

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

Институт – Энергетический

Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра – Автоматизация теплоэнергетических процессов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла

УДК 621.182.2-63-026.743

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Шабардин Дмитрий Павлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. экологии и БЖД	Василевский Михаил Викторович	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф-м.н., доцент		

Томск - 2017г.

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического оборудования, средств автоматизации и защиты	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники, автоматизированных систем управления технологическими процессами в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
P4	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично представлять и обсуждать результаты научных исследований	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P5	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, в том числе по осуществлению надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию установок, систем и оборудования	Требования ФГОС ((ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС (ПК-9), Критерии 5 АИОР (п.1.1), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Универсальные компетенции		
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Требования ФГОС (ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт – Энергетический
Направление подготовки – 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра – Автоматизация теплоэнергетических процессов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

Стрижак П.А.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5Д	Шабардину Дмитрию Павловичу

Тема работы:

Разработка автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла	
Утверждена приказом директора Энергетического института (дата, номер)	21.04.2017, № 2828/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата)	16.06.2017
---	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Процесс подготовки композиционного топлива для сжигания в топке котла включает подачу исходных компонентов, их смешивание и транспортировку полученной суспензии в котел. При разработке автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного топлива для сжигания в топке котла предусмотрено использование современных микропроцессорных технических средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров и управления системой.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Анализ современных методов изучения процессов зажигания и горения жидких композиционных водоугольных топлив. 2) Описание экспериментального стенда и методики исследования закономерностей процессов зажигания и горения жидких композиционных водоугольных топлив. 3) Анализ полученных результатов. 4) Описание объекта автоматизации.

	5) Разработка структурной схемы автоматизированной системы управления. 6) Разработка функциональной схемы автоматизированной системы управления. 7) Составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации. 8) Разработка принципиальной электрической схемы щита управления. 9) Разработка общего вида щита управления. 10) Разработка монтажной схемы внешних проводок. 11) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 12) Социальная ответственность.
Перечень графического материала	1) Схема функциональная. 2) Схема электрических соединений щита управления. 3) Схема монтажная внешних проводок. 4) Схема общего вида щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна, к.э.н., доцент
Социальная ответственность	Василевский Михаил Викторович, к.т.н., доцент
Английский язык	Федоринова Зоя Владимировна, к.п.н., доцент
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Анализ полученных результатов и определение необходимых и достаточных пропорций компонентов, необходимых для зажигания и горения жидких композиционных водоугольных топлив	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5Д	Шабардин Дмитрий Павлович		

Реферат

Магистерская диссертационная работа 112 с., 17 рис., 25 табл., 46 источников, 2 прил.

Ключевые слова: композиционное жидкое топливо, система топливоприготовления, автоматизированная система управления.

Цель настоящей работы – исследование влияния компонентов композиционного жидкого топлива на процесс горения в топке котла, разработка автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла.

В процессе экспериментальных исследований рассматривались процессы горения композиционных жидких топлив, максимальные температуры горения, а также времена задержки зажигания топлив.

В результате исследования определены зависимости горения топлива в топке котла при изменении компонентов ИКЖТ, а также разработана автоматизированная система управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла.

Степень внедрения: результаты работы предлагается использовать при реализации системы подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла.

Область применения: топливно-энергетический сектор.

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение системы позволит сэкономить топливные расходы для котлов по завершению срока окупаемости равному 3,6 года. Данный показатель свидетельствует о целесообразности внедрения разработанной системы в теплоэнергетическом секторе.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;
АСУ – автоматизированная система управления;
ВВП – валовый внутренний продукт;
ВУС – водоугольная суспензия;
ВУТ – водоугольное топливо;
ГУУМП – гидроударная установка мокрого помола;
ИКЖТ – искусственное композиционное жидкое топливо;
КЕК – фильтр-кек, отходы переработки;
ОВУТ – органоводоугольное топливо;
ПДК – предельно допустимая концентрация;
ПК – персональный компьютер;
ПЛК – программируемый логический контроллер;
РИА – роторно-импульсный аппарат;
 R_d – условный средний размер (радиус) капель ИКЖТ, мм;
 T_g – температура газов (продуктов сгорания), К;
 V_g – скорость движения газов (продуктов сгорания), м/с;
 τ_d – время задержки зажигания, с;
 τ_c – время полного сгорания, с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ЖИДКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ	11
4 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	13
4.1 Системы производства суспензий ВУТ	13
4.2 Системы топливоподачи КЖТ.....	18
5 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ.....	23
6 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И СОСТАВЛЕНИЕ ЗАКАЗНОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ	25
6.1 Разработка функциональной схемы	25
6.2 Выбор оборудования нижнего уровня автоматизации	27
6.2.1 Выбор сигнализаторов уровня	27
6.2.2 Выбор расходомеров	29
6.2.3 Выбор датчиков температуры	35
6.2.4 Выбор датчиков давления-разряжения.....	35
6.2.5 Выбор газоанализатора	37
6.2.6 Выбор контроллера	38
6.3 Составление заказной спецификации	40
7 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ.....	41
8 РАЗРАБОТКА ОБЩЕГО ВИДА ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ	42
9 РАЗРАБОТКА МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ ВНЕШНИХ ПРОВОДОВ.....	43
10 РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА.....	44

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии сжигания угля традиционными методами, такими как пылевидное, кускообразное или в кипящем слое не позволяют существенно увеличить коэффициент полезного действия. К тому же, эти технологии характеризуются высоким уровнем антропогенных выбросов в атмосферу по сравнению с другими, что предопределяет необходимость создания автоматических систем подготовки и сжигания топлив новыми способами. Применение суспензий органоводоугольных (ОВУТ) или водоугольных (ВУТ) топлив позволяет снизить затраты на угольных, мазутных котельных малой и средней мощности на 30...50%, обеспечивает более полное сгорание угля по сравнению со слоевым сжиганием на угольных котлах, существенно снижает выбросы NO_x, взрыво- и пожаробезопасность, а также позволяет полезно использовать шламы и отходы производств [1].

Одним из наиболее перспективных направлений развития современных технологий сжигания ВУТ можно считать приготовление и сжигание ОВУТ. Нередко их называют искусственными композиционными жидкими топливами (ИКЖТ). Они представляют суспензионные топлива на основе большой группы отходов переработки углей и нефтей. Предварительный анализ статистических данных по объемам и запасам низкокачественных отходов в мире [2–6] показывает, что наиболее перспективными компонентами ОВУТ можно считать: угольную пыль, технологические или сточные воды, отходы углепереработки (фильтр-кеки – их нередко называют “КЕК”), отработанные нефтепродукты и различные горючие жидкости. Эти компоненты ОВУТ производятся и складировются в качестве промышленных отходов ежегодно во всем мире в большом количестве. Например, запасы низкосортных углей и угольных шламов только в Сибирском регионе Российской Федерации превышают 100 млн. тонн [6]. Объемы отработанных моторных, турбинных и трансформаторных масел ежегодно по Сибири составляют несколько сотен тонн [6]. Запасы других возможных исходных

компонентов ОВУТ также исчисляются десятками и даже сотнями тонн практически в каждом из 85 регионов Российской Федерации.

Большие объемы сырья для создания ОВУТ определяют, в первую очередь, актуальность разработки технологий эффективного сжигания таких топлив. Процессы сжигания водоугольных суспензий характеризуются повышенными экологическими и экономическими показателями по сравнению с твердым топливом в пылевидном состоянии [7–12]. Причиной этого могут являться низкотемпературная активизация реакционной поверхности топлива на стадии воспламенения; рост удельной реакционной поверхности в основной зоне процесса горения и интенсификация последнего за счет реакции взаимодействия углерода топлива с водяным паром, протекающей параллельно основной реакции окисления. Поэтому представляет интерес изучение горения ОВУТ [13–17] с наиболее типичными компонентными составами. При этом важно изучить масштабы влияния каждого из этих компонентов.

Помимо этого, в настоящее время не существует комплексных установок по производству и сжиганию ОВУТ, большинство существующих решений представляют собой разомкнутые системы с точки зрения теории управления, а также отсутствуют автоматические системы управления производством и сжиганием ОВУТ [18]. Однако существуют автоматические системы производства ВУТ, а также системы топливоподачи ВУТ. Поэтому представляет интерес создания единой автоматической системы производства и сжигания ОВУТ, используя последние разработки и новейшие технические решения.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ЖИДКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Существует достаточно много методик изучения процессов зажигания и горения жидких композиционных водоугольных топлив (например, [19–24]). Условно их можно разделить на две большие группы: подвешивание одиночной капли топлива на стержне или спаяе термопары и ввод в среду окислителя; распыл топлива с применением форсунки.

Капля жидкости, помещенная в газовую среду, представляется, на первый взгляд, простым объектом исследования. Однако, как при постановке эксперимента, так и при математическом моделировании, исследователи часто сталкиваются с трудностями. Это связано со сложным характером взаимодействия капли и окружающего газа в условиях неоднородного распределения температуры. В поле силы тяжести вокруг капли возникают конвективные течения газа, вызывающие (вследствие вязких напряжений на поверхности раздела фаз) внутреннюю циркуляцию жидкости в капле и деформацию капли в целом. Направленные течения в газе возникают и в результате фазового перехода на поверхности капли, что приводит к переменному во времени и существенно неравномерному по пространству распределению компонентов газовой смеси и диффузионным потокам. Указанные эффекты в значительной мере зависят от размера капли и параметров газовой среды [25].

При горении капель ИКЖТ наблюдается ряд явлений, не присущих горению капель однокомпонентного топлива [26–29]. Поскольку давление паров у диспергированного компонента (воды) существенно выше, чем у основного, горение капель сопровождается микровзрывом – внезапным разрушением вследствие вскипания микрокапель воды и образования вокруг них паровых пузырьков. Разрушение капель эмульсии приводит к значительному сокращению времени горения. При распылении топлива

микровзрывы способствуют более полному перемешиванию топлива с окислителем и, следовательно, к снижению выхода вредных веществ.

Эксперименты по горению капель жидких топлив и ИКЖТ позволяют оценить время жизни капли, температуру пламени, расстояние от поверхности капли до фронта пламени и некоторые другие параметры. Применительно к современным задачам, особенно задачам управления распыления топлива и снижения выхода вредных веществ при горении, простые модели мало эффективны. При распылении топлива с применением форсунки, часто используемое приближение одиночной капли может нарушаться. В относительно плотных капельных потоках прогрев, испарение и горение отдельной капли происходят под влиянием других капель. Параметры газа вокруг каждой отдельной капли уже нельзя считать постоянными: температура и состав газа будут зависеть от расстояния между частицами и от свойств жидкости и газа и будут меняться во времени. В этих условиях задача о прогреве и испарении капли, а также о ее воспламенении и горении становится значительно сложнее. Для решения таких задач требуются данные о динамике физических и химических процессов в самой капле и ее окрестности. Однако для решения задачи о влиянии компонентов ИКЖТ на процессы зажигания и горения, данный метод подходит.

Иногда, для решения проблемы применимости модели одиночной капли для исследования зажигания и горения топлив используют особые подходы: рассматривают две или несколько капель, регулярную последовательность капель или группу беспорядочно расположенных капель [30–35].

4 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

В настоящее время не существует комплексных установок по производству и сжиганию ИКЖТ, большинство существующих решений представляют собой разомкнутые системы с точки зрения теории управления, а также отсутствуют автоматические системы управления производством и сжиганием ИКЖТ [18]. Однако существуют автоматические системы производства ВУТ, а также системы топливоподачи ВУТ. Рассмотрим некоторые из них с целью выделения наиболее подходящих, а также объединения в одну автоматизированную систему производства и сжигания ИКЖТ.

4.1 Системы производства суспензий ВУТ

Приготовление ВУТ осуществляют в несколько этапов. Для начала необходимо получить угольную крошку с фракцией 10–12 мм. Дробление осуществляется на стандартных дробилках (молотковых, щёковых и т.д.). Так как в качестве сырья для приготовления ИКЖТ будем использовать угольный шлам, фильтр-кек или уголь с мелкой фракцией, то данную стадию исключим из системы приготовления ИКЖТ.

Помол до фракции 100–150 мкм осуществляется в присутствии воды в оборудовании мокрого помола. Данный этап является ключевым при приготовлении ИКЖТ, поскольку определяет дальнейшие характеристики ИКЖТ (грансостав, вязкость, стабильность и т.д.). Здесь же в состав ИКЖТ могут добавляться различные отходы производства (такие как отработанные масла) а также пластификаторы и стабилизаторы.

Самым популярным оборудованием мокрого помола являются специально спроектированные вибромельницы различных модификаций, где помол угля осуществляется мелющими телами (шарами, стержнями) в присутствии воды. На сегодняшний день рынок вибромельниц для мокрого помола весьма ограничен единичными моделями. В РФ это в основном

мельницы типа ВМ-200 и ВМ-400 производительностью по эталонному продукту до 2,5 т/ч (до 500 мкм), по ВУТ — не более 1,5 т/ч. Основным недостатком вибромельниц являются высокие энергозатраты на приготовление ВУТ, которые составляют не менее 55 кВт*ч/т [36].

Серьезным недостатком вибромельниц также является крайне неоднородный состав продукта помола, который содержит и переизмельченные частицы и, напротив, слишком крупные зерна. Поэтому в большинстве технологических схем производства в основном используется замкнутый цикл помола, когда полученная суспензия подвергается сепарированию с последующим домолом крупных зерен. Все это усложняет технологический процесс и увеличивает себестоимость ВУТ [37].

Например, на рисунке 4.1 изображен один из вариантов схемы приготовления ВУТ. Сырой уголь дробится на фракции размером до 10 мм и направляется на термообработку при температуре 400 °С. Далее он смешивается с водой и измельчается в шаровой барабанной мельнице, затем поступает в сепарирующее устройство, из которого готовый продукт с фракциями размером менее 200 мкм направляется на обеззоливание и после добавки поверхностно-активных веществ поступает в емкости для хранения. Надрешетный продукт попадает на дополнительное измельчение в мельницу и, пройдя сепарацию, направляется также в технологический цикл на хранение [38].

Очевидно, что данная схема не является наилучшей основой для приготовления ИКЖТ, так как содержит излишнее и энергозатратное оборудование, такие как дробилка, шаровая и стержневая мельницы, что усложняет схему и удорожает продукт.

Помимо вибромельниц в качестве измельчителя можно использовать диспергаторы. Диспергаторы по принципу действия бывают [49]: ультразвуковые, ротор-статор, плунжерные (высокого давления). Диспергатор менее энергозатратное оборудование чем вибромельницы. Принципиальная схема подготовки ВУТ на основе диспергатора представлена на рисунке 4.2.

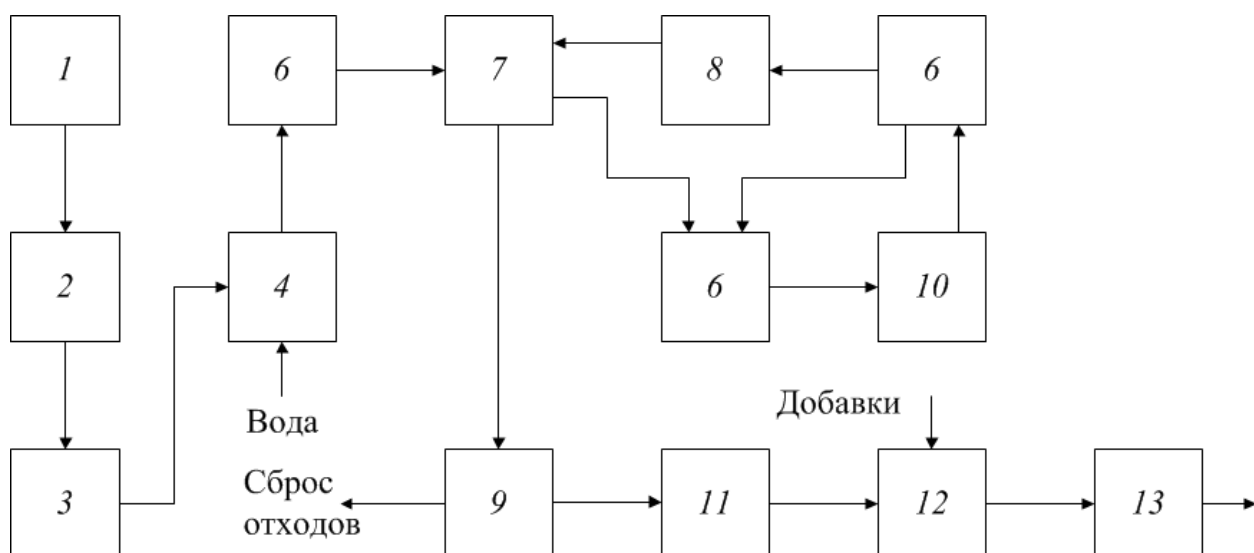


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема подготовки ВУТ на основе вибромельниц: 1 – бункер; 2 – дробилка; 3 – аппарат для термообработки угля; 4 – мельница шаровая; 5 – емкость для воды; 6 – насосы; 7 – фракционирующее устройство; 8 - циклон; 9 – установка по обеззоливанию, 10 – мельница стержневая, 11 – фильтр, 12 – смеситель, 13 – емкость ВУТ, 14 – введение химических добавок, 15 – сброс отходов

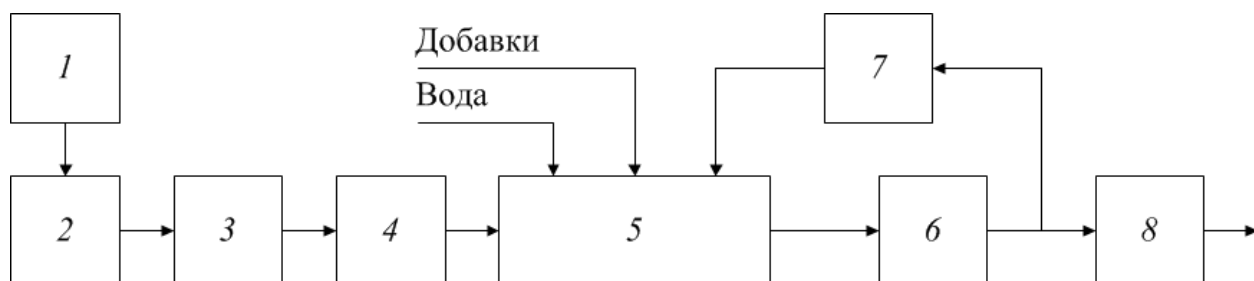


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема подготовки ВУТ на основе диспергатора: 1 – бункер; 2 – питатель дозатор; 3 – дробилка; 4 – диспергатор; 5 – миксер; 6 – кавитатор; 7 – буферный бак; 8 – емкость ВУТ

Так как вращающиеся шаровые, вибрационные мельницы, диспергаторы, кавитаторы с их эффектом внутренней сепарации реализуют помол истиранием, сопровождающийся большим расходом энергии, нагревом, высоким абразивным износом мелющих тел, с точки зрения рационального использования подведенной энергии для разрушения таких материалов целесообразней использовать быстрый удар.

Один из вариантов реализации данной идеи является гидроударная установка мокрого помола (ГУУМП). Принципиальная схема подготовки ВУТ на основе гидроударной установки мокрого помола (ГУУМП) представлена на рисунке 4.3. ГУУМП является установкой, в состав которой входит дисковый затвор, шнековый дозатор угля, устройство мокрого помола дезинтеграторного типа, насос на выдачу готового продукта и устройство вентиляции приемного бункера [36].

Для измельчения минерального сырья в ГУУМП используется свободный удар. Частицы угля, сталкиваясь с ударными элементами корзин-роторов, получают мощные разнонаправленные удары, интенсивность которых увеличивается по мере продвижения материала к выходу камеры помола. Вода в реализуемом способе измельчения является не только проводником кинетической энергии удара, но и снижает прочность твердого тела, облегчая его разрушение.

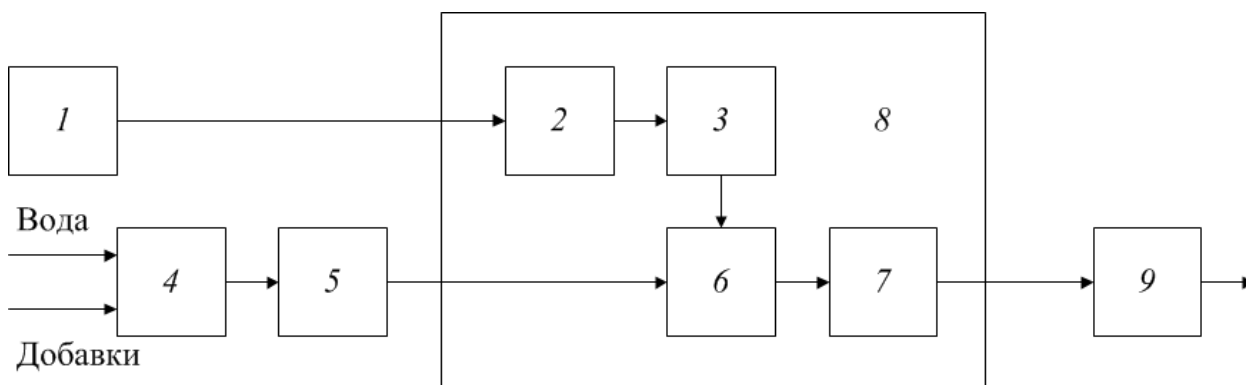


Рисунок 4.3 – Принципиальная схема подготовки ВУТ на основе гидроударной установки мокрого помола (ГУУМП): 1 – бункер дробленого угля; 2 – затвор; 3 – шнековый дозатор; 4 – кавитационный роторно-импульсный аппарат (РИА-200); 5 – насос; 6 – узел мокрого помола; 7 – насос; 8 – ГУУМП; 9 – емкость ВУТ

Поскольку энергия удара пропорциональна массе частицы угля и ее квадрату скорости ($E=mV^2/2$), по достижении частицами определенных размеров их дальнейшее измельчение прекращается. Таким образом, ГУУМП позволяет получать водоугольную суспензию требуемого

гранулометрического состава с минимальным содержанием переизмельченных частиц и полным отсутствием крупных зерен в открытом цикле помола без использования сепараторов.

При производстве ИКЖТ обязательно используют различные добавки (отработанные масла, пластификаторы, отходы мазута и др.). При использовании ГУУМП смешение производится в кавитационном роторно-импульсном аппарате (РИА). Использование РИА позволяет эффективно внести их и перемешать с водой до процесса мокрого помола [36].

4.2 Системы топливоподачи КЖТ

Водоугольное топливо является жидким топливом и имеет вязкость, немного превышающую вязкость мазута: примерно 800-1000 мПа•с по сравнению с 400-440 мПа•с (до 44 мм²/с) у мазута. Соответственно, подача КЖТ в топку котла осуществляется аналогично мазуту, но через форсунки, специально разработанные для суспензионных топлив. Форсунки должны быть устойчивы к абразивному истиранию частицами угля, поэтому имеют специальную конструкцию [41].

Принципиальная схема сжигания ВУТ представлена на рисунке 4.4. Сжигание ВУТ осуществляется в несколько основных этапов: прогрев топки, переход на водоугольное топливо, рабочий режим. При режиме прогрева топки происходит запуск инициирующей топки для доведения значений температуры в топке до уровня, при котором происходит сгорание ВУТ при помощи дизельного топлива. Далее происходит переход на водоугольное топливо: включается компрессор для продувки топливопровода и форсунки, затем происходит подача топлива из емкости ВУТ при помощи насосов. После этого остается только поддерживать заданную температуру путем регулирования подачи воздуха в топку и подачу ВУТ [40].

На данной схеме изображен циркуляционный контур, предназначенный для поддержания стабильности состава ВУТ. Так как ОВУТ является более стабильной суспензией, то нет необходимости применения данного контура.

В настоящее время существует несколько способов сжигания ВУТ:

1. в кипящем слое;
2. факельное сжигание в предтопках;
3. комбинированное факельное сжигание с другими видами топлива.

Сжигание в кипящем слое является не самым эффективным из-за большого процента недожога, однако в этом случае не требуются специальные мероприятия по модернизации топочной камеры [43].

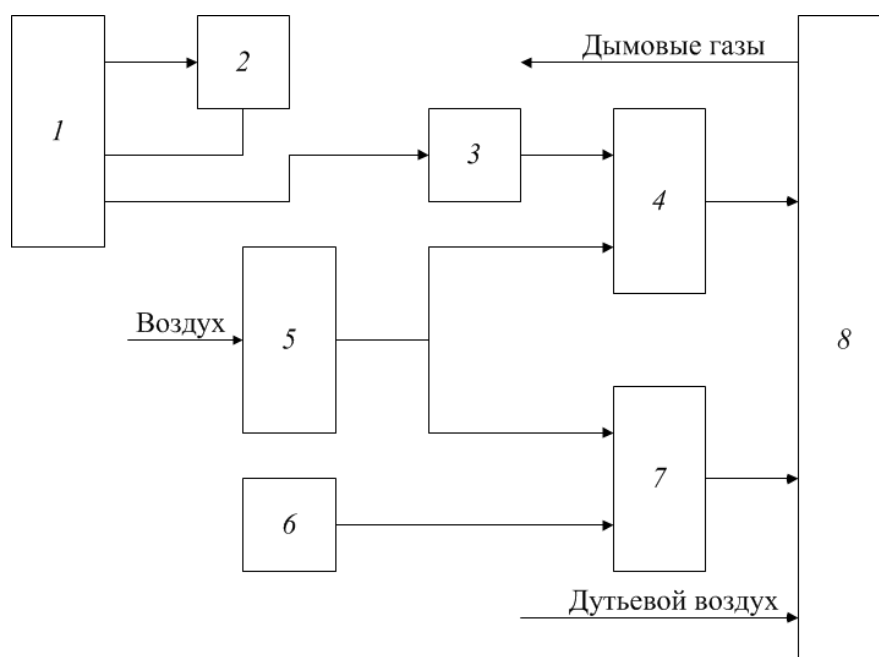


Рисунок 4.4 – Принципиальная схема факельного сжигания ВУТ: 1 – емкость для ВУТ, 2-3 – насосы, 4 – форсунка на водоугольном топливе, 5 – компрессор, 6 – емкость для дизельного топлива, 7 – инициализирующая горелка на дизельном топливе, 8 – топка

Факельное сжигание ВУТ осуществляется по классической схеме: топливо подаётся под давлением через распыляющую форсунку, аналогично мазуту. Распыление ВУТ может производиться как сжатым воздухом, так и паром — выбор производится в зависимости от типа котла и условий в котельной. Полностью самостоятельное (автономное) сжигание ВУТ позволяет иметь только один источник энергии (уголь) и, следовательно, снизить затраты на содержание топливного хозяйства. Однако, полностью автономное горение на существующих котлах, как правило, возможно при использовании предтопок. При их использовании удлиняется траектория факела ВУТ, особенно в начальной фазе, где происходит нагрев капель ВУТ. Это позволяет снизить объём зоны горения ВУТ. С целью поддержания стабильного температурного режима, предтопки изготавливают теплоизолированными (адиабатическими).

При использовании факельного сжигания такие параметры ВУТ, как соотношение твёрдое/жидкое, тонина помола, а также вязкость ВУТ должны

быть как можно ближе к проектным значениям с целью сохранения стабильного воспламенения и горения ВУТ и сохранения высоких эксплуатационных характеристик котла (КПД, количество выбросов и др.)

Комбинированное факельное сжигание с другими видами топлива. Наиболее приемлемо при использовании ВУТ на уже существующих объектах, особенно на угольных котлах. ВУТ подаётся в котёл через одну или несколько форсунок. В случае газомазутного котла второе топливо (газ или мазут, а также уголь) подается через другую горелку.

На угольных котлах со слоевым сжиганием уголь по-прежнему подаётся на колосниковую топку, а ВУТ подаётся через одну или несколько горелок, расположенных над колосниковой топкой. Наиболее оптимальное соотношение ВУТ/уголь составляет 80%/20%...70%/30%. В этом случае обеспечивается стабильное горение угля в обеих формах (ВУТ и кусковой), при этом происходит минимизация недожога.

К преимуществам комбинированного сжигания можно отнести простоту схемы, её масштабируемость для использования на котлах малой, средней и большой мощности. Кроме того, комбинированное сжигание характеризуется минимальными сроками и стоимостью внедрения при одновременной организации стабильного горения ВУТ. Наличие второго топлива снижает требования к качеству подготовки ВУТ [37].

Проанализировав существующие варианты производства и сжигания ВУТ, выделим основные достоинства и недостатки и сведём данные в таблицы 1 и 2.

Таблица 4.1 – Сравнение существующих систем производства ВУТ

Основное оборудование системы	Достоинства	Недостатки
Вибромельница	Простота конструкции, распространенность	Высокие энергозатраты, неоднородность полученного состава, требуется использование дополнительного оборудования
Диспергатор	Однородность полученного состава	Высокие энергозатраты
ГУУМП	Небольшие энергозатраты, высокая степень однородности полученного состава	Дороже аналогичного оборудования

Таблица 4.2 – Сравнение существующих способов сжигания ВУТ

Способы сжигания	Достоинства	Недостатки
В кипящем слое	Не требуется модернизация топочной камеры	Высокий процент недожога, неэффективность сжигания
Факельное сжигание в предтопках;	Эффективное сжигание, полностью автономное горение	Требуется модернизация топочной камеры
Комбинированное факельное сжигание с другими видами топлива.	Не требуется модернизация топочной камеры	Зависимость от другого вида топлива

Основываясь на данных из таблиц 4.1 и 4.2, а также представленных выше принципиальных схемах, можно создать систему производства и сжигания ИКЖТ, совмещающую в себе достоинства всех вышеперечисленных систем. Была выбрана схема на основе ГУУМП с факельным сжиганием в предтопках. Принципиальная схема представлена на рисунке 4.5.

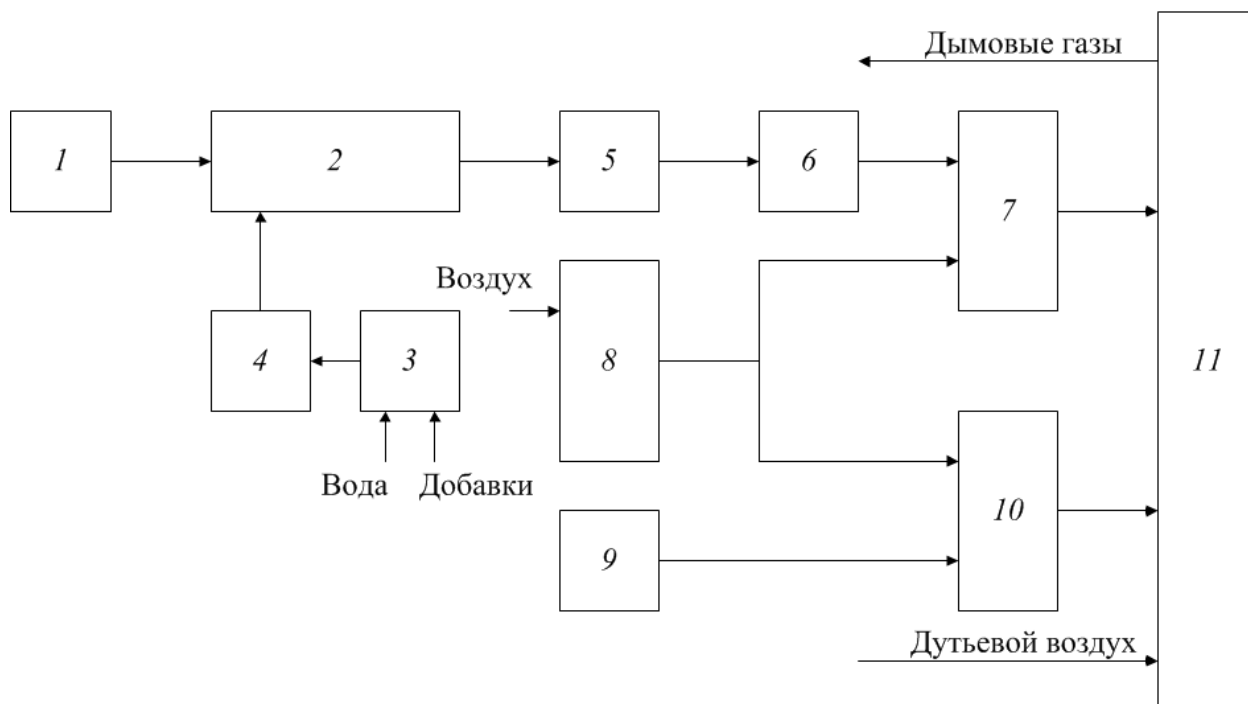


Рисунок 4.5 – Принципиальная схема производства и сжигания ИКЖТ:
 1 – бункер дробленого угля; 2 – гидроударная установка мокрого помола (ГУУМП); 3 – кавитационный роторно-импульсный аппарат; 4 – насос;
 5 – емкость ВУТ; 6 – насос; 7 – форсунка на водоугольном топливе;
 8 – компрессор; 9 – емкость для дизельного топлива, 10 – инициализирующая горелка на дизельном топливе, 11 – топка

Таким образом, была разработана схема, которая обеспечивает наиболее качественное, а также наименее затратное приготовление и сжигание ИКЖТ, на основе существующих технологий и решений. Данная схема не является слишком энергозатратной, обеспечивает производство качественного однородного топлива и эффективное его сжигания, не зависит от другого вида топлива, однако требует небольшой модернизации топочной камеры, а именно установки предтопков.

5 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

Автоматизированная система управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла строится по трехуровневому принципу:

- верхний;
- средний;
- нижний.

Для электропитания технических средств должна быть предусмотрена трехфазная четырехпроводная сеть с глухо заземленной нейтралью 380/220 В (+10-15) % частотой 50 Гц (+1-1) Гц. Каждое техническое средство запитывается однофазным напряжением 220 В частотой 50 Гц через сетевые розетки с заземляющим контактом.

Разработанная система должна вести автоматический контроль параметров технологического объекта, сбор, хранение, обработку и передачу информации о ходе технологического процесса и состоянии технологического оборудования. АСУ должна иметь трехуровневый принцип организации, оснащена современным оборудованием и средствами автоматизации, иметь возможность передачи информации на дальние расстояния, с минимизацией участия диспетчеров в технологическом процессе; иметь архивацию данных о состоянии технологического процесса.

Структурная схема автоматизированной системы управления топливоподачи парового котла на органоводоугольном топливе представлена на рисунке 5.1.

Нижний уровень представляет собой совокупность первичных средств измерения температуры, давления и расхода местных показывающих приборов, а также другого оборудования, необходимого для контроля всех технологических параметров системы. Все оборудование нижнего уровня должно быть размещено на технологическом объекте или в непосредственной близости от него, на приборных щитах.



Рисунок 5.1 – Структурная схема автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла

Технические средства среднего уровня включают в себя щит автоматизации. На среднем уровне выполняются функции сбора информации с датчиков нижнего уровня, автоматический контроль за технологическим оборудованием. Также средства среднего уровня необходимы для передачи информации о состоянии технологического оборудования на верхний уровень системы автоматизации. К верхнему уровню АСУ ТП относится автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора НПС.

Организация сетей передачи данных осуществляется посредством сетей Ethernet/Modbus TCP/IP, полевой шины Modbus и технологической сети Ethernet.

6 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И СОСТАВЛЕНИЕ ЗАКАЗНОЙ СПЕЦИФИКАЦИИ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

6.1 Разработка функциональной схемы

Измерительная информация о ходе технологического процесса и о состоянии оборудования содержит в основном сведения о теплотехнических величинах, измеренных приборами или измерительными системами. Процесс измерения величин и совокупность средств, осуществляющих эти измерения, носят название теплотехнического контроля.

Функциональная схема автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.007 С2.

Процесс сжигания топлива начинается с подачи растопочного дизельного топлива путем открытия регулирующего органа 11а. При достижении температуры в топочной камере, которая измеряется при помощи датчиков температуры 1а, и при которой происходит стабильное горение ОВУТ, подается сигнал включения компрессора 9а, для продувки топливопровода и форсунки.

Далее подается сигнал на открытие регулирующего органа при помощи исполнительного механизма 8а и установку минимальных оборотов топливного насоса ОВУТ. Вместе с этим происходит прекращение подачи дизельного топлива регулирующим органом при помощи исполнительного механизма 11а. При помощи датчика давления-разрежения 2а поддерживается разрежение в топочной камере, путем изменения мощности вентилятора дымовых газов.

Поддержание заданной температуры в топочной камере осуществляется путем регулирования подачи воздуха в топку с использованием регулирующего органа исполнительным механизмом 12а, а также подачи ОВУТ при помощи регулирующего органа и исполнительного механизма 8а по сигналу от датчика наличия свободного кислорода в дымовых газах 6а.

При выключении прекращают подачу ОВУТ и воздуха от компрессора при помощи регулирующих органов и исполнительных механизмов 8а, 12а. Разрежение в топке поддерживают до полного выгорания топлива и остывания топки до заданной температуры работой вентиляторов дымовых газов 9а.

Перечень входных и выходных сигналов, представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень входных/выходных сигналов

N	Наименование параметра (единица измерения)	Позиция	Тип датчика, прибора	AI	AO	DI	DO
1	Температура в топке котла	1	ТС-1088	+			
2	Давление в топке котла	2	АИР-10L	+			
3	Расход ИКЖТ	3	FLONEX	+			
4	Минимальный уровень ИКЖТ в баке	4-1	Rosemount 5400			+	
5	Максимальный уровень ИКЖТ в баке	4-2				+	
6	Минимальный уровень ДТ в баке	5-1	Rosemount 5400			+	
7	Максимальный уровень ДТ в баке	5-2				+	
8	Количество кислорода в дымовых газах	6	Tiesto-314	+			
9	Клапан ИКЖТ открыт	7-1	МЭО			+	
10	Клапан ИКЖТ закрыт	7-3				+	
11	Клапан ИКЖТ открыть	7-3					+
12	Клапан ИКЖТ закрыть	7-4					+
13	Насос работает	8-1	Grundfos UPS 25/40			+	
14	Насос выключен	8-2				+	
15	Насос включить	8-1					+
16	Насос выключить	8-2					+
17	Компрессор работает	9-1	FNC-59			+	
18	Компрессор выключен	9-2				+	
19	Компрессор включить	9-1					+
20	Компрессор выключить	9-2					+
21	Насос работает	10-1	Grundfos UPS 25/40			+	
22	Насос выключен	10-2				+	
23	Насос включить	10-1					+
24	Насос выключить	10-2					+
25	Клапан ДТ открыт	11-1	МЭО			+	
26	Клапан ДТ закрыт	11-2				+	
27	Клапан ДТ открыть	11-3					+
28	Клапан ДТ закрыть	11-4					+
29	Клапан воздуха открыт	12-1	МЭО			+	
30	Клапан воздуха закрыт	12-2				+	
31	Клапан воздуха открыть	12-3					+
32	Клапан воздуха закрыть	12-4					+

6.2 Выбор оборудования нижнего уровня автоматизации

6.2.1 Выбор сигнализаторов уровня

Необходимо выбрать сигнализаторы уровня жидких и сыпучих сред. Сигнализаторы уровня жидкостей могут быть поплавковые, магнитные, кондуктивные, емкостные, оптические, вибрационные, ультразвуковые, гидростатические. Для данной схемы достаточно использовать наиболее простые и дешевые поплавковые датчики. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Сигнализатор уровня поплавковый Nivofloat NL 100 контролирует уровень чистой воды, может использоваться также для сигнализации уровня промышленных и коммунальных сточных вод, канализации, а также воды с взвесями и шламами. Датчик уровня Nivofloat NL 100 недорогой, надежный поплавковый датчик уровня из полипропилена, рассчитанный на 10^7 переключений. Коммутационная способность датчика уровня воды 16 Ампер 250 Вольт.

FASA05 поплавковый кабельный высокотемпературный датчик уровня из нержавеющей стали. Состав FASA05 силиконовый кабель, поплавков сталь SUS304. Предназначен для контроля уровня жидкостей с температурой $0...+170^{\circ}\text{C}$ и объемной плотностью не менее $0,5 \text{ кГ/литр}$, совместимой с силиконом и сталью SUS304 (аналог российской 08X18H10т). Контакт нормально разомкнутый, ртутный.

TUBA 1" – регулятор уровня поплавкового типа с малым диаметром корпуса (1") трубчатого вида. Разработан для использования в местах с ограниченным доступом. Применяется с жидкостями широкого диапазона плотностей ($0,75...1,5$) слабой и средней степени агрессивности. Возможна установка в воду на глубину до 55 м. Высокая точность обеспечивается дифференциальным углом $\pm 20^{\circ}$. Может устанавливаться тремя способами: закреплением на стержне, вертикальным подвешиванием на кабеле с внешним балластом или горизонтальным монтажом на боковых стенках резервуара

через уплотнители. Настраивается на сигнализацию/реагирование по переходу через заданный уровень продукта (заполнение или опустошение).

Технические характеристики некоторых сигнализаторов уровня жидких сред приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Технические характеристики некоторых сигнализаторов уровня жидких сред

Наименование	Nivofloat NL 100	FASA05	TUBA 1"
Дифференциал переключения	$\pm 45^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 20^\circ$
Температура жидкости	$0^\circ \dots +50^\circ\text{C}$	$0^\circ \dots +170^\circ\text{C}$	$0^\circ \dots +85^\circ\text{C}$
Плотность жидкости	0,95 ... 1,0 кГ/л	$\geq 0,5$ кГ/л	0,7...1,5 кГ/л
Тип жидкости	Вода	Вода	Чистые жидкости, вода топливо, масла, краски, буровые растворы

Для измерения всех компонентов ИКЖТ подходят сигнализаторы уровня TUBA 1", так как применимы для многих веществ, таких как вода топливо, масла, краски, растворы и др.

Сигнализаторы уровня сыпучих материалов могут быть наклонного типа, ротационные или флажковые, вибрационные, емкостные, ультразвуковые, микроволновые. Для контроля опустошения угля достаточно использовать простые и дешевые вибрационные датчики. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Вибрационный датчик уровня INNOLevel VIBRO может применяться для сигнализации уровня заполнения, опустошения или промежуточного уровня в емкостях с сыпучими веществами. Установка вертикально, горизонтально или под углом. Датчик предназначен для использования с мелкозернистыми и пылевидными материалами с плотностью от 60 гр/литр, при температуре от -40°C до $+150^\circ\text{C}$, которые не склонны к налипанию, а также для применения в емкостях с избыточным давлением.

Mononivo 4000 предназначен для работы с сыпучими продуктами любых типов и во всех видах промышленных резервуаров, при этом поддерживает легкие материалы плотностью от 20 г/л. Сигнальные выходы позволяют использовать прибор как регулятор (250 VAC 8A, 30VDC 5 A не индуктивной нагрузки). Есть выход с открытым коллектором (PNP 0,4 A), защищенный от КЗ и перегрузки.

Виброзонд Vibranivo может применяться по необходимости как сигнализатор уровня заполнения, опустошения или промежуточного уровня в емкостях с сыпучими веществами. Главным образом приборы предназначены для использования с мелкозернистыми и пылевидными материалами плотностью от 5 гр/литр, с температурой процесса до +150°C и избыточным давлением до 10 бар. Эти приборы являются также отличным решением для особо легких веществ или при высоких механических нагрузках.

Технические характеристики некоторых сигнализаторов уровня сыпучих сред приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Технические характеристики некоторых сигнализаторов уровня сыпучих сред

Наименование	INNOLevel VIBRO	Mononivo® 4000	Vibranivo® VN4000
Температура	-40° ... +150°C	-40° ... +150°C	0° ... +150°C
Плотность	от 60 г/л	от 20 г/л	от 5 г/л

Для мелкозернистого угля и шламов наиболее подходит датчик уровня заполнения Vibranivo VN4000, являющийся отличным решением для данных веществ.

6.2.2 Выбор расходомеров

В процессе производства необходимо измерять расходы не только несжимаемых жидкостей, таких как вода, пластификатор или отработанное горючее, но и расход мелкофракционного сыпучего материала (уголь или шлам), а также органоводоугольной суспензии, которая представляет собой

смесь вышеперечисленных компонентов. Необходимо учитывать особенности измеряемых сред при выборе расходомеров.

В качестве датчика расхода воды и пластификатора можно использовать датчики дифференциального давления, как наиболее распространённый и дешевый вариант. Датчик должен обеспечивать высокую точность измерения, так как температура горения, полученного ИКЖТ зависит от процентного содержания воды.

ЭЛЕМЕР-100 – один из лучших российских интеллектуальных датчиков давления с широкими функциональными возможностями. Датчики оснащены современными тензорезистивными или емкостными сенсорами. Датчики оснащены многофункциональным 5-разрядным ЖК-индикатором с подсветкой и графической шкалой.

Расходомеры Метран-350SFA на базе осредняющей напорной трубки Annubar предназначены для измерения расхода жидкости, газа, пара в системах автоматического контроля, а также в системах технологического и коммерческого учета.

Технические характеристики некоторых датчиков дифференциального давления приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4 – Технические характеристики датчиков дифференциального давления

	ЭЛЕМЕР-100 ДД	Метран-350SFA	Rosemount 3051
Диапазон измерений	0,063 кПа...16 МПа;	до 25 МПа	до 25 МПа
Выходные сигналы	0...5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА; HART; Modbus RTU;	4-20 мА, HART;	4-20 мА HART
Погрешность.	от $\pm 0,15$ %	до $\pm 0,8\%$;	$\pm 0,125$ %

Выберем преобразователь давления ЭЛЕМЕР 100 ДД имеющий высокую точность и подходящие эксплуатационные характеристики.

Для измерения расхода отработанного горючего необходимо использовать датчик расхода с высокой степенью взрывозащиты, так как данный компонент является легко воспламеняемой и взрывоопасной жидкостью. Выберем аналогично преобразователь давления ЭЛЕМЕР 100 ДД, но во взрывозащищенном исполнении.

Для измерения расхода мелкофракционного угля или шлама используют специальные датчики расхода сыпучих материалов. Для этих целей используется микроволновый (радиочастотный) принцип измерения – один из самых точных в измерении расхода сыпучих веществ. Рассмотрим существующие промышленные модели:

Расходомер SolidFlow предназначен для измерения и регулирования массового расхода сыпучих материалов до 20 тонн в час. Датчик расходомера контролирует твердые вещества и смеси с гранулометрическим составом от 1мм до 1 см. Температура контролируемого сыпучего вещества до +200°C. Рабочее давление до 10 бар. Конструктивно преобразователь расхода SolidFlow состоит из датчика расхода и системы контроля расхода. Монтаж датчика расхода осуществляется через монтажную муфту, ввариваемую в продуктопровод. В трубопроводы с диаметром условного прохода до 150 мм включительно достаточно установить один датчик расхода. Если диаметр условного прохода более 150 мм, для обеспечения точности требуется два или три датчика расхода. Выходной сигнал, соответствующий расходу вещества 4...20 мА, 2...10 Вольт, импульсы. Погрешность измерения массового расхода $\pm 2...5\%$. Пропорциональные расходу вещества сигналы позволяют регулировать мгновенный расход контролируемого материала. Выход RS485 или RS232 позволит интегрировать счетчик расхода вещества SolidFlow в существующие промышленные сети.

Расходомер массовый MaxxFlow разработан для измерения расхода сыпучих материалов на участках свободного падения. MaxxFlow предназначен для контроля больших, свыше 20 тонн в час, расходов сыпучих материалов. Датчик расхода встраивается в продуктопроводы с диаметром

условного прохода 150/200/250 мм. Температура контролируемого вещества до +80°C. Давление процесса до 1 бара. MaxxFlow не имеет ограничений по значению максимального измеряемого расхода. Внутри датчика расхода отсутствуют выступающие части или углубления, что предотвращает образование заторов. Для надежного и точного контроля достаточно 200 мм прямого отрезка трубопровода на входе датчика расходомера, на выходе прямой отрезок не требуется. Преобразователь расхода обеспечивает выходные сигналы: расхода 4...20 мА; расхода – импульсы; скорости потока 4...20 мА; минимального/максимального расхода – контакты реле; RS485. Расходомер сыпучих материалов MaxxFlow прост в монтаже и установке, не требует дополнительного технического обслуживания.

Расходомер DensFlow используется для регулирования и измерения расхода сыпучих материалов, транспортирующихся в медленном плотном потоке по пневмопроводу. DensFlow можно устанавливать в продуктопроводы с диаметром условного прохода до 125 мм (опционально доступны большие диаметры). Присоединение к трубопроводу фланцевое. Температура контролируемого материала до +200°C. Давление в трубопроводе до 25 бар. Диапазон скоростей контролируемого потока от 1 до 10 метров/секунду. Преобразователь расхода DensFlow не имеет в рабочем пространстве выступов и впадин, не требует технического обслуживания, точность измерения расхода не зависит от скорости потока вещества, измерение в режиме онлайн. На выходе датчика массового расхода DensFlow можно получить результаты измерений: расхода 4...20 мА; скорости потока 4...20 мА; плотности материала 4...20 мА; все сигналы по RS485.

Технические характеристики датчиков расхода сыпучих материалов приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5 – Технические характеристики датчиков расхода сыпучих материалов

Наименование	SolidFlow	MaxxFlow	DensFlow
Диапазон	До 20 т/ч	б/о	
Погрешность	2-5%	1-3%	2-5%
Максимальная температура	+200 °С	+80 °С	+200 °С
Давление	до 10 бар	до 1 бара	до 25 бар
Выходные сигналы	4...20 мА, 2...10 Вольт, импульсы,	4...20 мА, импульсы	4...20 мА

Так как температура горения состава сильно зависит от концентрации компонентов необходимо выбрать датчик, имеющий наименьшую погрешность. Поэтому оптимальным выбором будет датчик расхода сыпучих материалов MaxxFlow имеющий погрешность 1-3%.

При измерении расхода органоводоугольного топлива, нужно учитывать, что ОБУТ является суспензией с высокой вязкостью, а также приводит быстрому износу оборудования. Поэтому рекомендуется использовать электромагнитные расходомеры, не вступающие непосредственно в контакт и измеряемой средой.

Индукционные (электромагнитные) расходомеры серии FLONET предназначены для измерения объемного расхода негорючих электропроводящих жидкостей в закрытых трубопроводах, в системах теплоснабжения, пищевой и химической индустрии. Измерения могут проводиться в прямом и обратном направлении потока с низкой погрешностью в широком диапазоне скоростей. Индукционные расходомеры FLONET могут быть изготовлены в различных вариантах общепромышленного исполнения, исходя из особенностей среды и условий эксплуатации. Приборы не оказывают гидравлического сопротивления потоку, так как являются полнопроходными изделиями без подвижных частей. Электронный блок индукционного расходомера осуществляет вычисление расхода, а также предлагает ряд сервисных функций, таких, как дозирование,

обнаружение пустых труб, внутреннюю диагностику состояния, автоматическую очистку электродов, а также выбор единицы измерения при визуализации данных. Индукционный расходомер оснащен частотным, импульсным и токовым выходами, а также интерфейсом RS485 с коммуникационным протоколом обмена FLONET. Дисплей отображает информацию на русском языке. Расходомеры FLONET специального исполнения успешно работают в сложных условиях с химически агрессивной средой, с жидкостями высокой температуры и содержащими абразив.

Электромагнитный расходомер–счетчик ЭМИС–МАГ 270 предназначен для постоянного измерения объема и расхода агрессивных жидкостей, щелочей, кислот и воды, а также для операций, связанных с их учетом и контролем. Электромагнитный расходомер от производителя ЭМИС пригоден для эксплуатации в промышленных, коммунально-бытовых, общественных объектах, а также в системах автоматического регулирования. Конструкция ЭМИС-МАГ 270 позволят использовать его для измерения расхода жидкостей с давлением до 32 МПа.

Расходомеры электромагнитные Метран–370 предназначены для измерений объемного расхода электропроводных жидкостей, пульп, эмульсий и т.п. Представляют собой российский аналог расходомеров электромагнитных серии 8700. Позволяют проводить измерение расхода агрессивных сред; имеют высокую точность измерений; отсутствуют движущие части; имеют малые потери давления.

Технические характеристики электромагнитных расходомеров приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6 – Технические характеристики электромагнитных расходомеров

	Элемер FLONET FS10XX	ЭМИС-МАГ 270	Метран-370
Давление	До 1,6 МПа	До 32 МПа	До 0,1 МПа
Погрешность	± 0,2 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Выходные сигналы	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА

Выберем расходомер FLONET FS10XX предназначенный для непрерывного измерения объема протекающих по трубопроводу электропроводных жидкостей содержащие в своем составе высокообразованные частицы и имеющий погрешность $\pm 0,2 \%$.

6.2.3 Выбор датчиков температуры

Температуры в топочной камере могут достигать до 1700 К, следовательно, в качестве датчиков температур рекомендуется использовать термопары с НСХ ПР и ПП. Рассмотрим модели наиболее популярных производителей термопар. Характеристики некоторых термопар приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7 – Технические характеристики некоторых термопар

	Элемер	Метран	Теплоприбор
Наименование	ТПУ 0304/М1 ПП (S)	Rosemount 3144P 1075 ПП (S)	ТПР-0192
Диапазон измерений	0...+1700 °С	-40...1800 °С	+600... + 1600 °С
Выходные сигналы	4...20 мА	4...20 мА	4...20 мА
Класс точности	A	A	A

Выберем термоэлектрические преобразователи серии ТПУ 0304/М1 ПП (S), зарекомендовавшие себя как надежные и долговечные приборы.

6.2.4 Выбор датчиков давления-разряжения

Необходимо поддерживать давление-разряжение в высокотемпературной среде. В соответствии с этим рассмотрим модели датчиков различных производителей.

Датчики АИР-10Н предназначены для непрерывного преобразования избыточного давления-разряжения в унифицированный выходной токовый сигнал 4...20 мА и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART. Датчики оснащены современными тензорезистивными сенсорами с металлическими и керамическими мембранами. Тензорезистивные сенсоры с

металлической разделительной мембраной из нержавеющей стали 316L, выполненные по технологии КНК, имеют высокую перегрузочную способность до 300% от верхнего предела измерений. Примененные в датчиках керамические сенсоры обладают высокой стойкостью к перегрузкам (до 600%) и особо высокой стойкостью к агрессивным средам.

Интеллектуальные датчики давления серии Метран-150 предназначены для измерения и непрерывного преобразования в унифицированный аналоговый токовый сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS485 давления-разрежения. Датчики Метран-150 имеют компактную конструкцию, обладают поворотным электронным блоком и ЖКИ. Датчики Метран-150 изготавливаются в соответствии с самыми высокими требованиями к контрольно-измерительным приборам. Метран-150 сохраняют работоспособность при кратковременном повышении токов или напряжений сверх установленных величин - имеют высокую перегрузочную способность, обладают защитой от переходных процессов. Отдельная внешняя кнопка установки "нуля" и диапазона. Непрерывная самодиагностика датчика дает необходимый уровень надежности и защищенности технического процесса.

Датчик давления Rosemount 2051 предназначен для измерения давления разрежения и непрерывного преобразования значения измеряемого параметра в аналоговый, либо цифровой выходной сигнал. Датчик изготавливается из различных материалов и с разными вариантами технологических соединений. Различные варианты исполнения – фланец Corlana, традиционное фланцевое соединение, штуцерное исполнение, фланцы уровня – позволяют выбрать прибор, соответствующий конкретным условиям эксплуатации.

Технические характеристики некоторых датчиков давления-разрежения приведены в табл. 6.8.

Таблица 6.8 – Технические характеристики некоторых датчиков давления-разрежения

Наименование	Элемер АИР-10Н	Метран-150	Rosemount 2051
Диапазон измерений	± 5 кПа...	0,25-6,30 кПа	
Выходные сигналы	4...20 мА и HART;	4-20 мА с HART; 0-5 мА	4-20 мА HART
Погрешность.	от $\pm 0,1$ %	до $\pm 0,075\%$;	$\pm 0,065$ %

Выберем датчик давления-разрежения Элемер АИР-10Н, являющийся надежным средством измерения давления-разрежения.

6.2.5 Выбор газоанализатора

Регулирование подачи ОВУТ происходит по сигналу от датчика наличия свободного кислорода в дымовых газах, присутствующего в большинстве газоанализаторов. Существует много типов газоанализаторов, наиболее распространенные из них термохимические, электрохимические, оптические.

Термохимические имеют низкую стоимость, однако вместе с этим низкую избирательность; маленький диапазон измеряемой концентрации; непродолжительный срок службы сенсора; низкое быстродействие и чувствительность; для работы требует наличие кислорода. Электрохимические позволяют обнаруживать даже мельчайшие частицы вредных газов; имеют широкий диапазон определения загрязняющих органических и неорганических веществ; низкое энергопотребление; Однако вместе с этим имеют низкую селективность; крупные габариты. Оптические газоанализаторы имеют высокую чувствительность; высокое быстродействие селективность и чувствительность; позволяют определять практически все загрязняющие газы и вещества, но имеют высокую стоимость. Рассмотрим популярные модели в табл.6.9.

Таблица 6.9 – Технические характеристики некоторых газоанализаторов

Производитель	Модель	Определяемые вещества	Количество каналов
НПП «ОРИОН»	Дозор-С	NH ₃ , CO, O ₂ , CO ₂ , NO ₂ , CL ₂ , SO ₂	1-5 (IP 65), 1-8 (IP 40)
MRU	SWG 300	CH ₄ , C ₃ H ₈ , O ₂ , CO, NO, CO ₂ , SO ₂	4
НПП «Дельта»	Мак-СКВ	CO	1
ООО «Информаналитика»	ХОББИТ-Т	CO, H ₂ S, SO ₂ , H ₂ , CO ₂ , Cl ₂ , F ₂ , NH ₃ , HF, O ₃ , C ₆ H ₁₄ , CH ₄ , C ₃ H ₈	16
ООО «ХРОМДЕТ-ЭКОЛОГИЯ»	ЭССА	NO	1-16
НПП «ЭЛЕКТРОСТАНДАРТ»	ЭГС	CH ₄ , C ₃ H ₈ , CO ₂ , C ₂ H ₅ OH, H ₂ , O ₂ , CO, H ₂ S, NH ₃ , SO ₂	1-2, 1-64
ООО «ЛИФОТ»	Testo 350	CO, O ₂ , C _x H _y , SO ₂ , NO ₂ , NO	4-6
ООО «Информаналитика»	ОКА-92М	O ₂	1-16

Будем использовать АКВТ-01, так как требуется измерять только кислород.

6.2.6 Выбор контроллера

Для управления системой производства и подачи ОВУТ необходим высокопроизводительный и имеющий достаточное количество дискретных и аналоговых входов контроллер.

Программируемый логический контроллер ЭЛСИМА выполнен в полном соответствии со стандартом ГОСТ Р 51840-2001 (IEC 61131-2), что обеспечивает высокую аппаратную надежность. Оптимальны для построения локальных систем управления и для систем вентиляции, отопления, торговых установок, котлов.

CompactLogix — это небольшой контроллер Logix для семейства ввода/вывода Compact I/O фирмы Allen-Bradley (США). Имея ту же вычислительную мощность, что и процессор ControlLogix, CompactLogix

может выполнять приложения по управлению с высокой производительностью. Он идеально подходит для системы специализированного управления любого рода, и, благодаря встроенному порту, обеспечивающему возможность соединения с ControlNet, EtherNet/IP и DeviceNet, он легко интегрируется в большие архитектуры управления. CompactLogix разработан для применения решений Logix в приложениях нижнего и среднего уровней управления. Как правило, приложения такого уровня имеют небольшое число входов/выходов и ограниченные возможности связи.

Воспользуемся контроллером ЭЛСИМА, который обеспечивает надежность, гибкость и функциональность системы управления.

6.3 Составление заказной спецификации

Техническая документация, в которой отражены все необходимые сведения о приборах и технических средствах автоматизации для реализации автоматизированной системы управления процессом подготовки композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла называется спецификацией.

В приложении Б представлена заказная спецификация приборов и средств измерений для разрабатываемой АСУ.

7 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ

Полный состав приборов и средств автоматизации, используемые для разработки и создания автоматизированной системой управления процессом подготовки искусственного композиционного жидкого топлива к сжиганию в топке котла отражает принципиальная электрическая схема.

На листе с шифром ФЮРА.42100.007 ЭЗ представлена схема принципиальная электрическая соединений шкафа управления.

Шкаф автоматизации питается от двухфазной цепи с переменным напряжением 220 В. Блок питания необходим для преобразования напряжения сети переменного тока 220 В в постоянное напряжение 24 В. Для этого установлен блок EF A UPS 1AC/24 DC-4.

Контроллеры и модули ввода-вывода, расположенные в шкафу, питаются через блоки бесперебойного питания 24 В. В шкафу установлена розетка XS1 на ~220 В для удобства обслуживания оборудования. Также в шкафу установлен светильник NSYLAMCS (EL1), при включении выключателя светильник загорается.

Сигналы с приборов по последовательному интерфейсу RS-485 поступают на модуль A01 контроллера ЭЛСИМА. Сигналы с кнопок и на лампы поступают на модуль D01 контроллера ЭЛСИМА. Для ручного управления в схеме предусмотрены коммутирующие устройства – кнопки SB1-SB12, а для индикации предусмотрены лампы HL2-HL13. Лампа HL1 показывает наличие питания в шкафу.

В приложении В отображен перечень элементов принципиальной электрической схемы соединений.

8 РАЗРАБОТКА ОБЩЕГО ВИДА ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ

Чертеж общего вида шкафа управления поясняет принцип его работы, показывает его конструкцию и как взаимодействуют его части. Общий вид шкафа представлен на листе с шифром ФЮРА.42100.007 С3.

Шкаф управления собран в компании Элеси и имеет возможность раскрываться. Боковые стенки могут быть открыты для удобства подключения к нему различных проводов. Все приборы, расположенные в шкафу, имеют наклейки с обозначениями, соответствующие перечню элементов принципиальной электрической схеме соединений шкафа управления. Шкаф является связующим звеном между объектом управления и человеком-оператором.

На виде спереди в верхней части щита расположен контроллер ЭЛСИМА М01, а чуть ниже модули ввода-вывода ЭЛСИМА А01 и ЭЛСИМА Д01. Справа расположен блок питания Модуль EF A UPS 1AC/24 DC-4.

Внизу шкафа расположены клеммы, предназначенные для подключения проводов, по которым поступают сигналы на контроллер.

Все элементы шкафа закреплены на металлические рейки, а провода уложены в короба серого цвета. Провода искробезопасной цепи проложены в коробах синего цвета. Провода 24 В и «220 В» в расположены в различных коробах для уменьшения помех, возникающих при эксплуатации. Все короба подписаны провода скольких вольт в них проложены. Внизу расположено отверстие для подвода проводов.

9 РАЗРАБОТКА МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ ВНЕШНИХ ПРОВОДОК

Монтажные схемы щитов и пультов проектируют с целью выполнения различных видов коммутации элементов систем автоматизации в пределах щитов и пультов. К монтажной документации щитов относят схемы электрических соединений щитов.

Схема монтажная должна содержать:

- первичные преобразователи, расположенные вне щита;
- вне щитового средства автоматизации (расположенные «по месту»);
- внешние электрические и трубные проводки;
- щит автоматизации;
- таблицу с поясняющими надписями.

Монтажная схема проектируемой автоматизированной системы представлена на чертеже ФЮРА.421000.007 С4.

В верхней части схемы расположена таблица с обозначениями измеряемого параметра, измеряемой среды, места установки и позиционного обозначения. Ниже расположены датчики в виде окружностей. От датчиков ведут линии, обозначающие кабели, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. Линии, проведенные от датчиков соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации. Условно изображены клеммы, к которым подходят линии от датчиков. Цифрами обозначены клеммы, к которым ведут провода.

В правой части чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для управления технологическим процессом, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики.

10 РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА

На основе разработанного шкафа управления разработан учебный стенд для изучения процессов смешения композиционных жидких топлив. Стенд позволит изучать влияние различных компонентов на процесс зажигания и горения ИКЖТ. Внешний вид стенда представлен на рисунке 10.1.



Рисунок 10.1 – Внешний вид учебного стенда

Работа со стендом осуществляется путем нажатия кнопок выбора определенных компонентов и наблюдением за результатом отображаемом при помощи ламп. Код программы, вшитый в контроллер ЭЛСИМА, написан в среде Codesys 3.5 на языке ST и представлен ниже:

```

PROGRAM PLC_PRG
VAR
coal : INT; //уголь
oil : INT; //масло
water : INT; //вода
//k1 бурый
//k2 каменный
//k3 кек
//k4 моторное
//k5 турбинное
//k6 трансформаторное
//k7 вода
//k8 сухой
//k9 густой
//k10 недостаточная температура
//k11 не горит
//k12 ОК!
XXX : BOOL;
YYY: BOOL;
END_VAR
IF k1=1 AND k2=1 OR
k1=1 AND k3=1 OR
k2=1 AND k3=1 OR
k1=1 AND k2=1 AND k3=1 THEN
k1:=0; k2:=0; k3:=0;
END_IF
IF k4=1 AND k5=1 OR
k4=1 AND k6=1 OR
k5=1 AND k6=1 OR
k4=1 AND k5=1 AND k6=1 THEN
k4:=0; k5:=0; k6:=0;
END_IF
IF coal>100 THEN coal:=100; END_IF
IF oil>100 THEN oil:=100; END_IF
IF water>100 THEN water:=100; END_IF
IF coal>0 THEN water:=100-coal; END_IF
IF coal+oil>100 THEN oil:=100-coal; END_IF
IF oil>0 THEN water:=100-coal-oil; END_IF
IF water>0 THEN k7:=1; END_IF
IF XXX=TRUE THEN
k8:=0; k9:=FALSE; k10:=FALSE; k11:=FALSE; k12:=FALSE;
IF k1=0 AND k2=0 AND k3=0 THEN k11:=TRUE; END_IF
IF k4=0 AND k5=0 AND k6=0 THEN k11:=TRUE; END_IF
IF k7=0 THEN k8:=1; END_IF
IF water<30 THEN k8:=1; YYY:=TRUE; END_IF
IF water>65 THEN k11:=TRUE; YYY:=TRUE; END_IF
IF oil>25 THEN k9:=TRUE; YYY:=TRUE; END_IF
IF YYY=FALSE THEN
IF k1=1 AND k4=1 AND oil<10 THEN k10:=TRUE; ELSE k12:=TRUE;
END_IF
IF k1=1 AND k5=1 AND oil<15 THEN k10:=TRUE; ELSE k12:=TRUE;
END_IF

```

```

IF k1=1 AND k6=1 AND oil<20 THEN k10:=TRUE; ELSE k12:=TRUE;
END_IF
IF k2=1 AND k4=1 AND water<40 THEN k10:=TRUE; ELSE k12:=TRUE;
END_IF
IF k2=1 AND k5=1 AND water<50 THEN k10:=TRUE; ELSE k12:=TRUE;
END_IF
IF k2=1 AND k6=1 AND water<60 THEN k10:=TRUE; ELSE k12:=TRUE;
END_IF
IF k3=1 AND k4=1 AND oil<10 AND water<40 THEN k10:=TRUE; ELSE
k12:=TRUE; END_IF
IF k3=1 AND k5=1 AND oil<15 AND water<50 THEN k10:=TRUE; ELSE
k12:=TRUE; END_IF
IF k3=1 AND k6=1 AND oil<20 AND water<60 THEN k10:=TRUE; ELSE
k12:=TRUE; END_IF
END_IF
END_IF
XXX:=FALSE;

```

Система работает следующим образом: студент при помощи кнопок выбирает один из предложенных видов угля: бурый каменный или фильтр-кек, а также один из предложенных отработанных масел: турбинное моторное или трансформаторное. Также можно выбрать добавление воды. При выборе загорается соответствующая лампа. Имеется возможность изменять процент выбранного компонента при помощи слайдера на мнемосхеме компьютера. После выбора студент нажимает кнопку «Подать!» и после работы программы загорается одна из нескольких возможных ламп:

- лампа «Слишком сухой!» загорается если выбрано воды меньше 30%;
- лампа «Слишком густой!» загорается если выбрано масла больше 25%;
- лампа «Не горит» загорается если выбрано воды больше 65%;
- лампа «Недостат. темп.» загорается если:
 - выбран бурый и моторное, но масла меньше 10%;
 - выбран бурый и турбинное, но масла меньше 15%;
 - выбран бурый и трансформаторное, но масла меньше 25%;
 - выбран каменный и моторное, но воды меньше 40%;
 - выбран каменный и турбинное, но воды меньше 50%;
 - выбран каменный и трансформаторное, но масла меньше 60%;

- выбран фильтр-кек и моторное, но масла меньше 10% и воды меньше 40%;
 - выбран фильтр-кек и турбинное, но масло меньше 15% и воды меньше 50%;
 - выбран фильтр-кек и трансформаторное, но масло меньше 25% и воды меньше 60%;
- Лампа «ОК!» загорается в остальных случаях.

Если студент захочет повторить, то ему нужно нажать кнопку «Сброс!»

Таким образом, в ходе работы студент получает понятие о влиянии компонентов на свойства полученной смеси, и ее способности к горению в топке котла.