

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем автоматики, автоматизированного управления и  
проектирования

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАРОВОГО КОТЛА**

Руководитель	_____	____.06. 2020 г.	зав.каф., д-р техн. наук С.В. Ченцов
Выпускник	_____	____.06. 2020 г.	К.Е. Павлов
Консультант	_____	____.06. 2020 г.	И.В. Солопко
Нормоконтролер	_____	____.06. 2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему "Автоматизация парового котла" содержит 55 страниц текстового документа, 1 приложение, 24 использованных источника и 24 графических элемента.

АВТОМАТИЗАЦИЯ, ПАРОВОЙ КОТЕЛ, SIMINTECH,  
УПРАВЛЕНИЕ, МОНИТОРИНГ, СИМУЛЯТОР,  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ.

Объектом автоматизации является паровой котлоагрегат Красноярской ТЭЦ-2 БКЗ 500-140.

Актуальностью является необходимость повышения эффективности функционирования системы автоматизации парового котла.

Целью работы является создание программного симулятора для мониторинга и управления параметрами парового котла.

Задачи, которые решались в ходе выполнения данной бакалаврской работы:

- 1) изучить технологический процесс работы парового котла;
- 2) описать применяемые средства автоматизации;
- 3) разработать программу управления и контроля параметров в SiminTech.

В ходе выпускной квалификационной работы были изучен принцип действия парового котла, описаны средства автоматизации согласно функциональной схеме автоматизации, а также была приведена система автоматического регулирования давления и температуры пара барабанного парового котла необходимая в широком спектре производства. Разработан удобный и НМІ (человеко-машинный интерфейс) в среде SiminTech. Составлена программа для данного объекта автоматизации и его визуализация.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Характеристика объекта автоматизации.....	7
1.1 Паровые котлоагрегаты .....	7
1.2 Основные участки регулирования барабанного парового котла.....	9
1.3 Минусы котлоагрегата БКЗ 500-140.....	15
1.4 Система безмазутного розжига котла.....	16
1.5 Вывод по главе 1 .....	21
2 Автоматизация парового котла .....	22
2.1 Параметры контроля и регулирования автоматизации парового котла .....	22
2.2 Анализ выбранного пути автоматизации системы .....	23
2.3 Функциональная схема автоматизации парового котла .....	24
2.4 Технические средства автоматизации .....	25
2.5 Вывод по главе 2 .....	33
3 Формирование проекта системы автоматического регулирования.....	34
3.1 Составление функционально-структурной схемы выбранной системы	34
3.2 Определение передаточных функций элементов функционально – структурной схеме .....	35
3.3 Составление и преобразование структурной схемы и расчет передаточной функции для замкнутой и разомкнутой систем .....	36
3.4 Создание базы данных проекта в SiminTech .....	38
3.5 Моделирование схем общего вида в среде SiminTech.....	40
3.6 Создание пульта управления оператора.....	42
3.7 Тестирование работы проекта .....	43
3.8 Вывод по главе 3 .....	44
Заключение .....	45
Список использованных источников .....	46
Приложение А .....	49

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики – это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления технологическим процессом без непосредственного участия человека. Если прежде в ранней стадии становления энергетики под автоматическим регулированием понималось выполнение определенных, часто повторяющихся действий без участия персонала, обслуживающего энергетические объекты, то в настоящее время преобладающую роль играют схемы и технические средства, обеспечивающие организацию и оптимизацию технологических процессов, автоматизацию управления ими. Для развития энергетической промышленности исключительное значение имеет теоретические и экспериментальные исследования в области физического и математического моделирования. Разработаны теория и принципы построения моделей энергооборудования, их систем регулирования, посредством которых стало возможным моделирование процессов в крупных энергосистемах. Широкая автоматизация технологических процессов нашла свое яркое отражение в развитии в развитии комплексной автоматизации электростанций, разнообразного применения телемеханических устройств в энергосистемах, в частности в диспетчерском управлении режимами работы электростанций и энергосистем в целом. Регулирование технологических процессов в энергетике, происходящих при экспериментальных температурах и скоростях требует аппаратуры высокого класса, обладающей быстротой и точностью действия. Вместе с тем внедрение электронных полупроводниковых устройств и интегральных микросхем в системах управления не исключает механических, гидравлических, пневматических и электромеханических элементов и систем. Применение автоматических систем регулирования позволяет повысить надежность и экономичность работы энергооборудования электростанций при малом числе

обслуживающего персонала. Учитывая, что на эти показатели оказывает влияние большое количество взаимосвязанных факторов, для оценки эффективности работы энергоустановок используется вычислительная техника, обеспечивающая автоматический сбор необходимой информации и расчет технико-экономических показателей электростанций и энергосистем. Подсистемы контроля, управления и расчета технико-экономических показателей образуют автоматизированную систему управления технологическими процессами тепловой электростанции.

Красноярская ТЭЦ-2 отапливает и снабжает горячей водой Свердловский, Центральный, Железнодорожный и Октябрьский районы Красноярска и поставляет пар предприятиям южного промышленного узла (ХМЗ, «Кульбытстрой», «Волна», цементный завод, кондитерская фабрика «Краскон»). ТЭЦ-2 - одна из самых экономичных теплоэлектроцентралей по удельному расходу условного топлива на единицу продукции в стране. Теплоэлектроцентраль может работать как в теплофикационном режиме, так и в режиме комбинированной выработки тепла и электроэнергии.

На Красноярской ТЭЦ-2 предусмотрено 3 котлоагрегата паропроизводительностью 380 т/ч каждый (БКЗ-420-140-ПТ1), 3 котлоагрегата паропроизводительностью 500 т/ч (БКЗ-500-140). В бакалаврской работе рассматривается процесс автоматизации парового котла на примере котлоагрегата БКЗ-500-140, этот паровой котел является самой передовой разработкой в России и во всем мире, но его работу, как и любую техническую систему можно улучшить.

Постоянный мониторинг, управление и контроль большого количества технологических процессов является трудоемким или невозможным без использования специальных средств автоматизации.

Актуальность работы состоит в необходимости повышения эффективности функционирования системы автоматизации парового котла.

Целью бакалаврской работы является создание программного симулятора для мониторинга и управления параметрами парового котла.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) изучить технологический процесс работы парового котла;
- 2) описать применяемые средства автоматизации;
- 3) разработать программу управления и контроля параметров в SiminTech .

# 1 Характеристика объекта автоматизации

## 1.1 Паровые котлоагрегаты

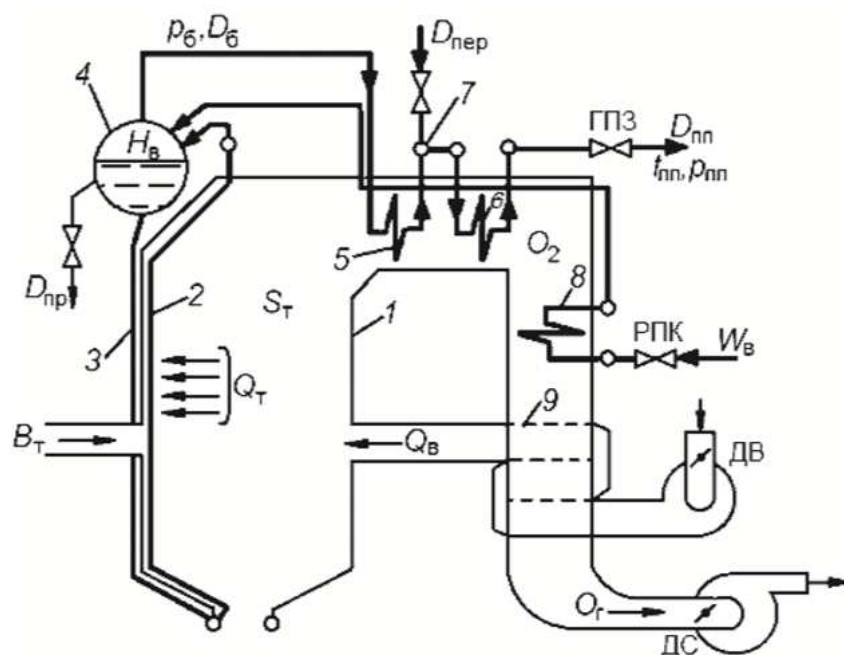
В энергетике используется и выпускается большой спектр паровых котлов, различающихся по назначению, производительности, параметрам пара, способу циркуляции воды, конструктивному оформлению и т. п. По назначению паровые котлы делятся на энергетические (котлы средних и больших давлений и большой производительности), промышленные (котлы малых и средних давлений, малой и средней производительности), отопительные (для производства пара и горячей воды для систем теплоснабжения), утилизационные (котлы-утилизаторы, использующие для производства пара теплоту вторичных энергоресурсов), энерготехнологические (используют теплоту вторичных энергоресурсов — продуктов технологической переработки каких-либо материалов) и др. По давлению различают котлы низкого давления (до 1,4 МПа), среднего (4–10 МПа), высокого (14 МПа), сверхвысокого давления (18– 20 МПа) и сверхкритического давления (больше 22,5 МПа). По производительности различают котлы малой производительности (до 25 т/ч), средней (25–200 т/ч) и большой производительности (более 200 т/ч), к которым относятся котлы энергетические. По способу циркуляции воды котлы подразделяются на котлы с естественной циркуляцией (барабанные паровые котлы низкого, среднего и высокого давления), многократной принудительной циркуляцией (котлы-утилизаторы) и прямоточные котлы (котлы сверхвысокого и сверхкритического давления). Котлы большой мощности (давление перегретого рпп  $\geq 10$  МПа, температура перегретого пара tпп  $\gg 545\dots 565$  °С и производительность Dпп = 200...2500 т/ч) — это энергетические котлы (их называют парогенераторы), используются на тепловых электростанциях. Котлы средней мощности (рпп  $\geq 4\dots 10$  МПа; tпп  $\gg 440$  °С; Dпп = 35...200

т/ч) относятся к промышленным котлам и устанавливаются на ТЭЦ. Котлы малой мощности (с давлением пара  $p_p \leq 1,4$  МПа; производительностью  $D_p < 35$  т/ч) имеют на выходе или насыщенный пар, или слабоперегретый тпп »  $225...250$  °С, относятся к производственно-отопительным котлам и используются в паровых или пароводогрейных котельных. Паровые котлы различаются не только по вышеприведенным признакам, но и по конструкции, видам и способу сжигания топлива (газ, мазут, твердое топливо). Конструктивные особенности котлов, которые необходимо учитывать при выполнении упрощенных технологических схем и автоматизации, следующие: 1) котлы большой мощности имеют в своем составе сложный пароперегреватель, включающий радиационную, радиационно-конвективную и конвективную части, разделенные пароохладителями впрыскивающего типа; имеют двухступенчатые экономайзеры и воздухоподогреватели; 2) котлы средней мощности имеют в своем составе также все поверхности нагрева — конвективный пароперегреватель с пароохладителем поверхностного или впрыскивающего типа, одно- или двухступенчатую компоновку экономайзера и воздухоподогревателя; 3) котлы малой мощности имеют не все поверхности нагрева. В них нет пароперегревателя (на выходе имеем насыщенный пар) или некоторые котлы имеют пароперегреватель для слабого нерегулируемого перегрева пара ( $t_{пп} = 225$  °С или  $250$  °С). В этих котлах нет воздухоподогревателя, имеется чугунный экономайзер, который вынесен за пределы котла. Такое многообразие существующего парка котлов не позволяет создать какую-либо единую систему автоматического управления их работой. Однако для барабанных паровых котлов с естественной циркуляцией можно выделить некоторые общие потоки, присущие этим котлам, определить основные каналы регулирующих воздействий и осуществить регулирование основных параметров по отдельным одноконтурным системам. [5]



## 1.2 Основные участки регулирования барабанного парового котла

Рассмотрим основные участки регулирования барабанного парового котла на примере котла средней мощности, имеющего все поверхности нагрева: испарительную часть, конвективный пароперегреватель, экономайзер и воздухоподогреватель (Рисунок 1).



ГПЗ — газовая паровая задвижка; РПК — регулировочный питательный клапан; ДВ — дутьевой вентилятор; ДС — дымосос; 1 — топка; 2 — подъемные трубы; 3 — опускные трубы; 4 — барабан котла; 5, 6 — 1-я и 2-я ступени пароперегревателя; 7 — пароохладитель; 8 — экономайзер; 9 — воздухоподогреватель

Рисунок 1 – Барабанный парогенератор (принципиальная технологическая схема)

Процесс парообразования происходит в подъемных трубах 2 циркуляционного контура, снабжающихся водой из опускных труб 3 и экранирующих топочную камеру 1, в которой сжигается топливо с расходом  $В_t$ . Для поддержания процесса горения в топку подается воздух с расходом  $Q_v$  с помощью вентилятора Дв, предварительно подогретый в

воздухоподогревателе 9. Образовавшиеся в результате процесса горения продукты сгорания (дымовые газы) отсасываются из топки с расходом  $Q_g$  дымососом ДС, проходят через поверхности нагрева пароперегревателя 5, 6, водяного экономайзера 8 и воздухоподогревателя 9. Насыщенный пар с расходом  $D_b$  отводится из барабана котла, поступает в пароперегреватель 5, 6 и подогревается до требуемой температуры  $t_{пп}$  за счет излучения и конвективного теплообмена. Питательная вода с расходом  $W_b$  поступает в водяной экономайзер 8, в котором нагревается за счет излучения и конвективного теплообмена от дымовых газов до определенной температуры и направляется в барабан котла 4. Вместе с питательной водой в испарительный контур котла поступают соли. Часть накапливающихся в котловой воде солей отводится непрерывной продувкой с расходом  $D_{пр}$ . Парообразование происходит в подъемных трубах котла за счет подвода тепла от высокотемпературного факела  $Q_t$ , выделяющегося при сжигании топлива в топке. Основными регулируемыми величинами котла являются расход перегретого пара  $D_{пп}$ , его давление  $r_{пп}$  и температура  $t_{пп}$ . Перегретый пар направляется потребителю, который может изменять расход пара  $D_{пп}$ . Следовательно, переменной величиной для котла является расход пара, а его давление и температура должны поддерживаться в пределах допустимых отклонений, которые определяются в соответствии с требованиями заданного режима работы потребителя (турбины или иного потребителя тепловой энергии пара). Заданное значение температуры пара  $t_{пп}$  может поддерживаться посредством изменения расхода охлаждающей воды  $D_{впр}$  на парохладитель 7. Давление перегретого пара  $r_{пп}$  и давление в барабане котла  $r_b$  изменяется во всех случаях возникновения небаланса между количеством потребляемого пара  $D_{пп}$  и генерируемого (вырабатываемого) в экранных трубах  $D_b$  и может поддерживаться посредством изменения тепловыделения в топке  $Q_t$ , т. е. главным образом изменением подачи топлива. Кроме поддержания требуемого расхода пара

Дпп и заданных значений рпп и тпп следует поддерживать в пределах допустимых отклонений следующие величины: уровень воды в барабане котла Нв, разрежение в верхней части топки St, солесодержание котловой воды, оптимальный расход воздуха на сжигание топлива. Вышеперечисленные величины изменяются в результате регулирующих воздействий и под действием внешних и внутренних возмущений, носящих закономерный или случайный характер, таких как колебания расхода пара, качество и расход топлива, температура питательной воды, нарушение плотности топки и т. п. Из этого следует, что паровой котел как объект регулирования в целом представляет собой сложную динамическую систему с целым рядом взаимосвязанных входных и выходных величин (Рисунок 1.2).

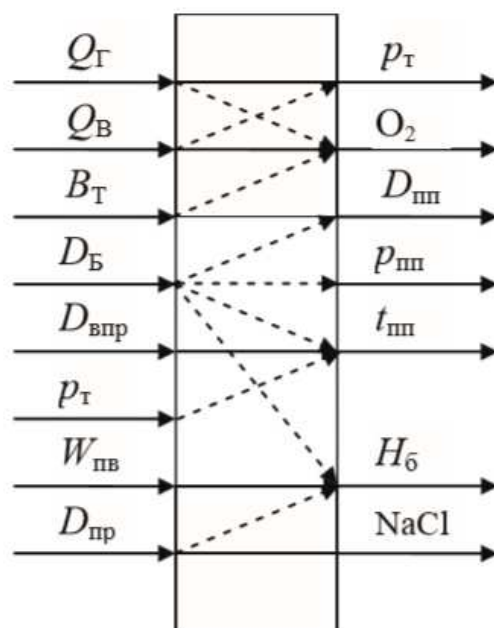


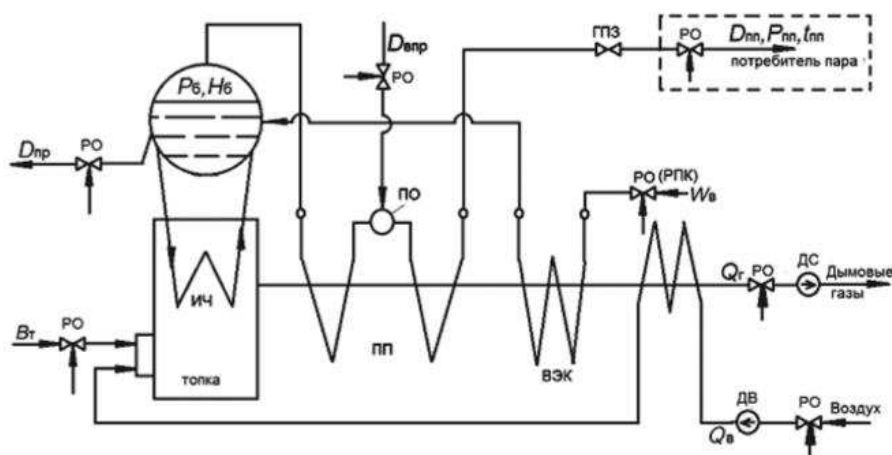
Рисунок 1.2 – Схема взаимосвязей между выходными и входными величинами в барабанном парогенераторе

Сложность взаимосвязей состоит в том, что некоторые входные величины, напрямую влияя на выходные величины, косвенно влияют на другие выходные параметры. Это косвенное влияние трудно бывает учесть.

Например, изменение расхода топлива  $V_t$  напрямую (сплошная линия) влияет на расход перегретого пара  $D_{пп}$  и в то же время влияет на содержание свободного кислорода в дымовых газах  $O_2$  и давление перегретого пара  $r_{пп}$ ; расход воды на впрыск  $D_{впр}$  напрямую влияет на температуру перегретого пара  $t_{пп}$ , на которую также влияет расход пара из барабана котла  $D_b$  и разрежение в топке  $S_t$ ; расход перегретого пара  $D_{пп}$ , являясь выходной величиной по отношению к расходу топлива  $V_t$ , служит входной величиной (воздействием) по отношению к давлению  $r_{пп}$  и температуре  $t_{пп}$  перегретого пара и т. д.

Однако явно выраженная направленность участков регулирования котла по основным каналам регулирующих воздействий, таких как расход питательной воды  $W_b$ , уровень воды в барабане  $H_b$ , расход топлива  $V_t$ , давление  $r_{пп}$  и др., позволяет осуществлять стабилизацию регулируемых величин с помощью независимых одноконтурных систем, связанных лишь через объект регулирования. При этом регулирующее воздействие того или иного участка (сплошные линии на Рисунке 1.2) служат основным способом стабилизации его регулируемой величины, а другие воздействия (пунктирные линии) являются по отношению к этому участку внутренними или внешними возмущениями. Хорошее знание технологии работы теплоэнергетического оборудования, рассмотрение входных и выходных потоков его отдельных участков (объектов) и определение того основного параметра, который будет изменяться при возникновении небаланса между этими потоками (динамический переходный режим работы) позволяет составлять необходимые структурные схемы систем регулирования без составления дифференциальных уравнений объектов. В автоматике широко используются упрощенные технологические схемы оборудования, на которых показаны все входные и выходные потоки, все регулирующие органы и только то оборудование, которое необходимо для понимания работы технологии. Технологическая схема не обязательно должна повторять

геометрические контуры оборудования. Это удобно тем, что схема не затенена дополнительным оборудованием, не относящимся к автоматике, ее просто читать и выявлять необходимые для рассмотрения потоки и регулируемые параметры. Кроме того, при таком представлении технологической схемы проще и удобнее составлять функциональные схемы автоматизации оборудования. Используем такой подход при рассмотрении автоматизации барабанного парового котла средней мощности (Рисунок 1). Упрощенная технологическая схема котла представлена на рисунке 1.3. Паровой котел в целом можно рассматривать как объект регулирования тепловой нагрузки, поступающей к потребителю в виде расхода пара  $D_{пн}$  с параметрами  $r_{пн}$  и  $t_{пн}$ . С паром из котла уходит тепловая нагрузка (расход тепла), а входит теплота с расходом топлива  $W_t$ , которая выделяется при его сжигании в топке.



ИЧ — испарительная часть; ПП — пароперегреватель; ВЭК — водяной экономайзер; ВЗП — воздухоподогреватель; РО — регулирующий орган

Рисунок 1.3 – Упрощенная технологическая схема барабанного парового котла средней мощности

В установившихся режимах работы котла баланс входящей и выходящей теплоты сохраняется, все основные параметры не изменяются

( $D_{пп} = \text{const}$ ;  $R_{пп} = \text{const}$ ;  $H_b = \text{const}$ ;  $St = \text{const}$ ). Потребитель, изменяя расход пара, нарушает тепловой баланс котла, вследствие чего основные параметры начинают изменяться (наступает динамический режим работы). Необходимо установить регулятор тепловой нагрузки котла (РТН), который устанавливал бы то значение, которое в данное время необходимо потребителю, управляя подачей топлива  $V_t$  на котел. На сжигание топлива требуется подавать воздух с расходом  $Q_v$ , соответствующим расходу топлива  $V_t$ . Следовательно, необходим регулятор общего воздуха (РОВА), управляющий его подачей с расходом  $Q_v$ . В топку входят потоки топлива  $V_t$  и воздуха  $Q_v$ , а из топки дымососом удаляются продукты сгорания топлива (дымовые газы) с расходом  $Q_g$ . При нарушении баланса расходов в топке будет изменяться разрежение в верхней части  $St$ , которое является показателем соответствия баланса входных и выходных потоков в топке. Следовательно, необходимо установить регулятор разрежения (PSt), который будет управлять расходом дымовых газов  $Q_g$ .

Вышеперечисленные регуляторы (РТН, РОВА и PSt) обеспечивают нормальный процесс горения топлива в топке в динамических и статических режимах работы котла. В динамических режимах работы изменяются основные параметры ( $D_{пп}$ ,  $r_{пп}$ ) и приводят к изменению уровня воды в барабане котла  $H_b$ , который должен изменяться в узких пределах. Необходим регулятор уровня воды в барабане (РНб), который управляет подачей питательной воды на котел  $W_v$ . Вместе с питательной водой в испарительную систему поступают соли, незначительная часть которых уносится с паром. В испарительной системе будет происходить накопление солей, содержание которых сверх допустимого предела нежелательно, т. к. приводит к аварийным режимам работы котла. Необходимо установить регулятор солесодержания котловой воды (РСКВ), который управляет величиной непрерывной продувки котла  $D_{пр}$ . Потребителями подогретого пара в основном являются паровые турбины, реже — какие-либо

производства, для которых пар должен иметь постоянную (с небольшими отклонениями) температуру, что требует установки регулятора температуры перегретого пара (р, тпп), управляющего подачей воды на впрыск в пароохладители Двпр. Паровые котлы чаще всего работают на общую паровую магистраль, из которой пар распределяется по потребителям (котельные, ТЭЦ) или, что реже, по индивидуальным потребителям (например, блок «котел — турбина» на крупных тепловых электростанциях). При работе на общую паровую магистраль тепловая нагрузка котлов, работающих в регулирующем режиме, распределяется между ними главным корректирующим регулятором (ГКР), который управляет работой регуляторов тепловой нагрузки (РТН) котлов. Системы регулирования в самом простом варианте строятся по схеме: определяется регулируемая величина, которую нужно стабилизировать, регулирующий прибор управления (каким потоком необходимо управлять). После этого строится упрощенная структурная схема регулятора, в которой не будут показаны некоторые дополнительные устройства при его технической реализации (переключатель управления, ключ управления, указатель положения и магнитный пускатель). [10]

### **1.3 Минусы котлоагрегата БКЗ 500-140**

Существует несколько минусов у пылеугольного котла:

- 1) Наличие и содержание мазутного хозяйства, в том числе поддержание в горячем состоянии мазутопроводов;
- 2) Снижение качества энергетических углей требует увеличения расхода жидкого и газообразного топлива;
- 3) Большой расход растопочного топлива;
- 4) Высокая стоимость жидкого и газообразного топлива.

Также одним из главных минусов технических объектов в энергетической отрасли является загрязнение окружающей среды, по всему миру ведущие специалисты вместе с экологами решают эту проблему и сводят к минимуму все вредные выбросы в атмосферу. Эта проблема зачастую решается путем установок инновационных фильтров, золоулавливателей, переход на другие виды топлива и т.д.. В данный момент времени на ТЭЦ-2 все котлы снабжены электрофильтрами с эффективностью очистки выше 99%, модернизация в плане очистки выбросов не требуется, но вот для топки котла по-прежнему используется бурый уголь.

Важной деталью является использование мазута для розжига котла, это неэффективно и отрицательно влияет на окружающую среду. Эта проблема решается за счет снижения доли мазута и газа в топливном балансе пылеугольных котлов за счет использования в качестве растопочного топлива механоактивированную угольную пыль.

#### **1.4 Система безмазутного розжига котла**

Впервые понятие «механической активации» ввел советский ученый Йоханнес Александрович Хинт в середине прошлого столетия. Йоханнес Хинт в течение многих лет экспериментировал с ударными роторными мельницами, в ходе чего доказал, что за счет тонкого измельчения и механической активации компонентов силикатных строительных смесей в дезинтеграторе изделия после автоклавной обработки приобретают повышенную прочность, достижимую в традиционных шаровых и вибромельницах только при значительно больших затратах средств, энергии, металла и времени.

Использование мельниц-дезинтеграторов для «механоактивации» углей было предложено в институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского



отделения РАН. Автором, и идейным вдохновителем данной технологии является главный научный сотрудник института, д.т.н. Бурдуков А.П.

Под руководством Бурдукова А.П., на огневом стенде института теплофизики были разработаны и опробованы различные способы и устройства для получения «механоактивированной» угольной пыли. Также были разработаны и испытаны специализированные горелочные устройства, с помощью которых возможна растопка пылеугольных котлов без использования газа или мазута.

Первая промышленная апробация технологии безмазутного розжига с использованием "механоактивированной" угольной пыли, была проведена сотрудниками компании ООО «Тохил» в 2012-2013гг на котле ПК-40-1 Беловской ГРЭС. Работы проводились совместно с институтом теплофизики СО РАН при поддержке инжиниринговой компании ООО "РВС". По результатам проведенных работ была разработана система безмазутного розжига ТОХИЛ.

Система безмазутного розжига ТОХИЛ (Рисунок 1.4) предназначена для растопки пылеугольных котельных агрегатов из холодного, неостывшего и горячего состояний, а также для подсветки пылеугольного факела на пониженных нагрузках с использованием механоактивированной угольной пыли микропомола. Система является дополнительным компонентом котельной установки и подключается к существующей пылесистеме котла.

Система ТОХИЛ может использоваться как на энергетических, так и на водогрейных котлах. Система ТОХИЛ использует технологию механоактивации угля, которая позволяет снизить температуру воспламенения угольной пыли и организовать стабильный процесс горения пылеугольного факела на пусковых режимах. В результате механоактивации происходят изменения физико-химических свойств угольной пыли, что делает пылеугольный факел механоактивированной пыли аналогом мазутному факелу (по размерам, теплонапряженности и интенсивности

выгорания), что и позволяет производить замещение мазута при растопке и подсветке без изменения существующей схемы сжигания топлива.

Система ТОХИЛ включает в себя следующие основные компоненты:

- 1) мельницу-дезинтегратор;
- 2) запально-защитное устройство;
- 3) систему подвода и подачи угольной пыли;
- 4) систему источников электропитания;
- 5) систему контроля и управления розжигом котла.

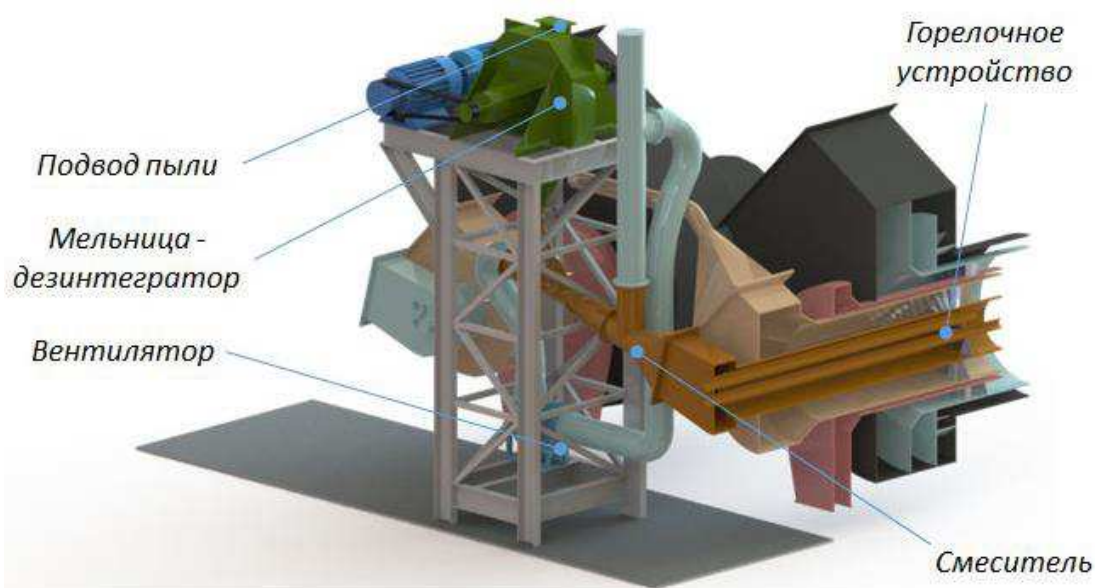


Рисунок 1.4 – Система безмазутного розжига ТОХИЛ

Основные преимущества данной технологии:

- 1) снижение расходов на жидкое, газообразное топливо;
- 2) снижение расходов на эксплуатационное обслуживание мазутного хозяйства;
- 3) минимальная реконструкция топочно-горелочного устройства: воспламенение и горение угольной пыли происходит непосредственно в топочном объеме котла;
- 4) полная автоматизация процесса розжига котла;

5) малый срок окупаемости 2 – 5 лет.

Механоактивация — процесс образования более химически активного вещества с помощью предварительной механической обработки. Механоактивация (Рисунок 1.5) происходит, когда скорость накопления дефектов превышает скорость их исчезновения. Отличия от измельчения: Измельчение проводят с целью получения максимальной поверхности при минимальных затратах энергии, а активацию – с целью накопления энергии в виде дефектов и других изменений в твердом веществе, которые позволяют снизить энергию активации его последующего химического превращения или улучшить стерические условия для протекания процесса.



Рисунок 1.5 – Механоактивация угля в дезинтеграторе

В результате экспериментов было установлено, что скорости горения после измельчения на различных типах мельниц существенно отличаются (Рисунок 1.6). Об этом говорит большое различие в энергии активации при воспламенении и горении угля после измельчения. Имея одинаковый средний размер, механоактивированные частицы угля обладают более высокой реакционной способностью и имеют пониженную температуру воспламенения, что позволяет организовать устойчивый факел в неблагоприятных растопочных условиях.



Рисунок 1.6 – Горение механоактивированной угольной пыли

Сущность механического активирования состоит в создании некомпенсированных связей, радикалов, подвижных активных центров и определенной ориентации деструкционных молекул угольного вещества. При механических воздействиях на уголь происходит распад отдельных химических связей с образованием свободных радикалов, ускоряющих последующее протекание химических реакций.

Система ТОХИЛ уже применяется на многих объектах. Интегрирована на котле ПК-40-1 (Беловская ГРЭС), БКЗ-420-140-5 (Омская ТЭЦ-5), Котел ПК-38-1 (Красноярская ГРЭС-2), но, к сожалению, на БКЗ 500-140 такая система отсутствует, хотя её внедрение может способствовать большей оптимизации работы котлоагрегата.

## **1.5 Вывод по главе 1**

В этой главе рассмотрены принципы работы парового котла и выделены входные и выходные технологические параметры. Также выявлены основные недостатки в системе розжига парового котла из-за отсутствия внедрения современных систем безмазутного розжига.

## 2 Автоматизация парового котла

### 2.1 Параметры контроля и регулирования автоматизации парового котла

Перечень параметров определяется технической необходимостью контролировать или регулировать определенные величины, так или иначе влияющие на технологический процесс, представлен в таблицах 2.1, 2.2

Таблица 2.1 – Параметры регулирования

№	Наименование	Назначение
1	Барабанный паровой котел	Осуществляется подача воздуха и топлива
2	Дымо-газоотвод	Отвод газов, регулирующийся заслонкой
3	Подача воздуха в топку	Забор воздуха компрессором, регулирующийся заслонкой
4	Подача питательной воды	Забор воды компрессором, регулирующийся заслонкой
5	Подача топлива в топку	Забор топлива, регулирующийся заслонкой
6	Подача пара на турбину	Регулировка давления на выходе

Таблица 2.2 – Параметры контроля

№	Название	Значение
1	расход перегретого пара	500 т/час
2	давление перегретого пара	12 МПа
3	требуемая температура пара	565 °С
4	расход воздуха	1804 кДж/кг
5	расход насыщенного пара	0,7738 м3/кг
6	расход топлива	14,0119 кг/с
7	давление в барабане котла	13,8 МПа

Данные контролируемые параметры оказывают наибольшее влияние на технологический процесс и обязательно должны контролироваться техническими средствами автоматизации.

## **2.2 Анализ выбранного пути автоматизации системы**

За последнее десятилетие существенно изменились состав и структура технических средств, применяемых в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП). Современные АСУТП создаются на основе локальных вычислительных сетей и нового поколения микропроцессорных контроллеров с широким спектром функциональных возможностей.

Основными чертами технического обеспечения современных АСУТП являются:

- 1) сохранение результатов измерения технологических параметров за любой период времени и вывод информации в удобном для оператора виде на экран мониторов операторских станций;
- 2) мнемосхемы технологических процессов любой степени детализации с указанием текущих значений технологических параметров и сигнализацией состояния оборудования, выводимые на экран мониторов операторских станций.

Таким образом, исчезает необходимость в разработке и применении громоздких щитов с мнемосхемами, устройствами сигнализации состояния оборудования и самописцами; локальные аналоговые регуляторы активно вытесняются управляющими контроллерами, которые могут быть установлены как по месту, так и дистанционно в специальных помещениях.

[16]

## 2.3 Функциональная схема автоматизации парового котла

Функциональная схема автоматизации (ФСА) является одним из основных проектных документов, определяющих функциональную структуру и объем автоматизации технологических установок и отдельных агрегатов промышленного объекта, представлена на рисунке 2.1.

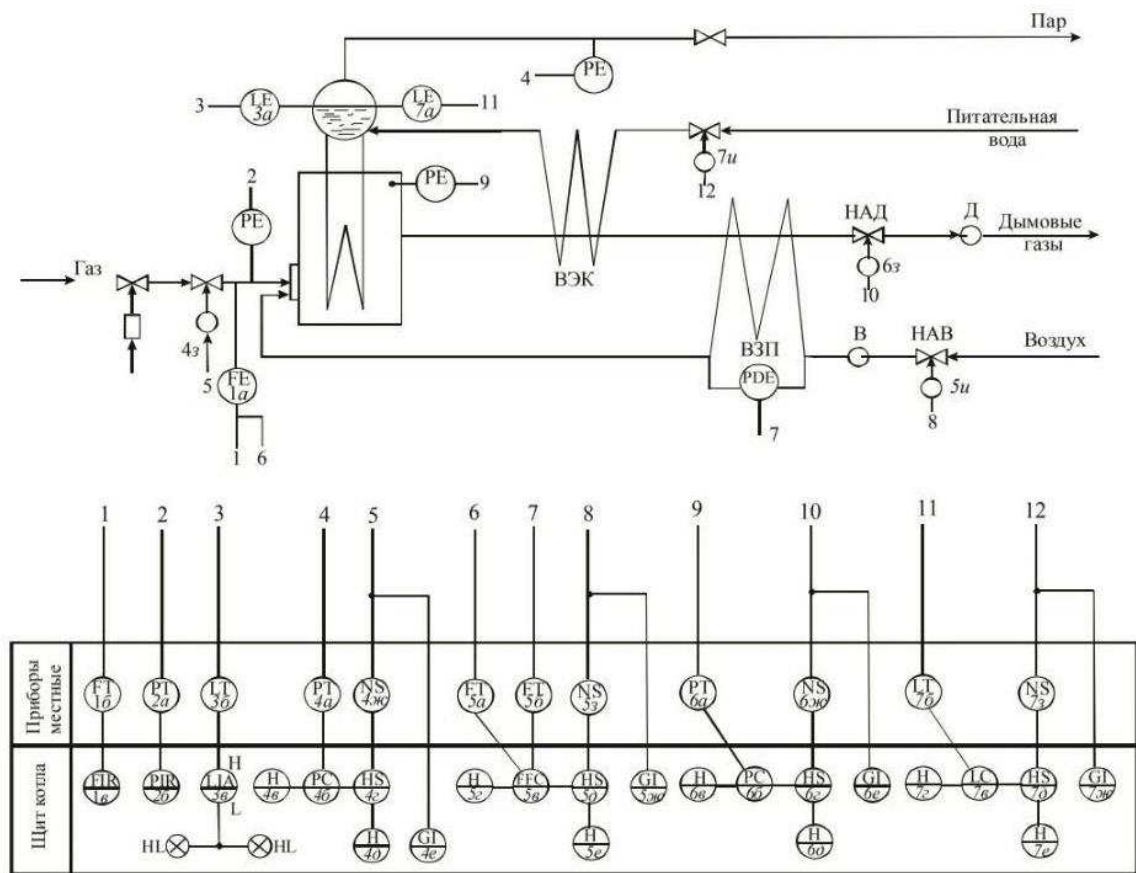


Рисунок 2.1 – Функциональная схема автоматизации парового котла БКЗ 500-140

ФСА представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование; коммуникации; органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим



оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики.

## **2.4 Технические средства автоматизации**

Для получения достоверной качественной и количественной информации о параметрах технологического процесса необходимо выбрать соответствующий метод и средства измерения. Выбор метода измерения и первичного преобразователя определяется конкретными условиями измерения (измеряемой средой, ее параметрами, особенностями технологического процесса и т. д.) и требованиями, предъявляемыми к точности измерения и функциям, выполняемым средствами измерения.

Основными критериями выбора средств автоматизации являются:

- 1) диапазон измеряемой величины;
- 2) класс точности;
- 3) условия эксплуатации.

В соответствии с диапазоном измерения и степени агрессивности среды выбирается тип датчика. В выборе преобразователей необходимо учитывать вид сигнала, поступающего с выхода датчика. Для каждого вида сигнала существует определенный вид преобразователя, рассчитанный на работу с этим сигналом.

Для измерения температуры перегретого пара выбран высокотемпературный датчик с горловиной и фланцем RGTF 2 ID от S+S Regeltechnik (Рисунок 2.2), это ввинчиваемый датчик RGTF 2 ID применяется в измерениях высоких температур газообразных сред – дымовые газы, отработанный воздух. Датчики температуры RGTF 2 ID оснащены пассивным выходом и рассчитаны на измерения относительно высокой температуры в диапазоне от -35 до +600 °С (опционально диапазон от -100 до

+750 °C). В зависимости от типа термосопротивления, датчики могут работать в связке с контроллерами практически всех популярных производителей.

Принцип измерения основан на изменении электрического сопротивления чувствительного элемента датчика при изменении температуры окружающей среды.

Корпус датчиков выполнен в виде монтажной головки Б-образной формы, изготовленной из алюминиевого сплава. Крышка корпуса оснащается быстрозаворачиваемыми винтами, что обеспечивает должную защиту от попадания пыли, влаги и других посторонних частиц внутрь корпуса - степень защиты IP54, класс защиты III (опционально IP65). От корпуса отходит трубка из высококачественной стали с горловиной, в которую помещён измерительный элемент.



Рисунок 2.2 – Высокотемпературный датчик с горловиной и фланцем RGTF 2 ID от S+S Regeltechnik

Для регулировки давления выбран интеллектуальный датчик для измерения абсолютного давления «ЭМИС-БАР» (рисунок 2.3). Датчики

абсолютного давления измеряют относительно вакуума (-101,325 кПа). Обеспечивается такое измерение наличием специальной камеры, из которой при изготовлении прибора откачивается воздух. Эта камера располагается с одной стороны сенсора, а с другой на него воздействует давление измеряемой среды. Электронный блок производит расчет и выводит полученное значение на дисплей или передает с помощью выходных сигналов. Приборы по спецификации предназначены для эксплуатации при температуре измеряемой среды от -80 до +250°C, с применением отводной трубки для снижения температуры до +700°C, так же широко применяются для измерения агрессивных сред. Выходное соединение

4-20мА + HART с наличием DD. Диапазон измеряемых давлений до 40 МПа, что позволяет его применять в нашей установке. Имеет повышенную степень защиты датчиков от воздействия пыли и влаги IP65, IP68.



Рисунок 2.3 – Датчик для измерения абсолютного давления «ЭМИС-БАР»

Так же в работе используется интеллектуальный вихревой расходомер-счетчик ЭМИС-ВИХРЬ 200 (Рисунок 2.4) со стабильной работой при высоких температурах и давлениях. Высокая стабильность работы обеспечивается за счет:

- 1) сохранения точности измерений при изменении параметров процесса;
- 2) устойчивости сенсора к гидроударам;
- 3) отсутствия движущихся частей;
- 4) стабильной работы при высоких температурах;
- 5) обеспечения низких потерь давления по сравнению с сужающими устройствами;
- 6) адаптивной настройки обработки сигнала на базе рядов Фурье, что снижает влияние вибрации на точность измерений;
- 7) контроля достоверности метрологических характеристик.

Счетчик не требует периодической перекалибровки, а диагностика и замена узлов производится без демонтажа. Доставляют счетчики только после прохождения обязательного пролива на поверочном стенде. Удаленная передача данных, настройка, поверка приборов (через RS-485 на базе протокола Modbus RTU) позволяют снижать расходы на обслуживание. Счетчик имеет широкий динамический диапазон измерений; важным преимуществом является наличие конструктивного исполнения с коническими переходами.

Высокая точность измерений позволяет использовать вихревой счетчик газа и пара для учета насыщенного и перегретого пара и воздуха



Рисунок 2.4 – Расходомер воды и пара

Давление измеряемой среды до 25 МПа, температура измеряемой среды -60°C до +500°C (и выше). Выходными сигналами могут быть:

- 1) аналоговый токовый 4-20 мА + HART (опция)
- 2) импульсный
- 3) дискретный - режимы "реле расхода" и "дозатор"
- 4) частотный до 1000 Гц
- 5) цифровой Modbus RTU с интерфейсом RS-485 и USB

Для измерения и контроля уровня воды в барабане используется дифманометр сильфонный показывающий сигнализирующий ДСП-4Сг-М1 (Рисунок 2.5). Дифманометр ДСП-4Сг-М1 предназначен для измерения разности давлений в жидких и газообразных средах. Кроме того дифманометр ДСП-4Сг-М1 умеет сигнализировать о значениях разности давлений. Состоит дифманометр ДСП-4Сг-М1 из сильфонного дифманометрического блока, оборудованного торсионным выводом на

указатель стрелочного типа. Дифманометр ДСП-4Сг-М1 имеет корпус диаметром 160 мм.



Рисунок 2.5 – Дифманометр ДСП-4Сг-М1

Также используются базовые клапаны BV300 (Рисунок 2.6) для контроля на различных этапах. Базовые клапаны используются как запорные клапаны. Они могут управляться обычным способом или извне с помощью встроенного клапана управления. В качестве клапана управления могут использоваться электромагнитный соленоид с ручным управлением или поплавковый клапан. Компактная конструкция делает эти устройства идеально подходящими для применения в местах, где свободное пространство ограничено, например, в трубопроводах. Они могут использоваться для любых коммерческих или промышленных применений в рамках своих технических характеристик. Из преимуществ: высокая пропускная способность, малый вес и компактная конструкция, внутреннее и наружное защитное порошковое покрытие - применяемый порошок не токсичен и физиологически безопасен, заменяемое седло клапана.



Рисунок 2.6 – Запорный клапан BV 300

Задвижки в системе регулируются электроприводами AUMA SA (Рисунок 2.7). Электроприводы для автоматизации промышленной арматуры AUMA SA. Степень защиты IP 68. Защита от коррозии до C5 в соответствии с EN ISO 12944-2.

Приводы AUMA могут быть интегрированы в любой обычной DCS. Они доступны в конфигурации с блоками управления AMExC или ACExC. Приводы со встроенными средствами управления готовы к работе сразу после подключения к источнику питания и могут управляться с помощью местного управления.

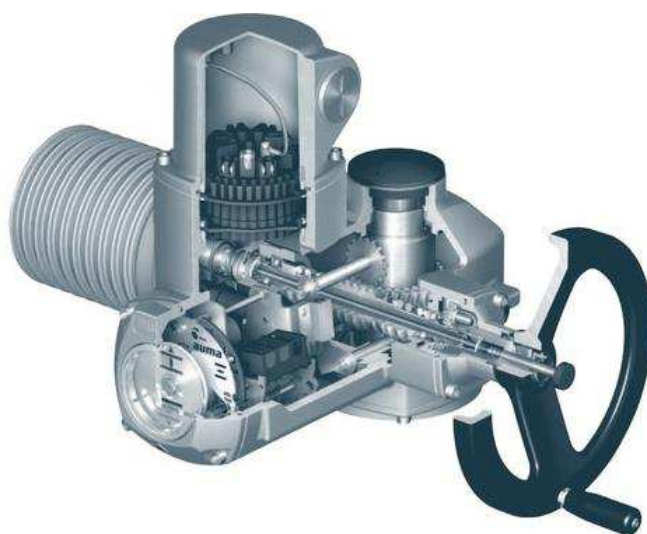


Рисунок 2.7 – электропривод AUMA SA



К достоинства данных электроприводов относятся:

- 1) Ввод в эксплуатацию и диагностика возможны через программное обеспечение CDT. Связь между цифровыми интерфейсами, ноутбуком и приводом осуществляется на основе соединения Bluetooth.
- 2) Установка очень проста. Вставные муфты позволяет легко адаптировать между приводом и клапаном; Электрическое подключение осуществляется через разъем терминала.
- 3) Управление с DCS можно осуществлять либо с помощью команд управления ОТКРЫТЬ-СТОП-ЗАКРЫТЬ, либо определяя заданную позицию. Команды и сигналы обратной связи передаются либо через обычные параллельные интерфейсы, либо через сетевые интерфейсы.
- 4) Электроприводы AUMA поддерживают протоколы полевых шин.

Режим управления: открыть / закрыть.

Питание ~ (В): 220 - 500 В, 50 - 60 Гц.

Класс защиты: IP 68.

Для подачи питательной воды используется насос Andritz ASP (Рисунок 2.8). Насос со спиральным корпусом. Высочайшая эффективность и прочная конструкция. Имея КПД свыше 90 %, насосы со спиральным корпусом обеспечивают значительную экономию ценной энергии. Насосы Andritz ASP отличаются низкой пульсацией и высоким КПД. Замена уплотнений проводится без демонтажа корпуса. Возможны различные исполнения уплотнений (сальниковое, одинарное и двойное торцевое уплотнение).

Варианты напряжения питания электродвигателей: 380 В; 3 000 В; 6 000 В; 10 000 В; 13 800 В



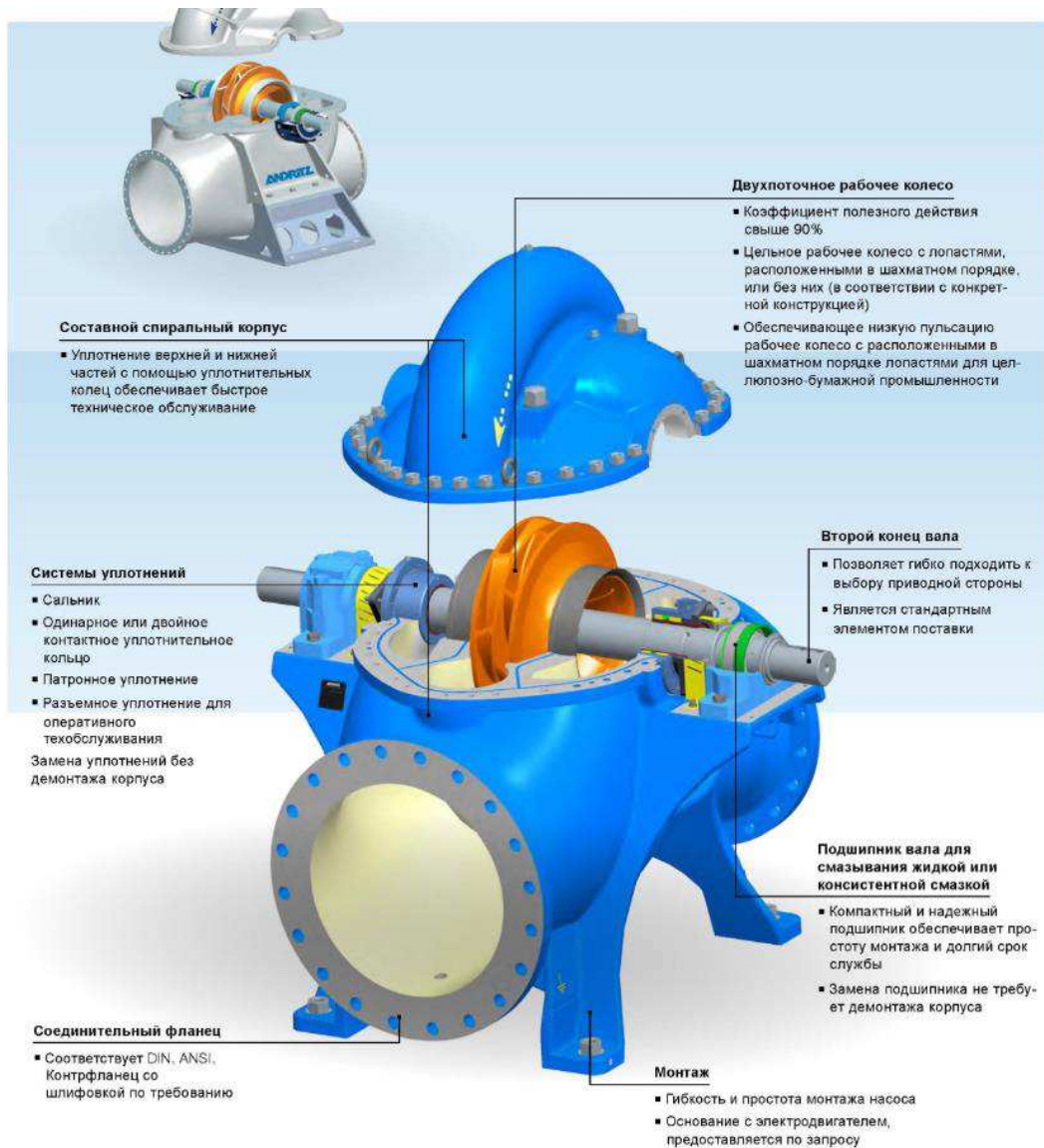


Рисунок 2.8 - Насос Andritz

## 2.5 Вывод по главе 2

Во второй главе была составлена функциональная схема автоматизации и были описаны применяемые средства автоматизации и их технические характеристики. На основании полученной информации можно начинать формировать проект системы автоматического регулирования работы парового котла.

### 3 Формирование проекта системы автоматического регулирования

#### 3.1 Составление функционально-структурной схемы выбранной системы

Определим элементы функционально-структурной схемы системы регулирования давления пара.

Устройством управления, на который поступает входной сигнал является привод. С привода сигнал подается на электро – механическую задвижку, которая в нашем случае будет состоять из исполнительного двигателя, регулятора. Далее сигнал подается на топку котла, на выходе которого стоит датчик измерения давления. Такая система включает в себя обратную отрицательную связь.

Составим функционально -структурную схему системы регулирования, которая показана на рисунке 3.1.

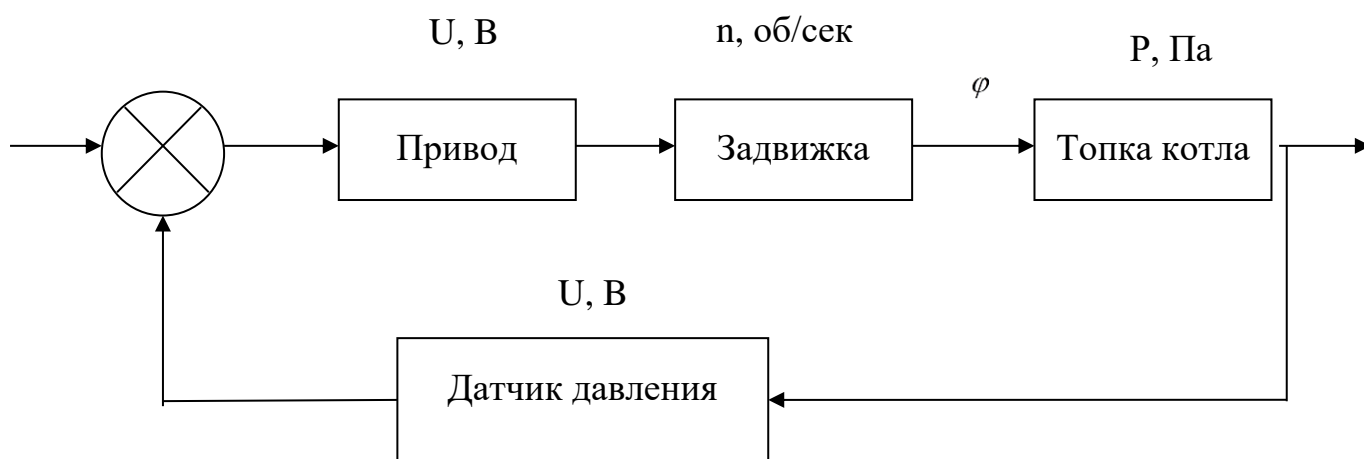


Рисунок 3.1 - Функционально – структурная схема системы регулирования давления пара

### 3.2 Определение передаточных функций элементов функционально – структурной схеме

Структурная схема состоит из типовых звеньев, математическое описание которых задано в операторной форме. Связь между входом и выходом системы задается в виде передаточной функции  $W(p)$ . В общем виде передаточную функцию можно представить в виде:

$$W(p) = \frac{B(p)}{A(p)}$$

Под полюсами подразумеваются корни полинома – знаменателя  $A(p)$ , а под нулями – корни полинома числителя  $B(p)$ .

Определим тип полученных звеньев функционально – структурной схемы.

Привод – интегрирующее звено (звено, в котором в установившемся режиме линейная зависимость связывает входную величину и производную выходную).

Данное звено имеет передаточную функцию вида:

$$W(p) = \frac{k}{p(Tp + 1)}$$

где  $k$  – коэффициент усиления звена;

$T$  – задержка по времени.

Для привода определили:

$k=5$ ,  $T=4,5$ , тогда

$$W_1(p) := \frac{5}{p \cdot (4.5p + 1)}$$

Задвижка – инерционное звено 1-го порядка (звено, у которого при приложении какого-либо воздействия реакция возникает не сразу, а возрастает постепенно)

Данное звено имеет передаточную функцию вида:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$$

где  $k$  – коэффициент усиления звена;

$T$  – задержка по времени.

Для задвижки определили:

$k=1,2$ ,  $T=0,2$ , тогда

$$W2(p) := \frac{1.1}{0.12p + 1}$$

Топка котла - инерционное звено 1-го порядка.

Для топки котла определили:

$k=0,1$ ,  $T=0,07$ , тогда

$$W3(p) := \frac{0.1}{0.07p + 1}$$

Датчик давления (сильфон) – инерционное звено 1-го порядка.

Для датчика давления определили:

$k=0,83$ ,  $T=0,12$  тогда

$$W4(p) := \frac{0.83}{0.12p + 1}$$

### **3.3 Составление и преобразование структурной схемы и расчет передаточной функции для замкнутой и разомкнутой систем**

Структурная схема системы регулирования давления пара перед турбиной изображена на рисунке 3.2

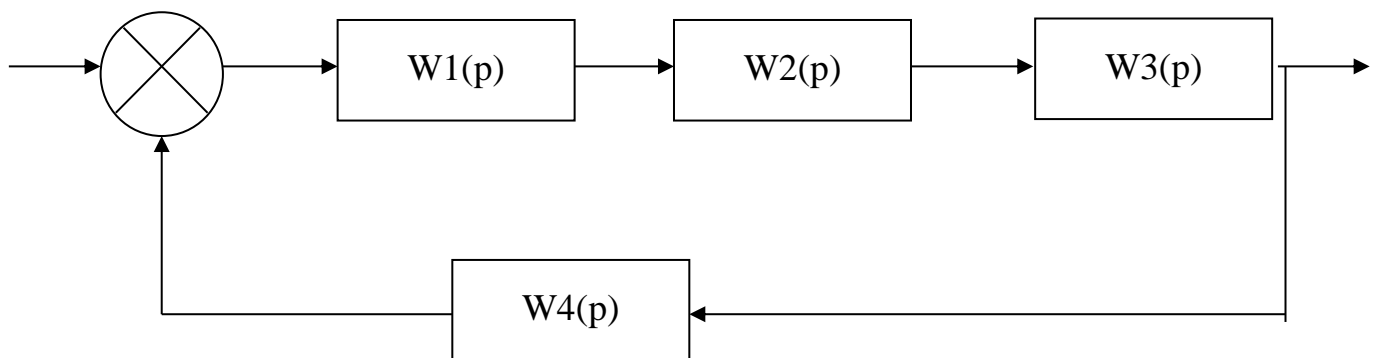


Рисунок 3.2 – Структурная схема системы регулирования давления пара

Рассчитаем замкнутую систему.

Звенья соединенные последовательно могут быть заменены одним звеном с передаточной функцией  $W5(p)$  равной произведению последовательно соединенных звеньев  $W1(p)$ ,  $W2(p)$ ,  $W3(p)$ .

$$W5(p) := W1(p) \cdot W2(p) \cdot W3(p) \rightarrow \frac{.55}{p \cdot (4.5p + 1) \cdot (.12p + 1) \cdot (7 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1)}$$

Преобразованная структурная схема регулирования давления пара будет иметь вид (Рисунок 3.3)

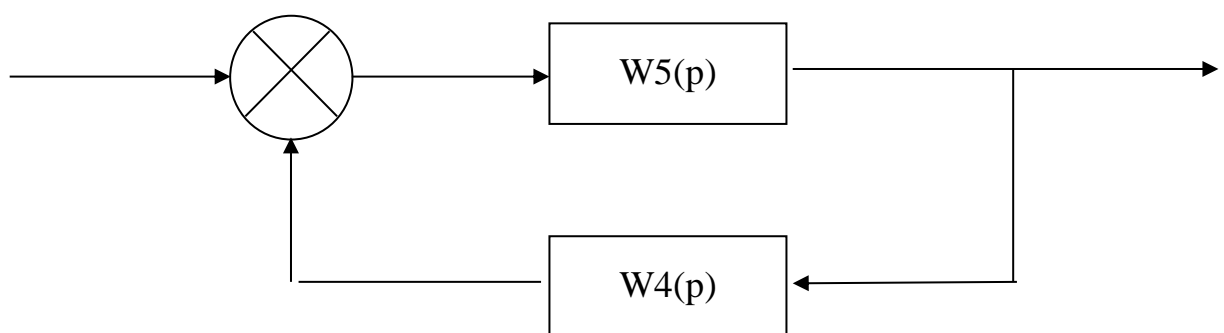


Рисунок 3.3 – Преобразованная структурная схема регулирования давления пара

Оставшиеся два звена  $W5(p)$  и  $W4(p)$  соединены встречно – параллельно. Значит общая передаточная функция замкнутой системы будет иметь вид:

$$W_{ob}(p) \text{ simplify} \rightarrow 5500 \cdot \frac{3 \cdot p + 25}{1134 \cdot p^5 + 35352 \cdot p^4 + 356550 \cdot p^3 + 1202500 \cdot p^2 + 250000 \cdot p + 114125}$$

Рассчитаем разомкнутую систему.

Звенья разомкнутой системы соединенные последовательно и поэтому могут быть заменены одним звеном с передаточной функцией  $Wp(p)$  равной произведению последовательно соединенных звеньев  $W1(p)$ ,  $W2(p)$ ,  $W3(p)$ ,  $W4(p)$ .

$$W_x(p) := W1(p) \cdot W2(p) \cdot W3(p) \cdot W4(p) \rightarrow \frac{.4565}{p \cdot (4.5p + 1) \cdot (.12p + 1)^2 \cdot (7 \cdot 10^{-2} \cdot p + 1)}$$

$$W_x(p) \text{ simplify} \rightarrow \frac{57062.5000000000000000}{p \cdot (9 \cdot p + 2) \cdot (3 \cdot p + 25)^2 \cdot (7 \cdot p + 100)}$$

### 3.4 Создание базы данных проекта в SiminTech

Для реализации проекта была выбрана среда SimInTech – среда создания математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для программируемых контроллеров и графических дисплеев. Является аналогом систем Matlab SimuLink, Dymola (Dassault), AMESim (Siemens), SCADE (Esterel) и других.

Главное преимущество SiminTech в том, что это Российская разработка, т.е. можно быстро получить обратную связь. Сам интерфейс очень прост и лаконичен, исходные коды ПО доступны для сертификации по требованиям. Технически это самое быстрое математическое ядро, автоматическое оформление проектов по требованиям организации,

оптимальная генерация кода, высокая гибкость. Индивидуальный подход – команда разработчиков находится в Москве, что сокращает сроки реакции на запросы в части технической поддержки, также возможна адаптация ПО под задачи конкретного Заказчика.

Для работы проекта системы необходима связь между схемами общего вида, для этого была создана база данных (Рисунок 3.4).

№	Имя	Название	Тип данных	Формула	Значение	Способ расчёта
1	ZV	Заслонка на воздухе	Веществен...		0	Переменная
2	ZG	Заслонка на газах	Веществен...		1	Переменная
3	Tsteam	Температура пара	Веществен...		1	Переменная
4	ZP	Заслонка на потребителе	Веществен...		1	Переменная
5	NV	Насос на воздухе	Веществен...		1	Переменная
6	NP	Насос на потребителе	Веществен...		1	Переменная
7	NO	Насос на охлаждении	Веществен...		1	Переменная
8	ZW	Заслонка на воде	Веществен...		1	Переменная
9	K	Котел	Веществен...		1	Переменная
10	G	Наличие газа	Веществен...		0	Переменная
11	NW	Насос на воде	Веществен...		1	Переменная
12	NT	Насос на топливе	Веществен...		1	Переменная
13	ZT	Заслонка на топливе	Веществен...		0	Переменная

Рисунок 3.4 – База данных

База данных включает в себя одну категорию, состоящую из двух групп сигналов: параметры системы и управляющие сигналы. Параметры системы состоят из следующих значений: состояния каждой из заслонок и насосов, параметры давления на разных участках системы, температура котла. Управляющие сигналы состоят из сигналов управления компрессорами, заслонками и прожигом котла.

### 3.5 Моделирование схем общего вида в среде SiminTech

При создании проекта управления паровым котлом были добавлены следующие модули: модуль барабанного котла, модуль отвода дымовых газов, модуль подачи воздуха, модуль подачи воды, модуль подачи топлива, модуль подачи на потребление.

Для модуля барабанного котла (Рисунок 3.5) была создана передаточная функция регулирования температуры котла. Константе присвоено значение 1-рабочее состояние и 0- нерабочее.

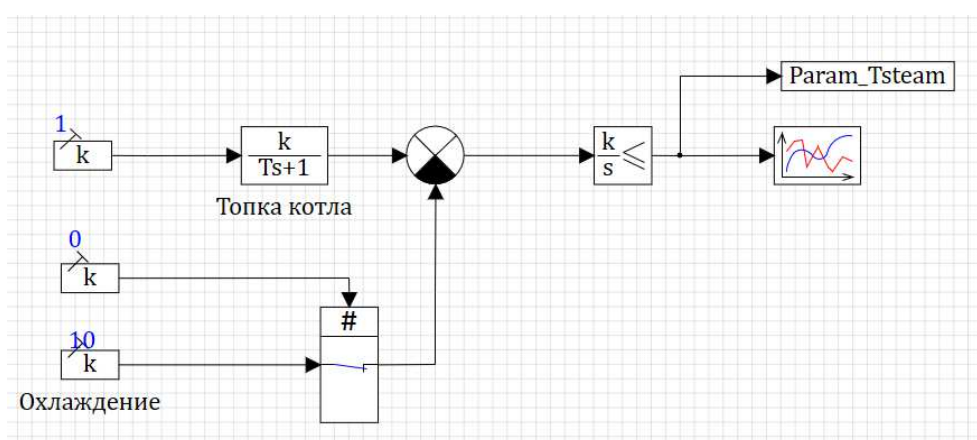


Рисунок 3.5 – Модуль управления температуры

Для модуля подачи воздуха взята передаточная функция компрессора (Рисунок 3.6). Константе присвоено значение 1-рабочее состояние и 0- нерабочее.



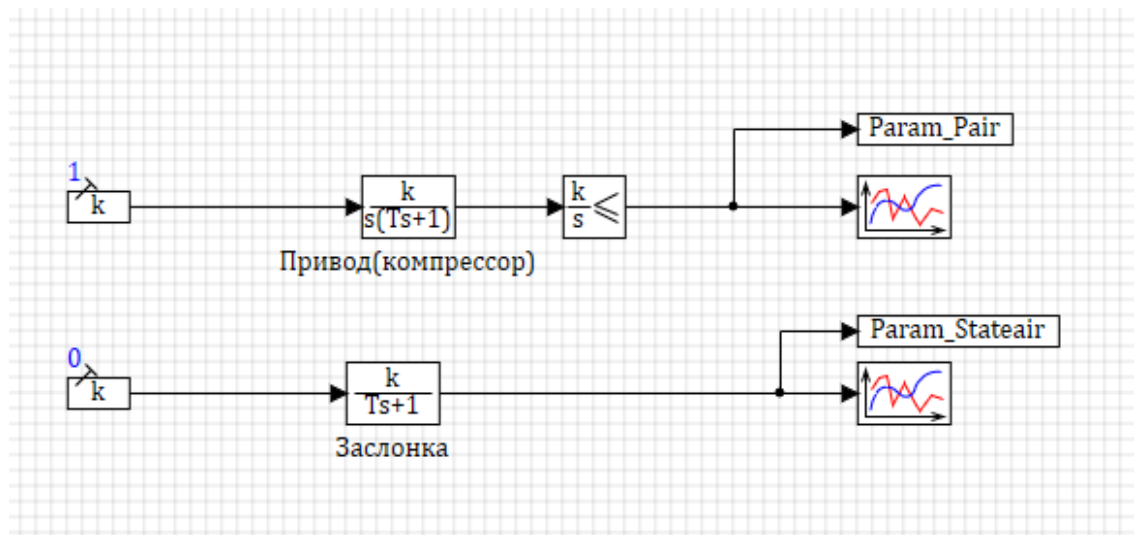


Рисунок 3.6 – Модуль управления подачи воздуха

Остальные модули описаны подобными функциями. После формирования всех модулей для объединения их в общий проект был создан пакет модулей (Рисунок 3.7).

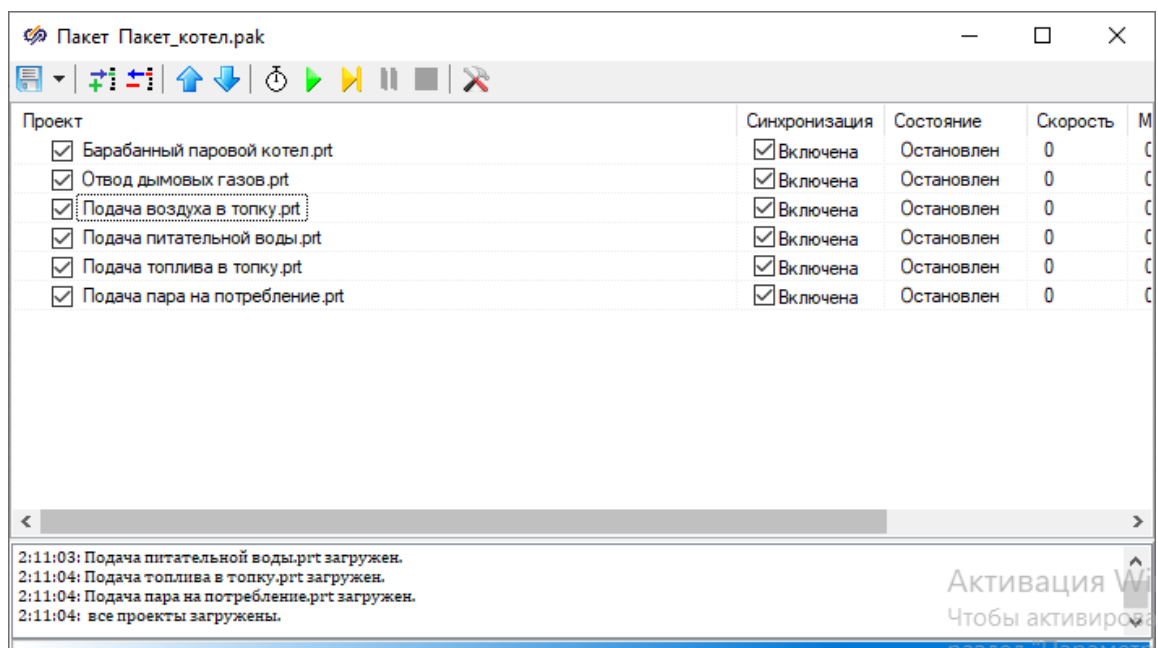


Рисунок 3.7 – Пакет модулей проекта

В пакете модулей можно рассмотреть каждый модуль отдельно, редактировать параметры и включать их выборочно.

### 3.6 Создание пульта управления оператора

Для управления системой был создан пульт управления, который позволяет наблюдать за параметрами системы на функциональной схеме и трендах реального времени, и при необходимости включить или выключить систему. Система является полностью автоматической и не требует изменения каких-либо параметров вручную (Рисунок 3.8). При включении кнопки система начинает свою работу до того, пока не будет выключена вручную.

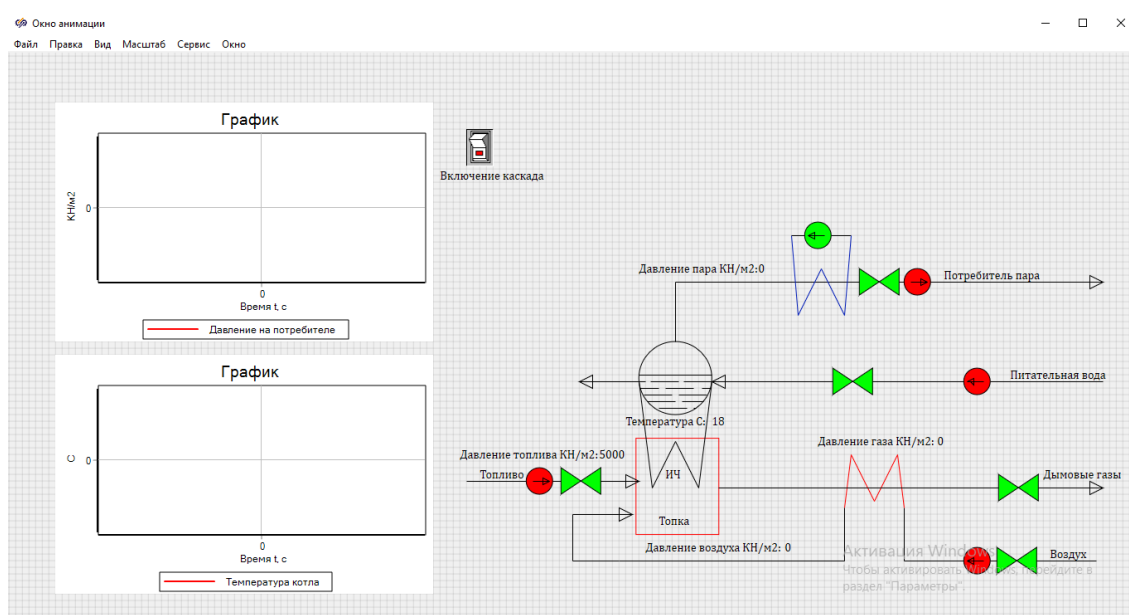


Рисунок 3.8 – Операторский пульт управления

Связь пульта управления и проекта осуществляется через скрипт пульта, в котором отслеживаются все манипуляции пользователя и передаются в базу данных, а из нее на модули (Рисунок 3.9).

```
Скрипт анимации: Окно анимации
Файл Правка Поиск Расчёт Справка
[Icons]
10 Control_NP=0;
   Control_NW=0;
   Control_NT=0;
   Param_Ppot=0;
   Param_Tsteam=18;
   end
   Plot.Yvalue=Param_Tsteam;
   Plot.Xvalue=Time;
   Plot1.Yvalue=Param_Ppot;
   Plot1.Xvalue=Time;
20 TextLabel9.Text=roundstep(Param_Tsteam,1);
   TextLabel11.Text=roundstep(Param_Pgas,1);
   TextLabel13.Text=roundstep(Param_Ppot,1);
   TextLabel15.Text=roundstep(Param_Pair,1);
   TextLabel17.Text=roundstep(Param_Poil,1);
   if(Control_K=1)then
   begin
   Rectangle.Color=65280;
   end
   else
30 begin
   Rectangle.Color=255;
   end
   if(Control_NO=1)then
   begin
   FillEllipse2.Color=65280;
   end
   end
```

Рисунок 3.9 – Скрипт пульта управления

Скрипт можно редактировать, переприсвоить значения цветов, задать новые зависимости переменным.

### 3.7 Тестирование работы проекта

Для тестирования работы проекта, был запущен проект. С помощью нажатия на кнопку «Включение каскада» происходит запуск системы. Компрессоры производят накачку топлива, и воздуха для начала розжига. Происходит ожидание нагрева топки, после чего начинается накачка воды, для получения пара. Отвод дымовых газов и пара происходит при наборе достаточно высокого давления.

В установившемся режиме давление пара будет поддерживаться на уровне  $12000 \text{ КН/м}^2$  на том же уровне и поддерживается давление

уходящих газов из топки, а температура перегретого пара будет поддерживаться на уровне 560 °С, что обеспечивает автономную работу котла (Рисунок 3.10).

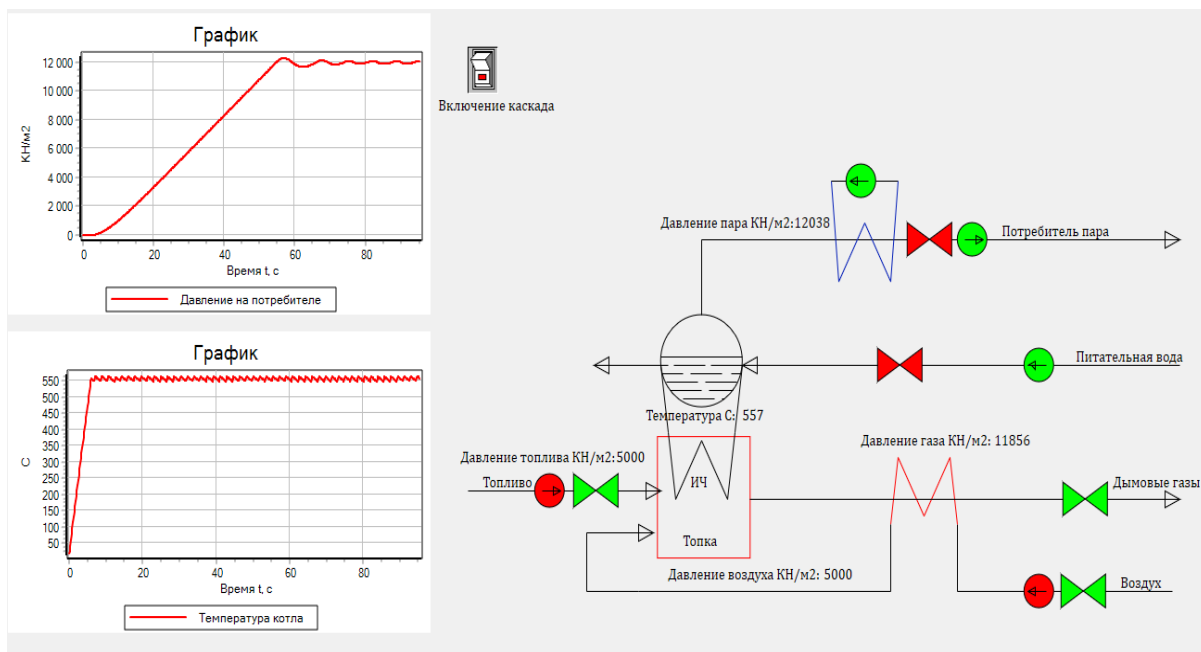


Рисунок 3.10 – Работа программы

Автоматическая работа системы осуществляется благодаря заранее занесенным параметрам системы, АСУ сравнивает их с параметрами реального времени и выполняет соответствующие алгоритмы.

### 3.8 Вывод по главе 3

В данной главе создана система автоматического расчета с построением структурной схемы регулирования давления пара и разработана программа, имитирующая работу парового котла в среде SiminTech.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании АСУ ТП необходимо закладывать перспективные инженерно-технические решения, отвечающие современным тенденциям в развитии систем автоматизации, позволяющие проводить модернизацию и расширение системы.

Аппаратные и программные средства должны обеспечивать открытость системы к средствам других производителей, выпускающих свою продукцию в соответствии с рекомендациями международных организаций, координирующих работы в области автоматизации технологических процессов.

В работе были изучены принципы работы парового котла, сформированы средства автоматизации, описаны средства автоматизации на основании функциональной схемы автоматизации, а также в бакалаврской работе была приведена система автоматического регулирования давления и температуры пара барабанного парового котла необходимая в широком спектре производства. В установившемся режиме температура перегретого пара не падает ниже 549 °С и не превышает порогового значения 565°С, давление перегретого пара сохраняется на уровне от 11,8 МПа и не превышает 12,2 МПа, что обеспечивает стабильную безаварийную работу системы.

Была дана краткая характеристика оборудования и описание технологического процесса. Разработан удобный и НМІ (человеко-машинный интерфейс) в среде SiminTech . Составлена программа для данного объекта автоматизации и его визуализация. Алгоритм достаточно надежен, что гарантирует безотказную и эффективную работу автоматизированного процесса. Автоматизация обеспечивает надлежащее качество регулирования системы в критической ситуации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Беляев, Г.В, Технические средства автоматизации в теплоэнергетике: учеб. пособие / Г.В. Беляев, В.И. Кузишин, Н.И. Смирнов. – Москва: Энергоатомиздат, 1982. – 320 с.
- 2 Беркович, М.А. Автоматика энергосистем: учеб. для техникумов / М.А. Беркович. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энерго-атомиздат, 1991. 240 с.
- 3 Берсенев, И.С. Автоматика отопительных котлов и агрегатов / И.С. Берсенев. – Москва: Стройиздат, 1979. – 376 с.
- 4 Галашов, Н.Н. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС: учебное пособие / Н.Н. Галашов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 200 с.
- 5 Голдобин, Ю.М. Автоматизация теплоэнергетических установок: учеб. пособие / Ю.М. Голдобин, Е.Ю. Павлюк. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – 186 с.
- 6 Двойнишников, В.А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок: учебник для техникумов по специальности «Котлостроение» / В. А. Двойнишников. – Москва: Машиностроение, 1988. — 264 с.
- 7 Журавлев, А.А. Система автоматического регулирования температуры перегретого пара барабанного котла / А.А. Журавлев, М.Л. Шит, О.Б. Попонова, Б.М. Шит, А.Л. Зубатый. – Москва: Энергоатомиздат, 2007. – 29 с.
- 8 Кетков, Ю.Л. MATLAB 6. X : программирование численных методов / Ю.Л. Кетков. – Санкт-Петербург, БХВм – Петербург, 2004. – 672 с.
- 9 Кирьянов, Д.В. Самоучитель MathCad 11 / Д.В. Кирьянов. – Санкт-Петербург: БХВм – Петербург, 2003. – 560 с.
- 10 Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных котлов / А. С. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 1985.— 280с.

- 11 Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов / А.Т. Товарнов, А.С. Ключев. – Москва: Энергия, 1970. – 280 с.
- 12 Красноярская ТЭЦ 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://sibgenco.ru/about/company/generation/krasnoyarskaya-tets-2/>
- 13 Мануйлов, П.Н. Теплотехнические измерения и автоматизация тепловых процессов / П.Н. Мануйлов. – Москва: Энергия, 1966. – 279 с.
- 14 Мухин, В.С. Приборы контроля и средства автоматики тепловых процессов: учеб. пособие для СПТУ / В.С. Мухин, И.А. Саков. – Москва: Высш. шк., 1988. – 256 с.
- 15 Пикина, Г.А. Сравнительный анализ линейных моделей противоточного конвективного пароперегревателя котла в системе регулирования температуры / Г.А. Пикина // Теплоэнергетика. - 2002. - №10. – С.22-25.
- 16 Плетнев, Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: учеб. пособие / Г.П. Плетнев. – Москва: Энергоиздат, 1981. – 362 с.
- 17 Полещук, И.З. Введение в теплоэнергетику: учеб. пособие / И.З. Полещук, Н.М. Цирельман. – Уфа: УГАТУ, 2003. – 47 с.
- 18 Ротач, В.Я. Автоматизация настройки систем управления / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин, А.С. Ключев. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 272 с.
- 19 Сидельковский, Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов / Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 528с.
- 20 СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.
- 21 Стырикович, М.А. Котельные агрегаты / М.А. Стырикович, К.Я. Катковская, Е.П. Серов. – Москва: Государственное энергетическое издательство, 1959. – 488 с.

- 22 Технические характеристики котла БКЗ: устройство, принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kotle.ru/parovye-kotly/kotel-bkz>
- 23 Фаликов, В.С. Автоматизация тепловых пунктов: справочное пособие / В.С. Фаликов, В.П. Витальев. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
- 24 Холщев, В.В. Регулирование температуры перегретого пара на барабанном котле / В.В. Холщев // Теплоэнергетика. 2003. - №8. – С.39-43.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

```
initialization
Control_ZV=1;
Control_ZG=1;
Control_ZT=1;
Control_ZP=1;
Control_ZW=1;
Control_K=0;
Control_G=0;
Control_NV=0;
Control_NP=0;
Control_NW=0;
Control_NT=0;
Param_Ppot=0;
Param_Tsteam=18;
end
Plot.Yvalue=Param_Tsteam;
Plot.Xvalue=Time;
Plot1.Yvalue=Param_Ppot;
Plot1.Xvalue=Time;
TextLabel9.Text=roundstep(Param_Tsteam,1);
TextLabel11.Text=roundstep(Param_Pgas,1);
TextLabel13.Text=roundstep(Param_Ppot,1);
TextLabel15.Text=roundstep(Param_Pair,1);
TextLabel17.Text=roundstep(Param_Poil,1);
if(Control_K=1)then
begin
Rectangle.Color=65280;
end
else
begin
Rectangle.Color=255;
```

```
end
if(Control_NO=1)then
begin
FillEllipse2.Color=65280;
end
else
begin
FillEllipse2.Color=255;
end
if(Control_NP=1)then
begin
FillEllipse4.Color=65280;
end
else
begin
FillEllipse4.Color=255;
end
if(Control_NW=1)then
begin
FillEllipse3.Color=65280;
end
else
begin
FillEllipse3.Color=255;
end
if(Control_NV=1)then
begin
FillEllipse.Color=65280;
end
else
begin
FillEllipse.Color=255;
end
if(Control_NT=1)then
```

```
begin
FillEllipse5.Color=65280;
end
else
begin
FillEllipse5.Color=255;
end
if(Control_ZP=1)then
begin
Polygon4.Color=65280;
end
else
begin
Polygon4.Color=255;
end
if(Control_ZW=1)then
begin
Polygon2.Color=65280;
end
else
begin
Polygon2.Color=255;
end
if(Control_ZG=1)then
begin
Polygon.Color=65280;
end
else
begin
Polygon.Color=255;
end
if(Control_ZT=1)then
begin
```

```
Polygon3.Color=65280;
end
else
begin
Polygon3.Color=255;
end
if(Control_ZV=1)then
begin
Polygon1.Color=65280;
end
else
begin
Polygon1.Color=255;
end
if(button.down=true)then
begin
if(Param_Stateair>1)then
begin
Control_NV=0;
end
else
begin
Control_NV=1;
end
if(Param_Statepot>1)then
begin
Control_NP=0;
end
else
begin
Control_NP=1;
end
if(Param_Statewater>1)then
begin
```

```
Control_NW=0;
end
else
begin
Control_NW=1;
end
if(Param_Stateoil>1)then
begin
Control_NT=0;
end
else
begin
Control_NT=1;
end
if(Param_Tsteam>200)then
begin
Control_G=1;
end
else
begin
Control_G=0;
end
if(Param_Tsteam<550)then
begin
Control_K=1;
Control_ZT=0;
Control_ZV=0;
end
else
begin
Control_K=0;
Control_ZT=1;
Control_ZV=1;
end
end
```

```
if(Param_Pgas>12000)then
begin
Control_ZG=0;
end
else
begin
Control_ZG=1;
end
if(Param_Tsteam<100)then
begin
Control_ZW=1;
end
else
begin
Control_ZW=0;
end
if(Param_Ppot>12000)then
begin
Control_ZP=0;
end
else
begin
Control_ZP=1;
end
end
else
begin
Control_ZV=1;
Control_ZG=1;
Control_ZT=1;
Control_ZP=1;
Control_ZW=1;
Control_K=0;
Control_G=0;
```

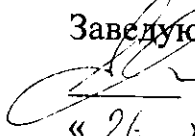
```
Control_NV=0;  
Control_NP=0;  
Control_NW=0;  
Control_NT=0;  
Param_Ppot=0;  
Param_Tsteam=18;  
end
```

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем автоматики, автоматизированного управления и  
проектирования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

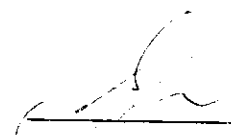
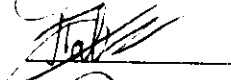
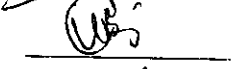
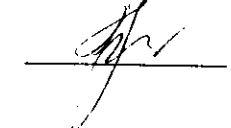
 С.В. Ченцов

« 26 » 06 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПАРОВОГО КОТЛА**

Руководитель		<u>26</u> .06.2020 г.	зав.каф., д-р техн. наук С.В. Ченцов
Выпускник		<u>26</u> .06.2020 г.	К.Е. Павлов
Консультант		<u>26</u> .06.2020 г.	И.В. Солопко
Нормоконтролер		<u>26</u> .06.2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020