющая получить газ необходимого состава.
<b>Критерии приемки проекта</b>	– Разработана новая технологи газификации; – компонентный состав газа соответствует стандартам;
<b>Критерии приемки проекта</b>	– полученные результаты подтверждены экспериментами.
<b>Требования к результату проекта</b>	<b>Требования</b>
	Выполнены все цели проекта.
	Получаемый газ имеет необходимый состав, соответствующий современным требованиям.
	Написание статей по разработанной технологии.
	Все разработки запатентованы.

Таблица 52 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
ТПУ	Заказчик проекта	Финансовая поддержка	
Егоров Р.И ТПУ, научный сотрудник	Руководитель проекта	Планирование работ, анализ полученных результатов, написание публикаций	90
Глушков Д.О. ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Проверка работы, оказание необходимой помощи	30
Белоногов М.В. Студент ТПУ	Исполнитель	Выполнение экспериментов, обработка результатов	90
<b>ИТОГО:</b>			<b>210</b>

Таблица 53 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	1000000 руб.
Источник финансирования	ТПУ

Продолжение таблицы 53

Фактор	Ограничения/допущения
Сроки проекта	01.09.19 - 01.12.19
Дата утверждения плана управления проектом	01.09.19
Дата завершения проекта	01.12.19
Допущения	Сотрудничество с партнерами, набор персонала, отхождение от плана отхождение от плана

### 4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

#### 4.3.1 Иерархическая структура проекта

Иерархическая структура работ представляет собой детализации. Структуры работ. В ходе ее создания структурируется и определяется содержание всего проекта. Иерархическая структура проект представлена на рисунке 27.



Рисунок 27 – Иерархическая структура проекта

По иерархической структуре проекта видно, что он состоит из нескольких фаз. Перед началом выполнения проекта происходит

планирование работ. В конце каждой фазы, связанной с экспериментами, следуют обработка и анализ полученных результатов. После экспериментальных фаз следует заключение, которое включает в себя обобщенный анализ всех полученных результатов и составление выводов по результатам выполненного проекта.

#### 4.3.2 План проекта

Для оценки затрат на проект необходимо знать, сколько времени было потрачено на его разработку. Анализируя затраченное время на проект составим таблицу для наглядности. В таблице 54 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 54 – Планирование работ и оценка их выполнения

Наименование работ	Количество исполнителей		Продолжительность, дней	
	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель
1 Выдача и получение задания	1	1	1	1
2 Анализ литературных данных	1	-	20	-
3 Описание объекта исследования	1	-	9	-
4 Разработка функциональной схемы	1	1	3	1
5 Выбор технических средств и составление заказной спецификации	1	1	8	1
6 Разработка монтажной и принципиальной схем	1	1	8	1
7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции	1	1	4	1

Продолжение таблицы 54

Наименование работ	Количество исполнителей		Продолжительность, дней	
	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 разряд)	Инженер (10 разряд)	Руководитель (16 р)
8 Проведение экспериментальных исследований	1	1	25	2
9 Обработка результатов исследований	1	-	11	-
10 Техничко-экономическое обоснование	1	-	4	-
11 Социальная ответственность	1	-	4	-
12 Оформление пояснительной записки	1	-	9	-
Проверка пояснительной записки	-	1	-	3
Итого	-	-	106	10

Анализируя перечень работ и оценки их выполнения, составим график проведения НИР, который представлен в таблице 55. Такие графики используются для иллюстрации графика работ по проекту и являются одним из методов планирования проектов. В таблицы введены обозначения И – инженер, Р – руководитель. Черным цветом выделена работа инженера, красным выделена работа руководителя.

Таблица 55 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Наименование работ	исполнитель	Т <sub>к</sub> , кал, дн.	Продолжительность, дней													
			Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1 Выдача и получение задания	И, Р	1	■													
2 Анализ литературных данных	И	20	■	■	■											
3 Описание объекта исследования	И	9			■	■										
4 Разработка функциональной схемы	И, Р	4				■	■									
5 Выбор технических средств и составление заказной спецификации	И, Р	9					■	■	■							
6 Разработка монтажной и принципиальной схем	И, Р	9						■	■	■						
7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции	И, Р	5							■	■	■					
8 Проведение экспериментальных исследований	И, Р	27								■	■	■	■			
9 Обработка результатов исследований	И	11										■	■	■		
10 Техничко-экономическое обоснование	И	4											■			
11 Социальная ответственность	И	4												■		
12 Оформление пояснительной записки	И	9											■	■	■	
Проверка пояснительной записки	Р	3													■	

■ Преподаватель ■ Студент

## 4.4 Бюджет проекта

### 4.4.1 Смета затрат на проект

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (4.1)$$

где  $K_{\text{мат}}$  – материальные затраты, руб.;

$K_{\text{ам}}$  – амортизация компьютерной техники, руб.;

$K_{\text{з/пл}}$  – затраты на заработную плату, руб.;

$K_{\text{с.о}}$  – затраты на социальные нужды, руб.;

$K_{\text{пр}}$  – прочие затраты, руб.;

$K_{\text{накл}}$  – накладные расходы, руб.

#### 4.4.1.1 Материальные затраты

В данном разделе представлены все материальные затраты, потраченные в ходе выполнения проекта. В материальные затраты входит вся стоимость материалов, используемых при разработке проекта. В таблице 56 представлены все виды материальных затрат на проект.

Таблица 56 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт	Цена, руб	Затраты, руб
Компьютер	1	40000	40000
Принтер	1	3000	3000
Мышка компьютерная	1	1000	1000
Клавиатура	1	1000	1000
Крепежные изделия	3	2500	7500
Специальные инструменты	1	3000	3000
Итого			55500

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. Результаты расчетов представлены в таблице 57.

Таблица 57 – Расчет бюджета затрат на приобретение специального оборудования

Наименование	Количество, шт	Цена, руб	Затраты, руб	Стоимость оборудования с учетом доставки
Мультиметр	1	1500	1500	1500
Блок питания	1	8000	8000	9200
Галогенная лампа	1	5000	5000	5750
Паяльная станция	1	12000	12000	12000
Итого			26500	28450

#### 4.4.1.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и

опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 58.

Таблица 58 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
Измерение температуры	Руководитель	10	1025	10250
	Инженер	20	588	11760
Эксперименты для изучения влияния концентрации влажности на газификацию	Руководитель	10	1025	10250
	Инженер	30	588	17640
Эксперименты для изучения влияния концентрации кислорода на газификацию	Руководитель	10	1025	10250
	Инженер	30	588	17640
Анализ и обработка результатов	Руководитель	20	1025	20500
	Инженер	10	588	5880
Написание публикаций в научные журналы	Руководитель	40	1025	41000
ИТОГО	Руководитель	90	1025	92250
	Инженер	90	588	52920

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработанная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.3)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработанная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года ( $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя, при отпуске в 48 раб. дня);

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн. (Таблица 58)

Таблица 59 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней – выходные дни - праздничные дни	64	64

Продолжение таблицы 59

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Потери рабочего времени- отпуск невыходы по болезням	30	30
Действительный годовой фонд рабочего времени	272	272

Месячный должностной оклад работника

$$Z_m = Z_b(1 + k_{пр} + k_d)k_p, \quad (4.5)$$

где  $Z_b$  - заработная плата по тарифной ставке, руб;

$k_{пр}$  - премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от  $Z_{тс}$ );

$k_d$  - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15...20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 60 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2236,8	90	201312
Инженер	15000	0,3	0,2	1,3	29250	1118,48	90	100663

#### 4.4.1.4 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.6)$$

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

Таблица 61 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	201312	100663
Дополнительная зарплата	30196,8	15099,5
Зарплата исполнителя	231508,8	115762,45

#### 4.4.1.5 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{\text{соц/н}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3, \quad (4.7)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 143137 \cdot 0,3 = 42941 \text{ руб.}$$

#### 4.4.1.6 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \quad (4.8)$$

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1742,5 + 143137 + 42941) \cdot 0,1 = 18882 \text{ руб.}$$

#### 4.4.1.7 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \quad (4.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 143137 \cdot 2 = 286274 \text{ руб.}$$

В таблице 62 представлена смета затрат на проект.

Таблица 62 – Смета затрат на проект

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1500
Амортизация компьютерной техники	1742,5
Затраты на заработную плату	143137
Затраты на социальные нужды	42941
Прочие затраты	18882
Накладные расходы	286274
<b>Итого</b>	<b>495347,7</b>

#### 4.4.2 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 63 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 63 – Затраты на оборудование

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
ПЛК allen bradley	40000	1
Модуль расширения MP1	4000	6
Исполнительный механизм	19000	10

Продолжение таблицы 63

Наименование	Стоимость, руб.	Количество, шт.
Блок управления	14000	4
Датчик температуры	1700	2
Манометр	850	4
Газоанализатор	15000	4
Расходомер воздуха	3000	3
Расходомер пара	3300	1
Расходомер жидкости	3100	1
Уровнемер	8000	3
Провод КИПЭВ 2х0,6	250	1
Провод КРВГ 4х1	1580	1
Провод КРВБГ 10х1	2600	1
Провод КРВБГ 10х1	1000	1
Провод АКРВБГ 4х2.5	3500	1
Провод АКРВБГ 7х2.5	1000	1
Компьютер	50000	1
Итого	<b>476100</b>	46

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{МОНТ}} = 0,1 \cdot I_{\text{ОБОР}} \text{ руб.}, \quad (4.10)$$

где  $I_{\text{ОБОР}}$  – затраты на оборудование.

$$I_{\text{МОНТ}} = 0,1 \cdot 476100 = 47610 \text{ руб.}$$

#### 4.4.3 Определение экономической эффективности проекта

Экономическая эффективность определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = I_{\text{до}} - I_{\text{после}}, \quad (4.11)$$

где  $I_{\text{до}}$  – издержки производства тепловой энергии, при использовании угля;

$I_{\text{после}}$  – издержки производства тепловой энергии, при использовании разработанной технологии газификации отходов углеобогащения.

$$I_{\text{до}} = B \cdot Ц \cdot P \cdot M, \quad (4.12)$$

$$I_{\text{после}} = B \cdot Ц \cdot P \cdot M, \quad (4.13)$$

где  $B$  – расход топлива;

$Ц$  – цена топлива за 1 кг;

$P$  – продолжительность рабочего дня;

$M$  – количество рабочих дней в году.

Для выбранного объекта автоматизации технологического процесса газификации расход твердого топлива составляет 1875 кг/ч. При переходе на суспензионное топливо, в роли которого предполагается использовать ВУТ, расход составляет 1200 кг/ч. в год, увеличение расхода связано с меньшей калорийностью ВУТ. Цена одного килограмма бурого угля составляет 2,5 руб., ВУТ – 1,8 руб. Продолжительность рабочего дня составляет 8 часов, количество рабочих дней в году 240.

$$I_{\text{до}} = 1875 \cdot 2,5 \cdot 8 \cdot 240 = 9000000 \text{ руб.},$$

$$I_{\text{после}} = 1200 \cdot 1,8 \cdot 8 \cdot 240 = 4147200 \text{ руб.},$$

$$\Delta = 9000000 - 4147200 = 4852800 \text{ руб.}$$

Из этих показателей видно, что при использовании технологии газификации отходов углеобогащения повысится прибыль установки, т.к. снизятся затраты на приобретение топлива для газификации.

#### 4.5 Реестр рисков проекта

В ходе выполнения проекта могут возникать риски, которые ведут за собой нежелательные последствия. Для предотвращения возможных последствий риски заранее идентифицируются. Возможные риски проекта представлены в таблице 64. Каждому риску присвоен свой уровень опасности.

Таблица 64 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения	Условия наступления
Неполучение нового эффекта	Провал проекта	1	1	Низкий	Применение различных методик	Не выявлен новый эффект
Не востребованность технологии	Закрытие проекта	2	2	Низкий	Изучение современных трендов	Отказ от технологии
Отсутствие финансирования	Закрытие проекта	3	3	Средний	Показать необходимость технологии	Уход спонсоров
Конкуренция	Сложности с реализацией	4	4	Высокий	Изучения современных трендов	Технология исследована другими

По приведенной выше таблице видно, какие группы рисков могут сильнее всего повлиять на проект. В ходе выполнения проекта может появиться необходимость повторного мониторинга группы рисков. Также рекомендуется изучать современные тренды для постоянной востребованности проекта.

#### 4.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В таблице 65 представлено сравнение различных исполнения проекта. В таблице под аналогом 1 подразумевается применение более совершенных приборов для проведения экспериментов. Такие приборы имеют более высокую цену, а значит и материальные затраты выйдут дороже. Под аналогом 2

подразумевается применять установку с более дешевыми приборами, но такие приборы не всегда способны обеспечить необходимую точность измерения.

Таблица 65 – Расчет бюджета

Наименование статьи	Сумма, руб		
	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Материальные затраты	476100 руб.	529400 руб.	467500 руб.
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	122708	122708	122708
Накладные расходы (16 % от суммы ст. 1-2)	95809	104337	94433
Бюджет затрат проекта (Сумма ст.1-2)	694617	756445	684641

Интегральные показатели финансовой эффективности научного исследования:

$$I_{\Phi}^{\text{ТП}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (4.14)$$

$$I_{\Phi}^{\text{ТП}} = \frac{694617}{756445} = 0,91,$$

$$I_{\Phi}^{\text{аналог1}} = \frac{756445}{756445} = 1,$$

$$I_{\Phi}^{\text{аналог2}} = \frac{684641}{756445} = 0,90.$$

Таблица 66 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Анализирует все необходимые компоненты	0,33	5	5	4
Удобство в эксплуатации	0,15	4	5	4
Точность результатов	0,3	5	5	3
Финансовые затраты	0,15	3	2	3
Энергосбережение	0,1	2	1	2

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (4.15)$$

$$I_m^{\text{ТП}} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,1 = 4,25,$$

$$I_m^{\text{аналог1}} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,1 = 4,15,$$

$$I_m^{\text{аналог2}} = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,1 = 3,35.$$

Наиболее выгодным оказалось исполнение текущего проекта.

Далее найдем интегральный показатель эффективности текущего проекта и аналогов.

$$I_{\text{фи нр}}^{\text{ТП}} = \frac{I_m}{I_{\phi}}, \quad (4.16)$$

$$I_{\text{фи нр}}^{\text{ТП}} = \frac{4,25}{0,91} = 4,67,$$

$$I_{\text{фи нр}}^{\text{ТП}} = \frac{4,15}{1} = 4,15,$$

$$I_{\text{фи нр}}^{\text{ТП}} = \frac{3,35}{0,9} = 3,72.$$

Проведем сравнительный анализ эффективности текущего проекта и аналогов в таблице 67.

Таблица 67 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработка	1	0,9	0,91
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,15	3,35	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,15	3,72	4,67
4	Сравнительная эффективность исполнения	9,3	7,97	9,83

По данным таблицы 67 видно, что самым эффективным способом исполнения проекта является текущая разработка. Она имеет наивысший балл по двум параметрам, и имеет идентичный балл по третьему параметру. Вторым наиболее перспективным вариантом исполнения вышел аналог 1. Он имеет более высокую стоимость, но функционал аналога является примерно идентичным. Наименее выгодным вариантом вышел аналог 3. Он является самым дешевым, но не может обеспечить выполнение других критериев оценки.

#### 4.7 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе выполнения экономической части ВКР произведены предпроектный анализ, рассчитана бюджетная часть, а также приведены экономическая эффективность, реестр рисков и оценка сравнительной эффективности.

В предпроектном анализе выявлены потенциальные потребители исследования. В ходе проведения анализа произведен FAST-анализ,

раскрывающий функционально-стоимостные характеристики. Также проведен SWOT-анализ, раскрывающий сильные и слабые стороны проекта, календарный план, отражающий технологическую зависимость и последовательность выполнения работ, расчет бюджета проекта, оценка ресурсоэффективности.

Можно сделать вывод, разработанная система является перспективной, о чем свидетельствует большое количество сильных сторон и маловероятные угрозы.

Использование технологии газификации отходов углеобогащения экономически обоснованно. Высокие баллы надежности, удобства эксплуатации позволяют судить о правильной разработке технологии.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5БМ82	Белоногову Максиму Владимировичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>им. И.Н. Бутакова</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

<b>Автоматизированная система управления газификации отходов углеобогащения</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Установка промышленной газификации «Prenflo», применяется для газификации угля и других органических топлив. Рабочая зона: операторная; технологические помещения работы автоматизированной системы. Область применения: предприятия теплоэнергетики.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) – Конституция РФ
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – превышение уровня шума; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – превышение уровня общей вибрации; – отклонение показателей микроклимата.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– анализ влияния выбросов вредных газов на атмосферу; – анализ влияния отработанного топлива на литосферу; – разработать решения по обеспечению экологической безопасности.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – рассмотрение типичных ЧС (возгорание топлива); – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	<b>16.04.20</b>
--	-----------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Белоногов Максим Владимирович		

## 5 Социальная ответственность

Охрана труда – это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

В выпускной квалификационной работе была разработана автоматизированная система управления установкой промышленной газификации отходов углеобогащения. Работа системы осуществляется в полуавтоматическом режиме. АСУ позволит увеличить эффективность работы установки и качество получаемого продукта. Применение автоматизированной системы управления также может увеличить безопасность работы установки и персонала, обслуживающего ее.

Для обеспечения функционирования системы необходим оператор, который будет задавать необходимые параметры для работы установки, вмешиваться в процесс при необходимости, а также следить за правильным функционированием системы и получаемым продуктом. Оператор работает с автоматизированного рабочего места. Оно представляет из себя помещение, в котором находятся рабочий стол с компьютером, принтером и дисковыми накопителями, также в этом помещении расположен щит автоматизации.

### 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В правовой основе обеспечения безопасности лежат законы и подзаконные акты, принятые законодательными органами Российской Федерации. Главным законом является Конституция, т. е. законы и правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить ей. Трудовой кодекс РФ устанавливает права и обязанности работодателей и работников в отношении охраны труда [56]. Существуют принятые нормы в области охраны труда:

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

Комплексная инженерная деятельность руководителя на каждом предприятии всегда должна учитывать три уровня социальной ответственности за решения, которые он принимает для исполнения федерального законодательства и нормативных правовых актов в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Первый уровень является обязательной составляющей социальной ответственности и включает выполнение следующих обязательств: производить своевременную оплату налогов, выплату заработной платы, по возможности производить увеличение рабочего штата.

Второй уровень подразумевает применение инструментов, которые направлены на улучшение качества внутренней среды для сотрудников предприятия. Например - возможности для повышения квалификации, обеспечение жильём.

Третий уровень предполагает деятельность, направленную на повышение качества жизни населения, развитие общества, на территории, где функционирует предприятие.

Установка газификации отходов углеобогащения представляет собой опасность в нескольких аспектах. Установка для газификации может производить много шума и вибраций. Также применение легкогорючих компонентов может привести к возгоранию.

Во время приема на работу, а также в специально установленные сроки персонал установки должен проходить обязательный медицинский осмотр.

Весь персонал, работающий на установке, обязан пройти обучение на рабочем месте, для получения необходимых навыков по занимаемой работником должности.

Для управляющего и обслуживающего персонала должны проводиться проверки знаний правил технической безопасности, инструкций, правил пожарной безопасности и т.п.

На установке газификации должны быть назначены лица ответственные за состояние и безопасную эксплуатацию объектов и помещений, входящих в комплекс, а также определены должностные обязанности всего персонала по следующим направлениям:

- 1) организации надзора за техническим состоянием оборудования, зданий и сооружений;
- 2) управлению технологическими процессами;
- 3) разработке, организации и учету выполнения мероприятий, обеспечивающих безопасную и экономичную эксплуатацию объекта;
- 4) расследованию и учету всех нарушений в эксплуатации;
- 5) контролю за соблюдением требований нормативно-технических документов по эксплуатации, ремонту и наладке.

Периодическому техническому освидетельствованию подлежат все оборудования, здания и сооружения, входящие в состав системы газификации.

Помимо обязанностей, все работники имеют права, такие как [57]:

- 1) получение рабочего места, которое соответствует всем государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- 2) на получение в установленные договором сроки и в полном объеме заработной платы, в соответствии с занимаемой должностью, квалификацией и вредность. труда;
- 3) возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами;

4) на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

## 5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создавать объект исследования

В таблице 68 приведены возможные вредные и опасные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [58], возникающие при выполнении работ.

Таблица 68 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума		+	1. ГОСТ 12.1.003.2014 – Система стандартов безопасности труда. Шум [63].
2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	2.ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [64]. 3. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования [65].
3.Превышение уровня общей вибрации		+	4.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [66].
4.Отклонение показателей микроклимата	+	+	5. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования [67]

### 5.2.2 Повышенный уровень шума

Шумом называются беспорядочные колебания звуков, обладающие различной частотой и интенсивностью. Шум возникает при механических колебаниях в различных средах. На установке газификации источником шума

может являться газогенератор, насос или компрессор, используемые в ходе эксплуатации.

Продолжительное воздействие шума может негативно сказаться на здоровье персонала. Это может привести к снижению остроты слуха, быстрой утомляемости человека, снижению внимательности, повышению давления. В результате этих воздействий происходит снижение производительности труда работника, ухудшение качества труда и повышению количества ошибок на рабочем месте. Для предотвращения возможных последствий разработаны нормы допустимого уровня шума в местах эксплуатации установок. Несоблюдение установленных норм накладывает некоторые ограничения на эксплуатацию системы газификации.

Воздействие шума с уровнем выше 140 дБ на организм человека приводит к разрыву барабанных перепонки и летальному исходу ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [59].

Источником шума на установке газификации является газогенератор, в котором осуществляется газификация топлива. Основное рабочее место оператора – АРМ, который отдален от технологического оборудования с целью снижения негативного воздействия на организм человека. На установках генерации (ГРЭС, ТЭЦ) приняты следующие нормативы по максимальному уровню шума в местах постоянного пребывания персонала (АРМ оператора), данный норматив составляет 75 дБ. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыша в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума. В качестве коллективных средств защиты используются звукопоглощающие материалы на рабочих местах и местах источника звука. На рабочих местах стены обиваются коврами, также могут применяться защитные экраны. В местах источника шума используются облицовки и звукопоглотители.

### 5.2.3 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электробезопасность – это система мероприятий организационных и технических, в том числе и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного для жизни воздействия электрической дуги, электрического тока, статического электричества и электромагнитного поля [60].

Компрессоры установки газификации, электрифицированные задвижки, как и любое электрооборудование, требует повышенной осторожности в процессе использования. Причиной поражения током чаще всего является прикосновение к токопроводящим (металлическим) деталям оборудования, которые находятся под напряжением, либо по какой-либо причине лишились изоляции. Поэтому главным правилом безопасности является применение при работе с такими поверхностями специальных изолирующих средств (резиновые перчатки или галоши), заземление оборудования, либо предварительное его отключение.

Правила эксплуатации электроприборов:

- 1) для предотвращения поражения электрическим током не прикасаться к выходным клеммам во время эксплуатации;
- 2) монтаж проводов производится исключительно при выключенном полной остановке оборудования, поскольку даже работающий на холостом ходу генератор вырабатывает опасное напряжение;
- 3) производить все работы только сухими руками, либо использовать защитные резиновые перчатки;
- 4) перед началом эксплуатации важно убедиться, что электрооборудование зафиксировано, а панель управления и боковые дверцы закрыты.

В зависимости от условий производственной среды, в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», все помещения

классифицируются по опасности поражения людей электрическим током на три группы. В соответствии с данной классификацией, территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Для предотвращения поражения электрическим током персонала, обслуживающего автоматизированную систему, а также операторов проводится ряд мероприятий, предупреждающих поражение электрическим током:

- применение малого напряжения;
- электрооборудование выбирается в соответствии с условиями окружающей среды;
- изоляция токоведущих частей электрооборудования;
- устройство заземления всех металлических конструкций, которые могут оказаться под напряжением, а также применение автоматического защитного выключения;
- использование защитных средств при обслуживании электроустановок;
- организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность производства работ.

#### 5.2.4 Повышенный уровень вибраций

Для уменьшения воздействия вибраций на организм человека необходимо также проводить ряд мероприятий.

В проектируемой системе газификации отходов углеобогащения имеются следующие источники вибраций: газогенератор, компрессор, система фильтрации.

Интенсивность вибраций деталей агрегатов, имеющих большие излучающие шум поверхности (корпуса агрегатов, кожухов, крышек и т. п.), следует уменьшать путем:

- облицовки поверхностей агрегатов или заполнения специально предусмотренных в них воздушных полостей демпфирующими вибрацию материалами;
- устройства гибких связей (упругих прокладок, пружин) между этими деталями и узлами агрегата, вызывающих вибрации;
- замены металлических деталей деталями из пластмасс или других незвучных материалов;
- предусматривания минимальных допусков при изготовлении и сборке деталей агрегата для уменьшения зазоров в сочленениях деталей и тем самым уменьшения энергии соударений;
- широкого внедрения смазки соударяющихся деталей вязкими жидкостями и помещения в жидкостные масляные и другие ванны вибрирующих и издающих шум деталей (шестеренчатых редукторов и т. п.);
- заключения в изолирующие кожухи шумных узлов агрегата (шестеренчатых редукторов, цепных, ременных и других передач, соударяющихся деталей и двигателей [61].

Длительная эксплуатация агрегатов на объектах генерации (ГРЭС, ТЭЦ) допускается при вибрации подшипниковых опор, не превышающей  $11,2 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$ . При проведении мероприятий по уменьшению вибраций агрегатов (насоса и гомогенизатора), с учетом того, что место постоянного пребывания персонала отделено от вышеупомянутых агрегатов, воздействие вибраций на персонал будет практически отсутствовать.

#### 5.2.5 Отклонение показателей микроклимата

Под метеорологическими условиями понимаются температура, относительная влажность и скорость движения воздуха. Для этих параметров устанавливаются оптимальные и допустимые параметры. Данные показатели должны обеспечивать оптимальные и комфортные условия для человека в

помещении на протяжении его рабочей смены. Нормативами приводятся оптимальные допустимые значения параметров микроклимата.

Температура воздуха в помещении должна регулироваться, учитывая наличие тепловых потоков от различного оборудования. При выборе оборудования предпочтение должно отдаваться оборудованию с меньшей электрической мощностью. Его необходимо устанавливать таким образом, чтобы тепловые потоки от него не были направлены в сторону операторов. Также рекомендуется уменьшать число вычислительных машин в помещении и избегать установки напольных систем отопления.

При кондиционировании воздуха необходимо обеспечить поддержание параметров микроклимата в требуемых пределах в течение каждого сезона года, максимально очистить воздух от пыли и вредных веществ, создать необходимое избыточное давление в чистом помещении для того, чтобы исключить поступление неочищенного воздуха. При этом подаваемый воздух должен иметь температуру не ниже 19 °С.

### 5.3 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды – изменение естественного состава элементов окружающей среды (воздуха, воды, земель и лесов) в результате деятельности человека. Оно приводит к ухудшению условий жизни населения, существования животного и растительного мира.

В соответствии с ГОСТ Р 54906—2012 при проектировании и эксплуатации требуется учитывать возможное негативное воздействие системы на экологию (экологические аспекты) [62].

Выбросы загрязняющих веществ предприятиями теплоэнергетики, обусловленные процессами сгорания органического топлива, являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. Объемы вредных выбросов связаны с качеством и количеством сжигаемого топлива, полнотой его

использования, а также эффективностью в целом работы источника теплоснабжения.

Одно из важнейших отрицательных влияний, которые может оказать система промышленной газификации на окружающую среду – выбросы отработанного топлива в окружающую среду, а также его складирование. Это может существенно загрязнить почву, лес, а также оказать влияние на фауну.

Пропитывание останками отработанного топлива почвенной массы приводит к изменениям в химическом составе, свойствах и структуре почв. Прежде всего, это сказывается на гумусовом горизонте: количество углерода в нем резко увеличивается, но ухудшается свойство почв как питательного субстрата для растений. Гидрофобные частицы нефти затрудняют поступление влаги к корням растений, что приводит к физиологическим изменениям последних. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами оказывает длительное отрицательное воздействие на почвенных животных, вызывая их массовое удаление. Отрицательное действие загрязнения осуществляется в результате прямого контакта с нефтью и через изменение свойств загрязненных почв.

Для снижения количества выбросов вредных загрязняющих газов в атмосферу необходимо устанавливать систему фильтрации, которая очищает большую часть выбросов при газификации.

Также для того, чтобы избежать попадания нефтепродуктов в почву и возможного воздействия на фауну необходимо постоянно следить за исправностью системы подготовки топлива, бункеров для золы и системой удаления шлака, а также правильным функционированием всех компонентов.

При складировании золошлаковых отходов, которые образуются при газификации отходов углеобогащения, необходимо выбрать правильно золоотвал. Ведь зола, помимо того, что просто может улетучиваться со временем, также может проникать в почву вместе с металлами и другими вредными компонентами, которые содержатся в составе исходных компонентов топлива для газификации.

Для того, чтобы снизить количество загрязняющих веществ в атмосферу и повысить экологическую эффективность установки газификации реализуются несколько направлений, среди которых выделяются природоохранные мероприятия, мероприятия по энергосбережению, экологический мониторинг, применение последних достижений научно-технического прогресса.

#### 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- укрытия в защитных сооружениях, в простейших укрытиях на местности;
- рассредоточение и эвакуация населения из крупных городов в загородную зону;
- своевременное и умелое применение средств индивидуальной защиты.

Так как полученный в ходе газификации газ необходимо складировать в баллонах с высоким давлением, то существует вероятность его взрыва от каких-либо внешних воздействий. Полученный газ является легко воспламеняемым веществом т.к. содержит в себе горючие компоненты.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние баллонов с получаемым продуктом на наличие повреждений, путем осмотра их персоналом. А также во избежание нарушений противопожарных правил на производстве необходимо проводить инструктаж и воспитательные работы с персоналом, вводить систему наказаний и штрафов за подобного рода нарушения.

Особое внимание при монтаже оборудования автоматизации необходимо уделить качеству проводимых работ. Выполненный не по заводским требованиям монтаж может привести к нарушению

функционирования установки, что в свою очередь может привести к негативным последствиям для окружающей среды. Поэтому монтаж должен осуществляться слесарями КИПиА с соответствующим разрядом и допусками по электробезопасности.

В соответствии с СНиП 21-01-97 администрацией здания должны быть разработаны противопожарные мероприятия [63].

Пожары представляют особую опасность, так как несут за собой большие материальные потери.

Горючими компонентами в вычислительных центрах являются: двери, перегородки, полы, изоляция кабелей, строительные материалы для эстетической и акустической отделки помещений и т. д.

Источниками зажигания в вычислительных центрах могут быть электрические схемы от ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, в которых в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

Очень высокая плотность размещения элементов электронных схем наблюдается в современных ЭВМ. Кабели, соединительные провода, находятся в непосредственной близости друг от друга. Значительное количество теплоты выделяется при протекании по ним электрического тока. При этом возможно оплавление изоляции. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха служат для отвода избыточной теплоты от ЭВМ. Эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность при постоянном действии.

Для проведения противопожарных мероприятий необходимо:

- при необходимости организовать комиссии для проверки пожарно-технического состояния или добровольные пожарные дружины;
- выделить специальные места для курения и задокументировать их.

Организовать места для готовой продукции и предельно допустимое

количество, порядок уборки горючих отходов и пыли, обесточивания электрооборудования, хранения промасленной спецодежды;

- в каждом рабочем помещении должна быть инструкция и обеспечена безопасность для людей;

- допускать персонал к работе только после инструктажа, при изменении специфики работы вносить изменения в инструктаж; к работе может быть допущен только персонал, который прошел инструктаж, в случае изменения специфики работы должны быть разработаны новые инструкции;

- обеспечить таблички с номерами пожарной и скорой в каждом помещении;

- должен быть за регламентирован порядок проведения пожароопасных работ, осмотра и закрытия помещений, порядок действий персонала при возникновении чрезвычайной ситуации. Необходимо назначить ответственных лиц за инструктаж и проведение занятий по противопожарной безопасности, определить время проведения занятий;

- утвердить и повесить на видном месте план/схему эвакуации при нахождении более чем 10 человек на этаже, установить систему оповещения.

#### 5. 5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Социальная роль разработки АСУ промышленной установки газификации отходов углеобогащения– снижение пагубных факторов на окружающую среду в ходе процесса газификации и уменьшение отработанных нефтепродуктов.

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

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;

- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на рабочем месте;
- указаны методики и средства борьбы с этими факторами;
- описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению, а также приведены регламентированные требования по поведению персонала при ЧС;
- отражены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности рабочего персонала.

## Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная система управления газификации отходов углеобогащения.

АСУ ТП газификацией отходов углеобогащения предполагает переход на низкокласное топливо с углей. Для оценки эффективности и получаемого эффекта была произведена серия экспериментов по газификации отходов углеобогащения с варьированием содержания кислорода в камере и процента содержания влажности в используемом топливе. По результатам исследований получены результаты состава газовой смеси, сформулированы практические рекомендации, которые учтены при разработке АСУ ТП газификации.

АСУ ТП газификации содержит три уровня. На верхнем уровне используется SCADA-система, средний уровень содержит щит управления с программируемым логическим контроллером, полевой уровень включает в себя датчики расхода, температуры, давления, газоанализа, а также исполнительные механизмы и регулирующие органы.

Для спроектированной АСУ ТП определены параметры настройки ПИ-регулятора, а именно – постоянная времени интегрирования, а также коэффициент передачи регулятора. На основании переходного процесса системы определены прямые оценки качества, включающие в себя время регулирования  $t_p=107$  с, степень затухания  $\Psi=0,8$  и др.

Также выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», в которых соответственно перечислены основные опасные производственные факторы и способы их предотвращения, рассчитана общая сумма затрат на реализацию проекта, экономическая эффективность проекта. Установлена достаточно быстрая для сектора энергетики окупаемость АСУ ТП газификации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. BP Statistical Review of World Energy. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.bp.com>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Energy Information Administration. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.eia.gov/>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Egorov R.I., Zaitsev A.S., Taburchinov R.I. Efficiency of different heat exchange mechanisms for ignition of coal-water compositions // Energy and Fuels. – 2019. – V. 33. – P. 7830-7834.
4. Portnov, D., Subbotin, D., Kazakov, A. The peat and wood gasification at different conditions of the pyrolysis process // Energy, 2015 V. 37(5), P. 121-125
5. Zaitsev, A.S., Egorov, R.I., Salgansky, E.A, Activation of the fuels with low reactivity using the high-power laser pulses // Energies, 2018 V. 11, P. 48-53
6. Corrêa, P, Zhang, J., Lora, E.E.S., Andrade, R.V., de Mello e Pinto, L.R., Ratner, A. Experimental study on applying biomass-derived syngas in a microturbine // Applied Thermal Engineering, 2019 V. 146, P. 328-337
7. Kumar, A. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste // Waste Management. – 2017. – V. 69. P. 407 – 422.
8. Tabasová, A., Kropáča, J., Kermes V. Waste-to-energy technologies: Impact on environment // Energy. – 2012. – V. 44. – P. 146-15.
9. Nagasaki, K. Latest Technologies for Coal-Fired Thermal Power Generation: Integrated Coal Gasification Combined Cycle // The Thermal and Nuclear Power. – 2014. – Т. 65. – №. 10. – С. 69-73
10. Алешина, А. С. Сергеев В.В. Газификация твёрдого топлива: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 202 с.

11. Bai, Z., Liu, Q., Gong, L., Lei, J. Investigation of a solar-biomass gasification system with the production of methanol and electricity: Thermodynamic, economic and off-design operation // *Applied Energy*, 2019 V. 49, P. 91-101
12. Zaitsev, A.S., Egorov, R.I., Strizhak, P.A. Light-induced gasification of the coal-processing waste: Possible products and regimes//*Fuel*. – 2019. – V. 53. – P. 347-352.
13. Krüger, M. Process development for integrated coal gasification solid oxide fuel cells hybrid power plants – Investigations on solid oxide fuel cells/gas turbine hybrid power plants run on clean coal gas // *Energy*, 2019 V. 250, P. 19-31
14. Зайцев А.С., Ткаченко П.П., Белоногов М.В., Егоров Р.И. Светоиндуцированная газификация топливных композиций, приготовленных из отходов углепереработки // *Кокс и Химия*. – 2018. – №7. – С. 43-51.
15. Zaitsev A.S., Egorov R.I., Strizhak P.A. Light-induced gasification of the coal-processing waste: Possible products and regimes // *Fuel*. – 2017. – V. 212. – P. 347-352.
16. Egorov R.I., Zaitsev A.S., Strizhak P.A, Gao X, Li H. Intensity dependent features of the light-induced gasification of the waste-derived coal-water compositions//*Renewable Energy*. – 2020. – V. 146. – P. 1667-1675.
17. Åberg, K., Pommer, L., Nordin, A. Syngas production by combined biomass gasification and in situ biogas reforming// *Energy and Fuels*, 2015 V. 29(6), P. 3725-3731
18. Egorov R.I., Zaitsev A.S., Belonogov M.V., Tkachenco P.P. Gasification of Coal–Water Compositions by Laser Pulses of Various Intensity//*Solid Fuel Chemistry*. – 2019. – V. 53. – P. 48-83.
19. Savuto, E., Di Carlo, A., Steele, A., Heidenreich, S., Gallucci, K., Rapagna, S. Syngas conditioning by ceramic filter candles filled with catalyst pellets

and placed inside the freeboard of a fluidized bed steam gasifier // Fuel processing technology, 2019 V. 191, P. 44-53

20. Egorov R.I., Zaitsev A.S., Salgansky E.A. Activation of the Fuels with Low Reactivity Using the High-Power Laser Pulses // Energies. – 2018. – V. 11. – P. 3167-3175.

21. Зайцев А.С., Егоров Р.И., Ткаченко П.П., Белоногов М.В., Газификация водо-угольных композиций лазерными импульсами различной интенсивности // ХТТ. – 2019. – №1. – С. 54-60.

22. Zhang, J., Zhao, H., Wang, C., Li, W., Xu, J, Liu, H. Influence of Small Oxygen-Containing Organic Molecules on the Rheology of the Coal Water Slurry// Energy and Fuels, 2016 V. 30(7). P. 5506-5512.

23. Все об экологии. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://bezotxodov.ru/jekologija/geotermalnaja-jenergija>, свободный. – Загл. с экрана.

24. Egorov R.I., Tkachenko P.P., Taburchinov R.I, Chulkov A.O., The propagation and ignition of the finely dispersed coal-water aerosol// Fuel. – 2020. – V. 263. – №116767.

25. Технологии газификации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tkisrus.com/assets/pdf/brochures/ru/TKIS-Gasification-ru.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

26. Электронный фонд к правовой и технической документации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200137233> свободный. – Загл. с экрана.

27. Электронный фонд к правовой и технической документации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200083779> свободный. – Загл. с экрана.

28. Электронный фонд к правовой и технической документации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200132465> свободный. – Загл. с экрана.

29. Государственная система обеспечения единства измерений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omegametall.ru/Index2/1/4294809/4294809391.htm> свободный. – Загл. с экрана.

30. Общие требования к методам подготовки высокоминерализованной угольной пыли для анализа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data/135/13591.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

31. Техническое задание на АСУ ТП. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7.html> свободный. – Загл. с экрана.

32. Назначение и цели создания системы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/303-7-3.html> свободный. – Загл. с экрана.

33. Требования к видам обеспечения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/307-7-7.html> свободный. – Загл. с экрана.

34. Требования к системе. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/305-7-5.html> свободный. – Загл. с экрана.

35. Требования к видам обеспечения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/307-7-7.html> свободный. – Загл. с экрана.

36. Промкомплект. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atompk.com/oprosnie-listi> свободный. – Загл. с экрана.

37. Полтраф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://poltraf.ru/raskhod/raskhodomery\\_gazov/ee771/](https://poltraf.ru/raskhod/raskhodomery_gazov/ee771/) свободный. – Загл. с экрана.
38. Emerson. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/metran-2000tc-ru-ru> свободный. – Загл. с экрана.
39. ОВЕН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/ukt38> свободный. – Загл. с экрана.
40. ОВЕН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/trm138> свободный. – Загл. с экрана.
41. Теплоприбор. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn--90ahjlpcccjdm.xn--p1ai/catalog/tpp-tp-1788-1888-1988> свободный. – Загл. с экрана.
42. Emerson. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/ru-ru/catalog/rosemount-sku-smart-pressure-gauge-ru-ru> свободный. – Загл. с экрана.
43. ОВЕН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://owen.msk.ru/goods/Preobrazovatel-davleniya-izmeritelnyj-PD100-model> свободный. – Загл. с экрана.
44. Манотомь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.manotom-tmz.ru/catalog/mekh/tekhnicheskie/el/mp4-u-vp4-u-mvp4-u/> свободный. – Загл. с экрана.
45. Testo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-340/p/0632-3340> свободный. – Загл. с экрана.
46. Gazoanalizators. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gazoanalizators.ru/POLAR-PRO.html> свободный. – Загл. с экрана.
47. Gazoanalizators. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/MAG-6P--MAG-6P-V.html> свободный. – Загл. с экрана.

48. DFMC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.dfmc.cc/product/oidi/2018-03-20/36.html> свободный. – Загл. с экрана.
49. РИЗУР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rizur.ru/catalog/urovnamery/urovnamer-beskontaktnyy-radarnyy-rizur-2030/> свободный. – Загл. с экрана.
- 50.. Emerson. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.suer.ru/data/6863047\\_Param0.pdf](http://www.suer.ru/data/6863047_Param0.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
51. Полтраф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://poltraf.ru/raskhod/raskhodomery\\_zhidkosti/elektromagnitny/mpr\\_380/](https://poltraf.ru/raskhod/raskhodomery_zhidkosti/elektromagnitny/mpr_380/) свободный. – Загл. с экрана.
52. Измеркон. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rusautomation.ru/rashodomery/blancett-1100> свободный. – Загл. с экрана.
53. МераПрибор. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://merapribor.ru/catalog/rashodgidkost/raskhod-zhidkostey/mpr-380-isp-2/> свободный. – Загл. с экрана.
54. ДельтаИнжиниринг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://indelta.ru/kip/datchiki-rashoda/metran-dr/schetchik-para-vihrevoy-metran-metran-332~art88424.html> свободный. – Загл. с экрана.
55. KROHNE. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.krohne.com/pribory/izmerenie-raskhoda//ultrazvukovye-/optisonic-8300/> свободный. – Загл. с экрана.
56. ЭМИС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://emis-kip.ru/pics/files/207file.PDF> свободный. – Загл. с экрана.
57. РФ Т. К. Трудовой Кодекс Российской Федерации» от 24.04.2020 № 197-ФЗ //Российская газета. – 2001. – №. 256.
58. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2016. – 10 с.

59. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2015. – 27 с.

60. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2019. – 20 с.

61. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2010. – 16 с.

62. ГОСТ Р 54906—2012. Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования. – Москва: Изд. Стандартиформ, 2012. – 54 с.

63. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Москва: Изд. Деан, 2007. – 21 с.

Приложение А  
(обязательное)

**Experimental research of the gasification of the waste derived coal**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ82	Белоногов Максим Владимирович		

Руководитель ВКР:

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП ОИЯ ТПУ	Костомаров П.И.	к.фил.н., доцент		

## Introduction

Current trends about the widespread introduction of the recycling of the industrial waste are becoming more attractive because the prices of the traditional energy resources are always rising [1,2]. On the other hand, the usage of different combustible biomass allows getting renewable fuels from the natural sources (different plants and their derivatives). The ecological properties of the plant sources are significantly superior to the traditional fuels. Preparation of the different types of fuel mixture, (slurry, emulsions, briquetted powder mixtures) which are based on the low-grade fuels and natural oils, allows to get fuel with the high calorific value. In addition, their industrial use requires a detailed study of all processes and the development of the optimal ways to maximize the effective extraction of heat energy. [3,4].

Good results are shown by the use of different technologies of gasification of organic fuel which are prepared from the different combustible biomass [3...6]. The heating of fuels above the temperature of pyrolysis allows converting almost any mixture of complex organic compounds to combustible gases mixture ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and other). On the other hand, gasification of coke residue of low-graduate solid fuels (peat, brown coals and cake) allows producing syngas with the high content of  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  and saturated hydrocarbons (mainly methane). An organization of the joint thermochemical processing of such fuels and natural oils allows producing syngas with high calorific value and low yield of ash. The various relations of the fuel components allow an optimization the chemical content of the origin mixture for the available heating regime during the gasification [7,8]. Conversion of the waste into the syngas with traditional autothermal methods is difficult because they have low calorific value. Thus, conversion of the unit weight of the fuel requires burning the same or even bigger its weight of for heat supply of the process. This way is not energy effective and the development of new methods is needed.

The usage of an external heating source instead of combustion of certain part of fuel allows increase both the overall performance of the method (due to an

increase in the intensity of the heat flow) and increase the flexibility of control of the process due to more effective control of external heat flow [9, 10].

The sunlight collected from the large areas and focused on the surface of the fuel layer can serve as a convenient and potentially free of charge source of heat [11]. In this work, we use a focused light of the halogen lamp to study the main properties of allothermal gasification of carbon-rich waste.

The main aim of this study is to find the optimal composition of the fuel mixture to achieve the highest concentration of combustible components of syngas with a minimal concentration of harmful impurities and non-flammable components. The separate task is a determination of the minimal level of the incoming heat flow, which allows an effective conversion of the fuel mixture into syngas. The results of the research allow the determination of required range of parameters for automated regulation of the gasification process for the fuel mixture.

## 1. Materials and methods

A focused light flow was used in this work for precise delivery of heat energy to the fuel sample under normal conditions of atmospheric pressure. One of the main advantages of this approach is possibility of production of the syngas with low concentration (or even total absence) of CO<sub>2</sub> [5].

The fuel mixture was prepared using the filter cake of fiery coal (G class in Russian standards), which has a high amount of the bound volatiles and has good water wettability. The results of technical and chemical analysis of the filter cake are shown in table 1. The fuel mixture was containing 50 ... 100 % (wt.) of filter cake powder and up to 50% (wt.) waters. The average size of the coal particles was about 100 mkm.

Table 1 – The properties of filter cake

Characteristics	value
A <sup>d</sup> , %	33,82
V <sup>daf</sup> , %	43,11
Q <sup>a</sup> <sub>s,v</sub> , MJ/kg	22,16
C <sup>daf</sup> , %	75,12
H <sup>daf</sup> , %	4,638
N <sup>daf</sup> , %	0,02
S <sub>t</sub> <sup>d</sup> , %	0,226
O <sup>daf</sup> , %	19,99
Mass fraction of dry coal, %	47,0
Q <sup>a</sup> <sub>s,v</sub> , MJ/kg	10,4

The scheme of the experimental setup, which use to light from incoherent sources (raw sunlight or light from different lamps), is shown on the Figure 1.

The fuel portion was placed inside the special copper chamber with an internal volume of about 2 cm<sup>3</sup>. There are three holes in chamber. The sunlight, was focused by parabolic reflector mirror to the sample through the front window of the of chamber. The second hole is placed at the upper part of the chamber. It connected to the pipe for moving a gas sample from the chamber to the gas analyzer. The third

window is intended for feeding of the air from the outside due to the thrust of the gas analyzer pump. Gas analyzer "BONNER" Test-1 allows the measurements of concentrations of the main combustion products of organic fuels, such as CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and also the content of oxygen, sulfur oxides and nitrogen in the gas mixture.

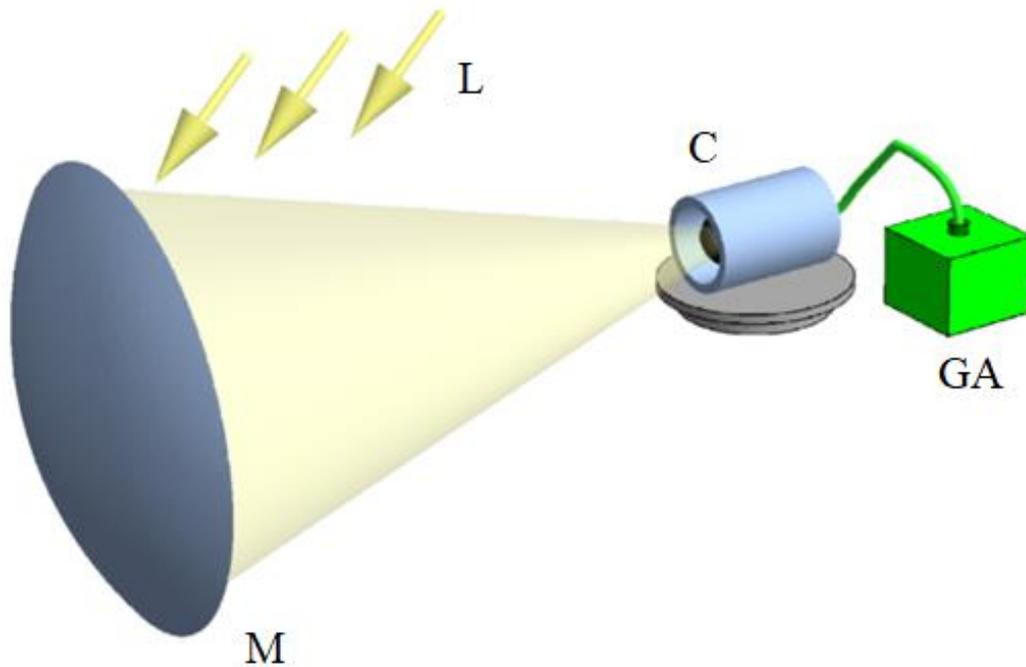


Figure 1 – The scheme of experimental setup

On this scheme show gas analyzer (GA), focusing mirror (M), light flow from the source (L), chamber (C).

During the first series of experiments, the fuel surface temperatures under the radiative heating were determined. For this is research, the glass was removed from the chamber optical window, and the fuel temperature was controlled with a help of thermal imaging system (TIS) Testo 885-2, which was looking onto the sample along the normal vector. The TIS data were previously verified using the fast thermocouples that finally allows the determination of gray factor ( $\epsilon$ ) for the used fuel. The maximal correlation of the TIS data with the thermoelectric temperature measurements was achieved at  $\epsilon \sim 0.82$ . Further, the value of the steady-state

temperature value was measured by varying the intensity of the light flux, after 60 seconds of the radiation heating. These results are shown in Figure 2.

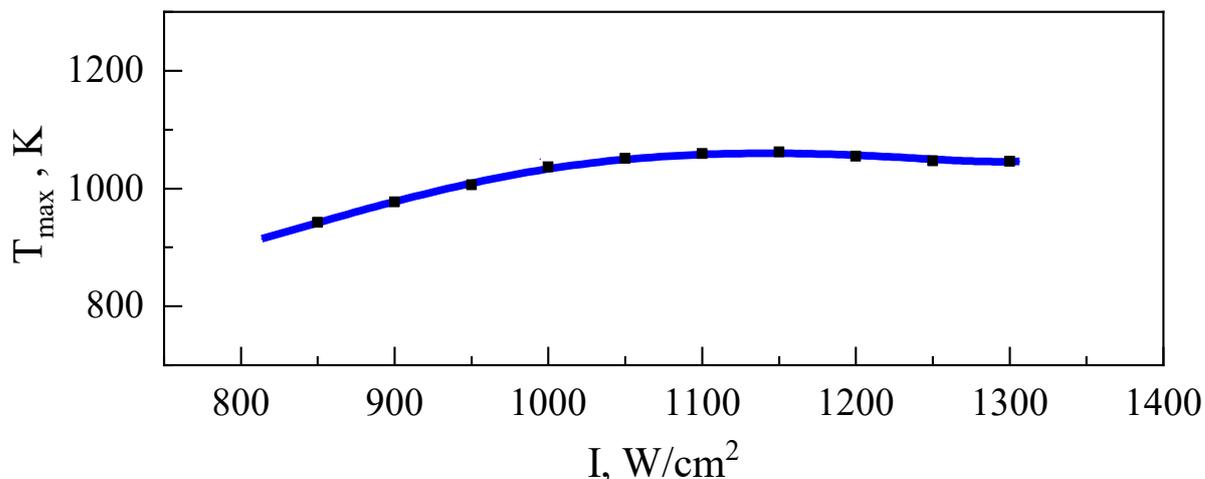


Figure 2 – The dependence of the temperature on the illuminated surface of the fuel on the intensity of the light flux.

As one can see, the temperature increases with light flow intensity, however, the dependence saturates after 1100 W/cm<sup>2</sup> to the value  $T \sim 1050 \dots 1100$  K. We may conclude, that the temperatures sufficient to start the processes of pyrolysis and gasification of coals are reached at intensities of the order of 800 W/cm<sup>2</sup>. The further intensity increase above 1100 W/cm<sup>2</sup> is not appropriate because the increase in losses due to the thermal radiation leads to the growth of the sample temperature.

An analysis of the chemical composition of gasification products was done with a glass screen on the optical window of chamber. An application of heating by the light flow led to fast increase of concentration of carbon, sulfur and nitrogen oxides in the volume of the chamber. The Figure 3 shows the typical dependences of the concentrations of these gases on the heating time, measured during one of the experiments with a gasification of dry filter cake ( $I \sim 800$  W/cm<sup>2</sup>). One can see, that the ratio of CO and CO<sub>2</sub> concentrations at the peak level of their production reaches about 1,2:1, but this ratio falls over time. In addition, the usage of a forced air blast in the reaction zone ignites the fuel with the strong production of CO<sub>2</sub>. Moreover, the relatively big amount of CH<sub>4</sub> presents in the syngas that evidently increases the

calorific value of syngas. Most probably, methane produced during pyrolysis of complicated hydrocarbon volatiles present in the filter cake. The small amount of H<sub>2</sub> indicates the almost complete absence of the steam-carbon reactions in the gasification of the dry filter cake.

The small enough absolute values of concentrations of all gases in this experiment (the maximum value for CO<sub>2</sub> is 3 % (vol.)) occurs due to the fact that the chamber is initially filled with air, and the generation of the syngas is small due to the low power of the available light source. The upscaling of the performance can be done by the usage a light source with higher power with a focusing of it into a spot with larger size (while maintaining the required intensity).

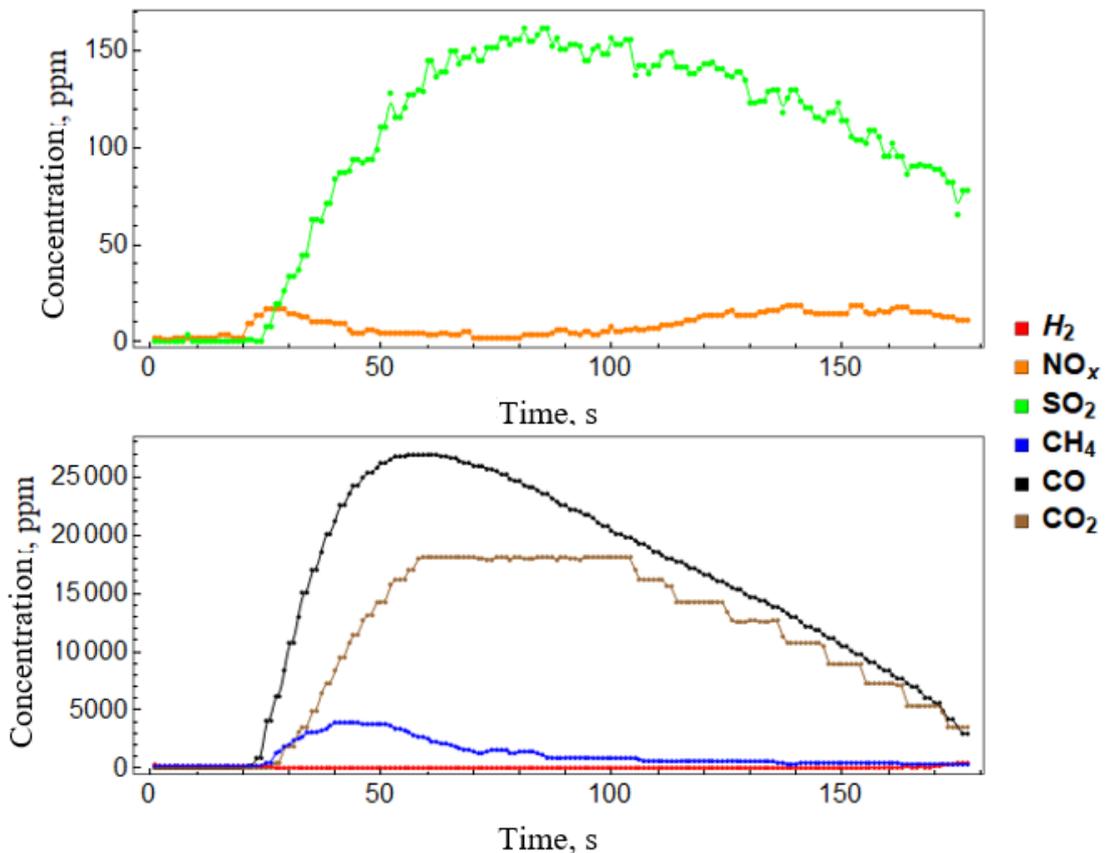


Figure 3 - Concentrations of synthesis gas components during gasification of dry filter cake powder

In the next experiments, we used the mixtures with the different water content in order to find out the influence of the humidity of the fuel mixture on the gasification

process. The concentration of water was varied in value 0...50 wt.%. The results of gasification of fuels mixtures, with water content about 50 wt. % is shown in Figure 4. One can see, that the CO concentration slightly exceeds 2000 ppm with a very small spike in CO<sub>2</sub> production during the mixture gasification. The integral weight ratio of CO and CO<sub>2</sub> exceeds 70:1.

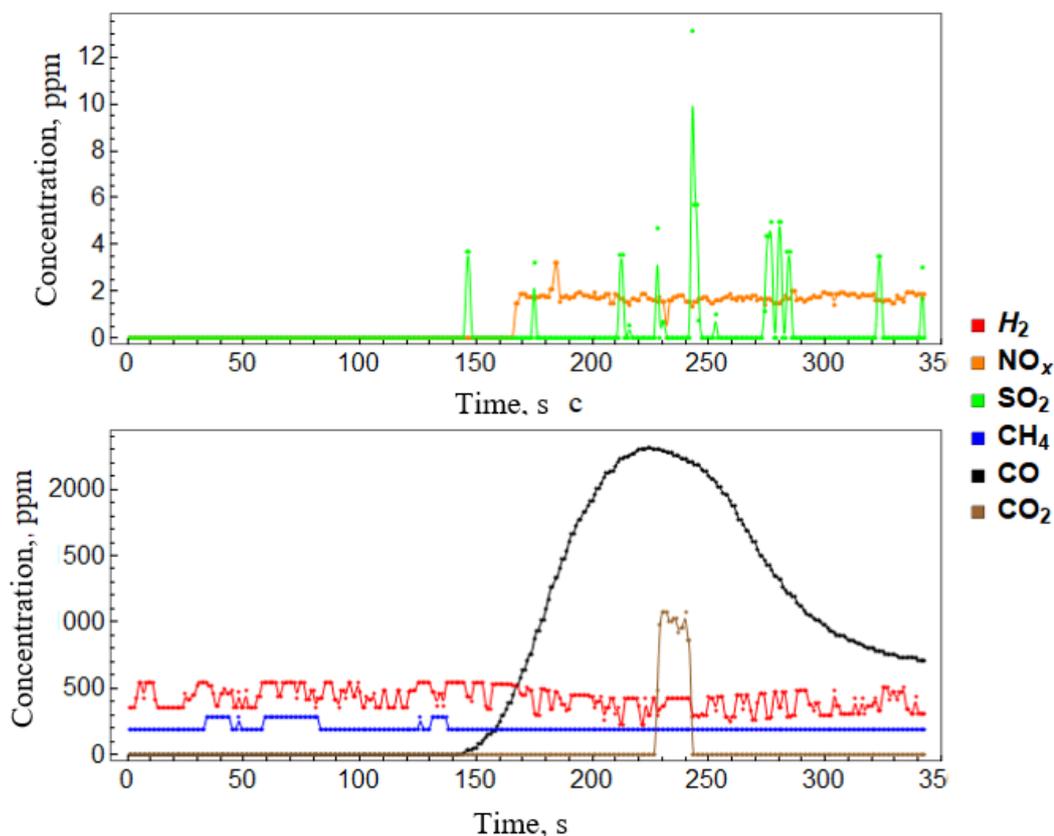


Figure 4 – Gas composition when using a filter cake at 40 % humidity

The CO concentration slightly exceeds 2000 ppm, during conversion of fuel at 50 % moisture, which is several times less than in the case of dry filter cake. Additionally, there is a several times lower production of associated harmful gases (SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>). This occurs due to the very high intensity of the oxidation process at the allothermic conversion. Additionally, the gases released from the fuel makes dissolution of the air reducing the oxygen content in the near-surface layer, with corresponding reduction the oxidation rate.

## 2. Influence of fuel mixture on the composition of gasification products

A series of the experiments were done with varying the water concentrations in the fuel sample to study the effect of the fuel moisture on the gasification process. The light intensity was set to  $900 \text{ W/cm}^2$  by adjusting the lamp current. The temperature on the surface of the fuel mixture reached  $\sim 1000 \text{ K}$ . A series of the three experiments were done for each composition of the fuel mixture. The dependencies similar to shown in the Figures 3 and 4 were integrally averaged over the entire time of the process, as well as over the repeated experiments. The dependence of the concentrations of the synthesis gas components versus the initial moisture of the fuel mixture is shown in Figure 5.

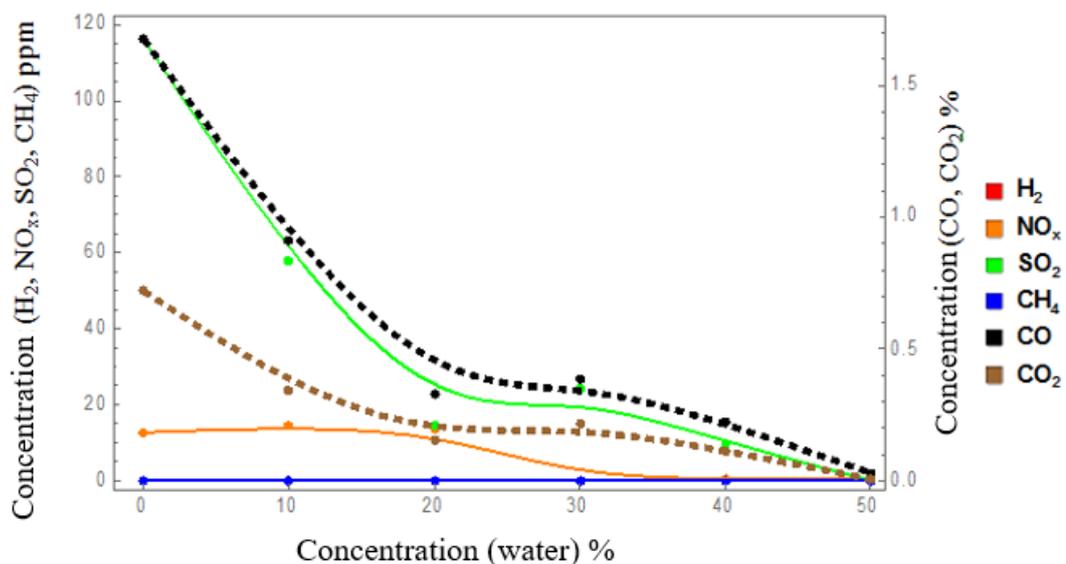


Figure 5 - Dependence of the concentration of synthesis gas components on the humidity of the fuel sample

Finally, the increase of water concentration leads to the decrease of gas generation in general. It can be seen that the concentration of the syngas components becomes minimal at a humidity of  $\sim 50 \%$  and further increase in the water concentration is impractical. However, as the moisture of the fuel increases, the ratio of CO and CO<sub>2</sub> concentrations increases too. CO<sub>2</sub> production becomes negligible

when the humidity of the fuel mixture is about 50 %. This reflects the influence of the four factors:

1. The evaporation of the excessive water leads to a decrease in the operating temperatures.
2. The activation of the steam-carbon reactions that lead to reduction of CO<sub>2</sub> to CO.
3. The probability of ignition of the fuel mixture is significantly reduced already at a humidity of more than 20 % (wt.).
4. The production of the harmful impurities falls sharply at the fuel mixture moisture of about 30 % (wt.).

As result, an addition of water to the fuel mixture is a very strong factor that allows to smooth regulation of the performance of the gasification process. However, the increase of the moisture of the fuel leads to a rapid decrease in the production of synthesis gas in general, which imposes significant restrictions on the regulation of the gasification process through the manipulation of this parameter.

### **3. Influence of oxygen concentration in the chamber atmosphere on the gasification process**

Some modifications of the experimental setup were realized to estimate the influence of the oxidizer concentration on the gasification process of coal enrichment waste. The oxygen concentration was modulated by pumping of nitrogen to the chamber. This allows reducing the concentration of the oxygen in a wide range. The intensity of the light flux was about 900 W/cm<sup>2</sup>. The scheme of the experimental setup is shown in Figure 6. The oxygen level in the chamber was monitored by the gas analyzer before and during the process. The two series of experiments were performed when the oxygen concentration was set at 10 vol. % and when the oxygen was displaced almost completely. Obviously, in the latter case the gasification of carbon can occur only due to the steam-carbon reactions. However, the maximum temperatures in this case are significantly lower than when

working in an oxygen-rich atmosphere, due to the lack of thermal effect of the oxidation reactions. Steam-carbon reactions are endothermic. Because of this, the main source of gas generation in this case is the process of pyrolysis of volatiles that are present in the fuel composition.

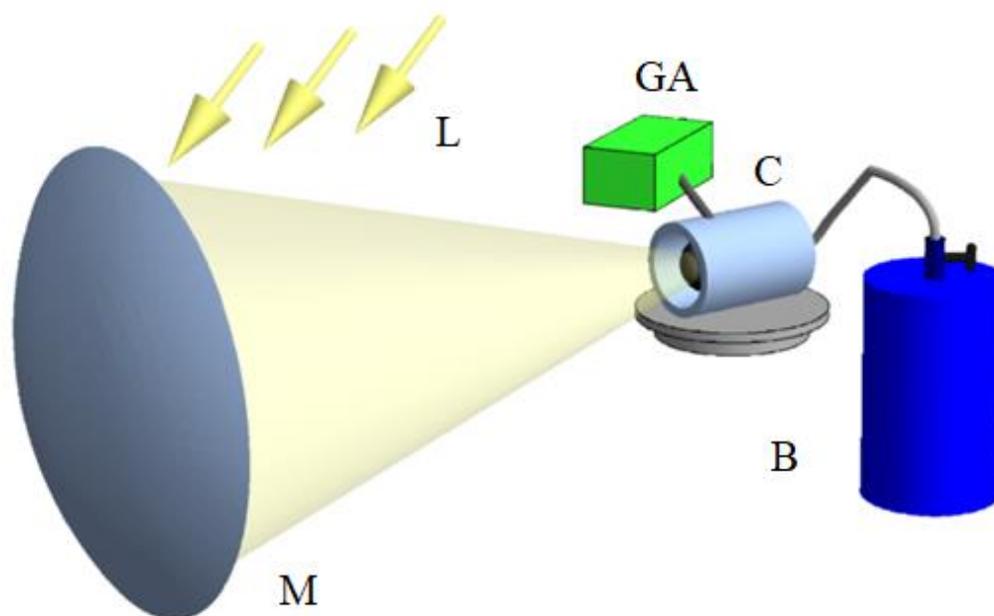


Figure 6 – The scheme of experimental setup for study of fuel decomposition processes in the nitrogen atmosphere.

The figure shows the gas analyzer (GA), focusing mirror (M), light flux L, camera (C), nitrogen cylinder (B).

The dependence of the concentration of syngas components on the initial moisture of the fuel mixture for various atmospheric compositions is shown in the Figures 7 and 8. The Figure 7 shows that in a completely oxygen-free atmosphere, the intensity of the gas generation decreased for about 30 times. There are two maximums of concentrations present on the dependence that correspond to the dry fuel and a mixture with a moisture about 30 vol.%. The first maximum corresponds to the almost pure pyrolysis of the volatile components of the filter cake. The second maximum is due to the inclusion of the steam-carbon reactions, because with the increasing moisture, the temperature on the fuel surface decreases and the intensity of the pyrolysis should fall. The future increase of moisture of fuel leads to a sharp

decrease in the gas generation due to a very large fall of the temperature. The absolutely dominant gases are CO and nitrogen oxides (this is not surprising, since the atmosphere in the chamber consisted almost entirely of it).

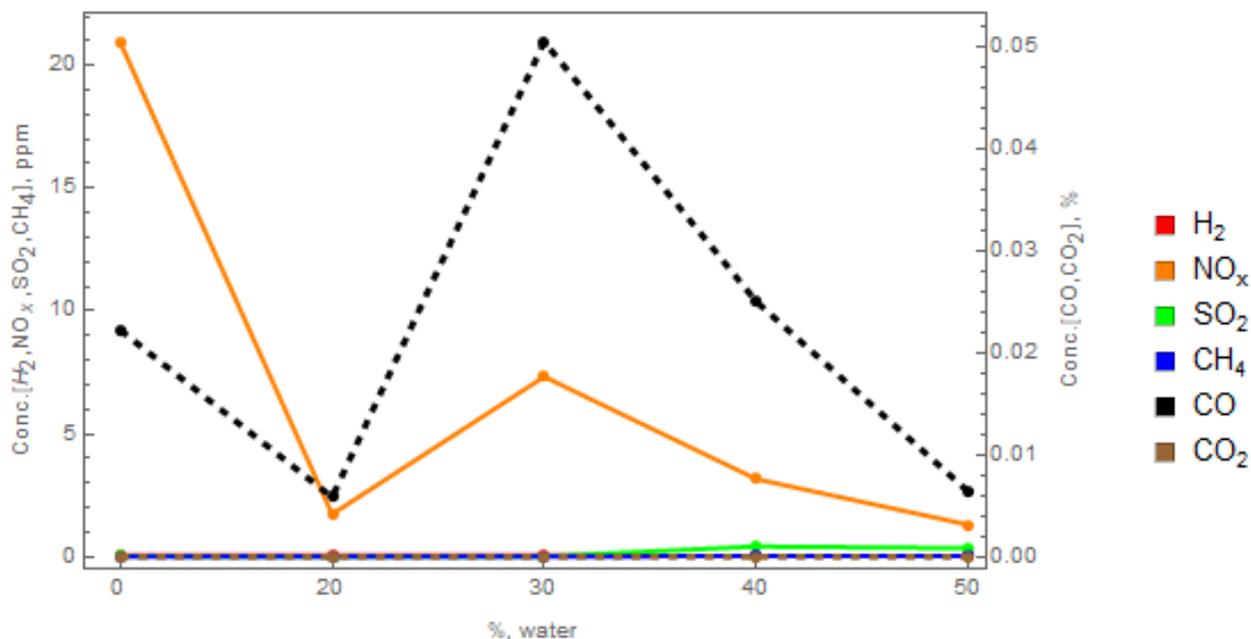


Figure 7 – The dependence of the concentration of synthesis gas components on the fuel humidity in the nitrogen atmosphere

The use of an atmosphere with a reduced oxygen content of up to 10 vol.% makes possible the estimation of ratio of direct carbon oxidation processes with a steam-carbon reactions. The Figure 8 shows that the release of CO increases by more than one and a half times when direct the oxidation and the carbon-vapor reactions are simultaneously involved. The maximum ratio of CO and CO<sub>2</sub> concentrations is observed at the fuel mixture humidity of about 40 wt.%. In addition, there is a fairly low production of sulfur dioxide occurred.

The regulation of the oxygen content in the reactor atmosphere during gasification of the waste derived coal allows changing the ratio of the syngas components quite strongly. However, a strong decrease in the general intensity of the gas generation makes it impossible to consider this parameter as a convenient tool for a regulation of the gasification of coals and water-coal mixtures. Reducing

the oxygen concentration below the level of the standard atmosphere is impractical when working in the considered range of the temperatures and the pressures.

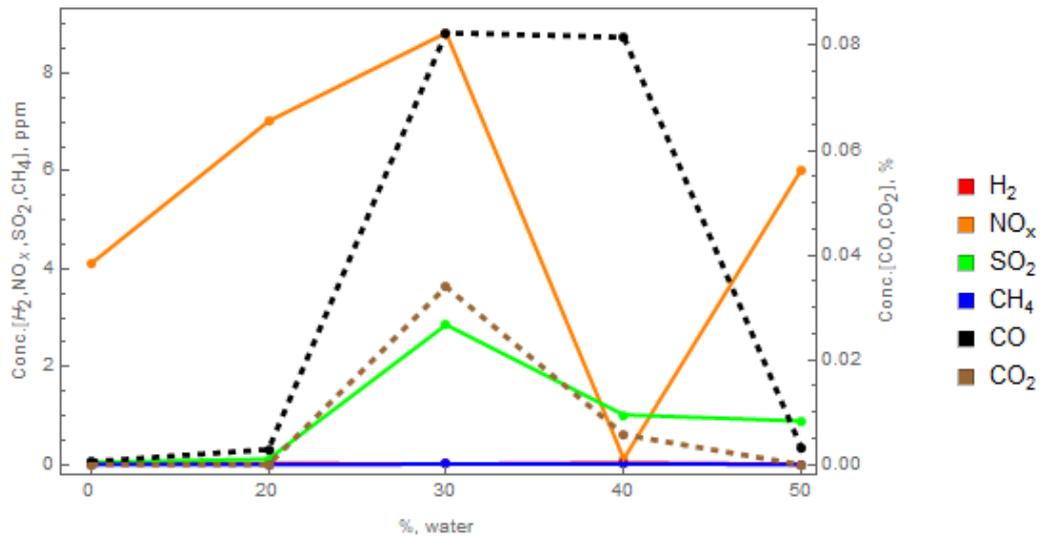


Figure 8 – The dependence of the concentration of synthesis gas components on the fuel humidity in the atmosphere with an oxygen concentration of ~10 % (vol).

#### 4. Influence of light intensity on the gasification process

The Figure 2 shows that an increase in the intensity of light flow up to 1000...1100 W/cm<sup>2</sup> leads to an increase in the temperature on the fuel surface. According to the Arrhenius equation (1.1), this means an increase in the rates (W) of all undergoing chemical reactions:

$$W = A \cdot \text{Exp}(-E_a/R \cdot T) \quad (1.1)$$

A significant change of the concentration of syngas components occurs when the intensity of the light flow changes because the thermo-kinetic constants A and E<sub>A</sub> are quite different for the different reactions. A series of experiments was performed with varying light intensity (the Figure 9) at a fixed humidity of the mixture (40 wt.%) to study the dependence of the gas generation on the heating intensity. Figure 9 shows the normalized concentrations of the syngas components. The maximum concentrations of each of the components that were observed during

the entire series of measurements with light intensity variation (most often it corresponds to the maximum intensity of the light flow) act as a normalization factor. The intensity of the light flow in the all these experiments varied in the range of 500 ... 1300 W/cm<sup>2</sup> by adjusting the lamp current.

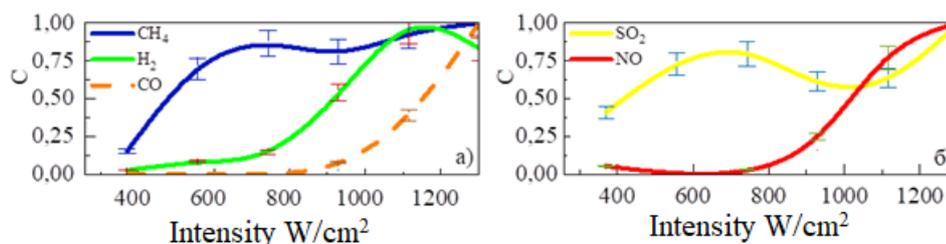


Figure 9 – The dependence of the light intensity on the concentration of gas components. The dependencies are normalized to the maximum values of dry gas concentrations observed during this series of measurements:  $C_{\max}(\text{CO}) = 5940$  ppm,  $C_{\max}(\text{H}_2) = 270$  ppm,  $C_{\max}(\text{CH}_4) = 190$  ppm,  $C_{\max}(\text{SO}_2) = 30$  ppm,  $C_{\max}(\text{NO}) = 15$  ppm

The presented curves show that the intensity increase leads to increase of concentrations of the all components of the synthesis gas. One can see, that rates of production of different gases strongly depends on the intensity of incoming light. The methane production starts at a relatively low intensity, whereas the production of hydrogen and carbon monoxide requires higher intensity values. In addition, CO production starts when the intensity exceeds the threshold value of 800 W/cm<sup>2</sup>. The production of nitrogen oxides also starts when this threshold is exceeded. This value can be considered as an absolute threshold value of the heat flow that determines the start of gasification of the used water-coal mixture because CO is the most valuable component of syngas under these conditions. Thus, the intensity of heating of the fuel is one of the most convenient and effective parameters for smooth control of the gasification process. However, the management of heat flows is quite difficult when working in the autothermal mode of the gasification (the scheme of "Prenflo"),

because it occurs indirectly, through the regulation of the supply of oxidizer and steam.

## Conclusion

The research shows that the proposed method of gasification of waste derived fuel allows producing synthesis gas from carbon-rich waste at atmospheric pressure. The use of a focused stream of the solar radiation makes possible the achievement of the conditions necessary to start the thermochemical conversion of the coal. Changing the intensity of the incoming heat flow, varying the concentration of water in the fuel mixture, as well as the concentration of the oxygen in the atmosphere of the chamber are quite convenient ways for regulation of the waste gasification process. The best set of conditions for converting the filter cake to synthesis gas is realized when the light intensity exceeds  $800 \text{ W/cm}^2$ , the initial moisture of the fuel mixture exceeds wt.30 %, and the oxygen concentration is equal to atmospheric. At the same time, the resulting synthesis gas contains minimal amounts of useless  $\text{CO}_2$ , as well as harmful impurities ( $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}$ ).

The most convenient parameter for the controlling the flow of the gasification is the heating intensity. Together with an initial moisture of the fuel mixture it allows flexible manipulation by both the composition of the synthesis gas and the overall intensity of the gas generation process.

## Приложение Б Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
1а, 2а	Датчик температуры с аналоговым выходным сигналом, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 1\%$ . Выходной сигнал 4 ... 20 мА., НСХ ПП, верхний предел измерения до 2000 °С. «Термопара», г. Москва	ТПР-1888	2
3а...6а	Манометр показывающий, класс точности 1.5. Выходной сигнал 4...20 мА, верхний предел измерения до 6 МПа. «Манотомь», г. Томск.	МП4-У	4
7а...9а	Расходомер воздуха встраиваемый, верхний предел измерения пара до 500 м <sup>3</sup> /ч, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 1\%$ . Выходной сигнал 4 ... 20 мА. «E Electronic», г. Москва	EE771	3
10а	Комплект расходомеров ультразвуковых, верхний предел измерения пара до 180 м <sup>3</sup> /ч, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 1\%$ . Выходной сигнал 4 ... 20 мА. «ЭМИС», г. Москва.	OPTISONIC 8300	1
11а	Турбинный расходомер, верхний предел измерения жидкости до 31 л/с, предел допускаемой основной приведенной погрешности $\pm 1\%$ . Выходной сигнал 4 ... 20 мА. «РусАвтоматизация», г. Челябинск.	Blancett 1100	1
		<i>ФЮРА.421000.004 ЗС</i>	
Выполнил	Белозогов М.В.	Станд	Листов
Проверил	Глушков Д.О.	П	1
		3	
		ТПУ Группа	
		ИШЭ 5БМ82	

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
12а...14а	Уровнемер радарный, выходной сигнал 4 ... 20 мА., верхний предел измерения до 35 м., предел допускаемой основной приведенной погрешности ±2 %. «Emerson», г. Москва	Rosemount 5400	3
15а...18а	Газоанализатор, предел допускаемой основной приведенной погрешности ±0,2 %. Выходной сигнал 0...10 В. верхний предел измерения до 80 %. «Банэр-ВТ», г. Новосибирск	ТЕСТ-1	4
19б...28б	Механизм электроисполнительный однооборотный. В составе с реостатным блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки – 2015. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭ0-250/25-0,25-Р99	10
	Программируемый логический контроллер Allen Bradley. В состав контроллера входят следующие блоки (модули): Центральный процессор (CPU). Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» г. Москва.	MicroLogix 1100	1
	Модуль ввода аналоговых сигналов Allen Bradley MicroLogix 1100. Входные сигналы: 4...20 мА. Аналоговых входов: 8. Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA.	1763-L16BWA	1
	Модуль ввода аналоговых сигналов Allen Bradley MicroLogix 1100. Входные сигналы: 4...20 мА. Аналоговых входов: 8. Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA.	1761-L10BXB	1
	Модуль вывода аналоговых сигналов Allen Bradley MicroLogix 1100. Выходные сигналы: 4...20 мА. Аналоговых выходов: 8. Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA.	1761-L16BBB	1
<i>ФЮРА.421000.004 ЗС</i>			Лист
			2

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол
1	2	3	4
	<p>Модуль вывода аналоговых сигналов Allen Bradley MicroLogix 1100. Входные сигналы: 4...20 мА. Аналоговых выходов: 4 Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA</p> <p>Модуль ввода дискретных сигналов Allen Bradley MicroLogix 1100, количество входов: 8. Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA</p> <p>Модуль вывода дискретных сигналов Allen Bradley MicroLogix 1100, количество выходов: 4. Питание 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA</p> <p>Блок питания PS 307. Входное напряжение 120/230 В. Выходное напряжение 24 В. ООО «Rockwell Automation» USA.</p>	<p>1761-L20BWA</p> <p>1761-L32AAA</p> <p>1761-L32BBB</p> <p>1763-L16DWD</p>	<p>2</p> <p>6</p> <p>2</p> <p>1</p>
<i>ФЮРА.421000.004 ЗС</i>			<p>Лист</p> <p>3</p>