

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Автоматизация и управление»

Самат Турсун Сайранулы

Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

Специальность 5В070200 – «Автоматизация и управление»

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.
И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизации и управления



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
к.ф.м.н., ассоц. профессор
Алдияров Н. У.
"18" мая 2022 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: "Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов"

по специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Самат Т.С.

Рецензент

Научный руководитель

Магистр по спец. РЭТ
Сижимбаев А.С.
"16" мая 2022г.

PhD, ассистент-профессор

Омирбекова Ж.Ж.
"16" мая 2022г.



Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Автоматизация и управление»

5В070200 – Автоматизация и управление



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ
к.ф.м.н., ассоц. профессор

Алдияров Н.У.

“18” мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Самат Турсун Сайранулы

Тема: «Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов».

Утверждена приказом Ректора Университета № 489-П/Ө от “24” декабря 2021 г.

Срок сдачи окончательной работы

“5” мая 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту:

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов: а) описать работу энергетического котла; б) описать работу барабанного котла в) получить математическую модель объекта управления методом идентификации данных;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): принцип работы энергетических котлов; функциональные схемы энергетических котлов; диагностика барабанного котла

Рекомендуемая основная литература: 1) Бесекерский В.А., Ихранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ, 1987. 2) Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. С-П.: Профессия., 2004.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	01.03.2022 г.	<i>выполнено</i>
Специальный раздел	28.04.2022 г.	<i>выполнено</i>

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Доктор PhD, профессор Омирбекова Ж.Ж.	11.05.2022	<i>Ж.Ж. Омирбекова</i>
Специальный раздел	Доктор PhD, профессор Омирбекова Ж.Ж.	11.05.2022	<i>Ж.Ж. Омирбекова</i>
Нормоконтролер	Ассистент-профессор Сарсенбаев Н. С.	17.05.22	<i>Н.С. Сарсенбаев</i>

Научный руководитель *Ж.Ж. Омирбекова* Омирбекова Ж.Ж.

Задание принял к исполнению обучающийся *Т.С. Самат* Самат Т.С.

Дата 11 05 2022 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық энергетикалық қазандықтарды автоматтандырылған диагностикалау жүйесін зерттейді. Энергетикалық қазандықтардың жұмыс принципі, электр қазандықтарының жіктелуі, әдістер мен диагностикалық құралдардың жіктелуі және қорғаныс құралдарын тандауды қарастыру қарастырылады.. Алынған нәтижеге сүйене отырып, мәселе тұжырымдалып, жүйе өнімділігін жақсарту үшін PID контроллері құрастырылды.. Жұмыстың қол жеткізілген нәтижесіне сәйкес электр қазандықтарының автономды диагностикасын қолдану негізделген.Қорытындылай келе, атқарылған жұмыстың нәтижелері қорытындыланып, энергетикалық қазандықтарға автоматтандырылған диагностиканы енгізудің артықшылықтары негізделген.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте исследована система автоматизированной диагностики энергетических котлов. На основе полученных результатов была произведена постановка задачи и построен ПИД-регулятор для улучшения показателей системы. Для диагностики в качестве исходной модели использовали таблицу данных за большой период с производства, и методом идентификации данных были построены математические модели за определенные периоды. На основе полученных графиков производится диагностика энергетических котлов. В заключении подводятся итоги выполненной работы, обосновывается преимущества внедрения автоматизированной диагностики энергетических котлов.

ABSTRACT

In this dissertation, the system of automated diagnostics of power boilers is investigated. Based on the results obtained, the problem was formulated and a PID controller was built to improve the performance of the system. The principle of operation of power boilers, the classification of power boilers, the classification of methods and diagnostic tools, and consideration of the choice of protective equipment are considered. As a control object, a drum power boiler was chosen, which is the most typical type of power boilers. In accordance with the achieved result of the work, the use of autonomous diagnostics of electric boilers is justified.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1. Технологическая часть	10
1.1 Описание энергетических котлов	10
1.2 Классификация котельных установок	16
1.3 Барабанный паровой котел	18
1.4 Методы и средства технической диагностики энергетических котлов	20
1.5 Функциональная схема автоматизаций технологической защиты котельного агрегата и выбор средств защиты	22
2 Расчетная часть	27
2.1 Построение математической модели	27
2.2 Регулирование системы при помощи ПИД-регулятора	32
3 Диагностика энергетических котлов	37
Заключение	47
Список использованной литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

Безусловно все страны знают, что в нашем современном и быстро развивающемся мире, в средах и отраслях жизнедеятельности людей, обширно используется автоматизация технологических процессов. На сегодняшний день элементы автоматизации можно встретить в любом технологическом оборудовании в промышленности. В наше время основной проблемой или задачей автоматизации является улучшение производительности объекта управления, необходимость быстрого регулирования различными процессами автоматики. Автоматизация является неотъемлемой частью любой сферы производства. Особое место в жизнедеятельности человека занимают тепловые электростанции. Энергетический котел является агрегатом в тепловых электростанциях. В связи с этим становится **актуальным** вопрос о разработке эффективного использования тепловых электростанций. Для этого необходимо разработать систему автоматизированной диагностики энергетических котлов.

Целью дипломного проекта является разработка и исследование системы энергетических котлов, а также разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов.

На основе теоретического материала будет рассмотрен принцип энергетических котлов. Также будет рассматриваться классификация энергетических котлов, методы и средства диагностики. В качестве объекта управления был выбран барабанный энергетический котел и следует выделить следующие **основные задачи**:

- по существующим структурным схемам и передаточным функциям всех звеньев энергетического котла, будет получена математическая модель. -
- для полученной математической модели будет произведен анализ переходного процесса, получены прямые и косвенные оценки качества.
- на основе полученных оценок качества будет выполнена постановка задачи и будет построен П, ПИ, ПИД регуляторы.
- на основе базы данных за длительный период времени с реального объекта, будут идентифицированы математические модели за определенный период времени, которые необходимо для реализации диагностики энергетических котлов.

В заключении приводятся основные полученные результаты, подводится итог проделанной работы.

Технологическая часть

1.1 Описание энергетических котлов

Паровым котлом является устройство, которое преобразует поступающую воду в пар на основе тепла, получаемого за счет сгорания топлива. Котел имеет нагревательные поверхности, которые и испаряют воду.

Современные паровые котлы используют технологию факельного сжигания топлива. Сожжение топлива происходит в призматической шахте, которая является топкой. При факельном сжигании топливо, воздух, а также образующиеся в процессе сгорания продукты горения непрерывно движутся в рамках парового котла.

Вброс топлива в котел осуществляется с помощью специальных горелок, по которым топливо поступает в топку. Верхняя часть шахты соединяется с топкой. Вся эта установка называется конвективной шахтой.

В этой шахте, газоходе, а также в самой топке расположены нагревательные поверхности, которые представлены в виде системы труб, по которым движется рабочая среда. По способу передачи тепла их можно разделить на радиационные, конвективные и радиационно-конвективные.

В периметру камеры топки на всю высоту стен установлены плоские трубные системы, которые являются поверхностями нагрева. Эти системы имеют топочными экранами.

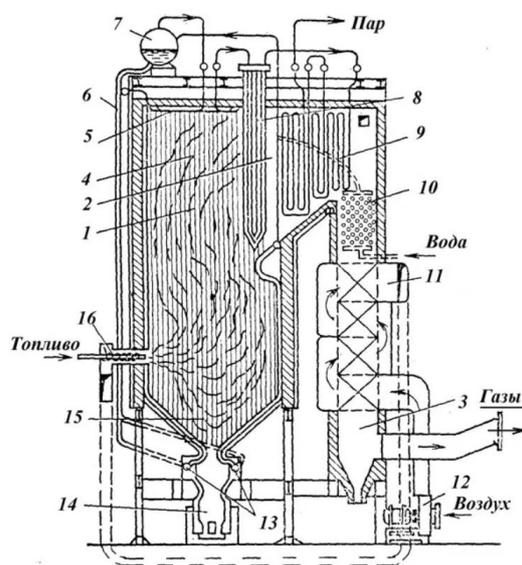


Рисунок 1.1 – Схема парового котла ТЭС

На рисунке 1.1 представлена схема парового котла ТЭС, где 1 — топка; 2 — газоход; 3 — конвективная шахта; 4 — топочные экраны; 5 — потолочные экраны; 6 — спускные трубы; 7 — барабан; 8 — радиационно-конвективный пароперегреватель; 9 — конвективный пароперегреватель; 10 — водяной экономайзер; 11 — воздухоподогреватель; 12 — дутьевой вентилятор; 13 — дутьевой вентилятор; 14 — дутьевой вентилятор; 15 — дутьевой вентилятор; 16 — дутьевой вентилятор.

нижние коллекторы экранов; 14 — шлаковый комод; 15 — холодная коронка; 16 — горелки.

Современные конструкции котлов используют топочные экраны в виде обычных либо же плавниковых труб, спаянных между собой плавниками, образуя тем самым газоплотную оболочку.

Нагревательный аппарат, где температура воды достигает границы насыщения, называется экономайзером. Парообразование происходит на испарительной поверхности нагрева, а в пароперегревателе происходит перегрев пара.

Из системы труб, по которым движется вода, пароводяная смесь и сам пар, образуется водопаровой тракт.

Непрерывное движение рабочей среды применяется с целью постоянного теплоотвода и поддержания необходимого температурного режима металлических поверхностей нагрева [1]. Через экономайзер пар и вода проходят многократно в течении нескольких циклов. Через пароперегреватели движение рабочей среды может происходить как в течении одного, так и многих циклов.

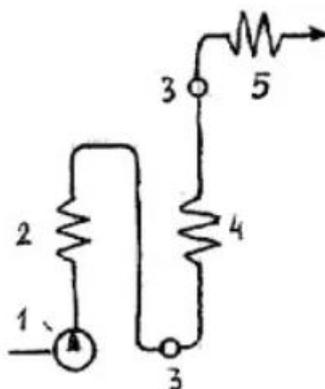


Рисунок 1.2 – Прямоточная схема водопаровых трактов котлов

На рисунке 1.2 показана прямоточная схема водопаровых трактов котлов, где 1 — питательный насос; 2 — экономайзер; 3 — коллектор; 4 — паропараобразующие трубы; 5 — пароперегреватель.

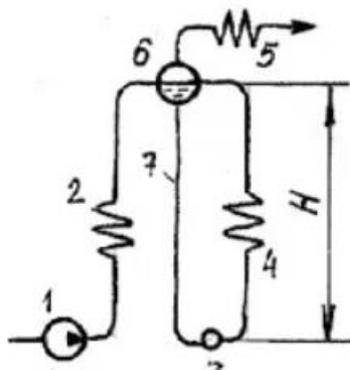


Рисунок 1.3 - Схема естественной циркуляции водопаровых трактов

На рисунке 1.3 показана схема естественной циркуляции водопаровых трактов, где 1 — питательный насос, 2 — экономайзер, 3 — коллектор, 4 — парообразующие трубы, 5 — пароперегреватель, 6 — барабан, 7 — опускные трубы.

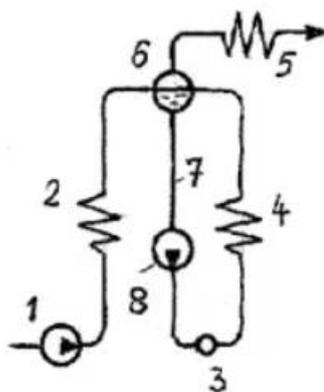


Рисунок 1.4 – Схема принудительной многократной циркуляцией водопаровых трактов

На рисунке 1.4 показана схема принудительной многократной циркуляцией водопаровых трактов, где 1 — питательный насос, 2 — экономайзер, 3 — коллектор, 4 — парообразующие трубы, 5 — пароперегреватель, 6 — барабан, 7 — опускные трубы, 8 — насос многократно-принудительной циркуляции.

У прямоточного котла водопаровой тракт представлен в виде разомкнутой гидравлической системы, в которой рабочая среда движется под сильным напором, который создается насосом. При этом у прямоточных котлов нет деления зон. Давление в прямоточных котлах может достигать сверхкритических значений [13].

Котлы многократной циркуляции отличаются наличием замкнутого контура, состоящего из обогреваемых и необогреваемых труб, соединенных барабаном сверху и коллектором снизу.

Барабан имеет форму горизонтального цилиндрического сосуда, содержащим объемы пара и воды, разделяемые поверхностью, именуемой зеркалом испарения. Коллектор представляет собой трубу большого диаметра с заглушками на торцах, в которую вставляется и приваривается труба меньшего диаметра.

В котлах с естественной циркуляцией вода посредством насоса подается в барабан по пути нагреваясь в экономайзере. Из барабана по необогреваемым трубам вода поступает в нижний коллектор, из которого распределяется по обогреваемым трубам, в которых идет процесс нагрева и закипания воды. При этом там происходит парообразование, в результате которого образуется пароводяная смесь, обладающая давлением $p_{см}$, которое меньше давления p' воды в необогреваемых трубах. На коллектор с одной стороны оказывает давление $H\rho'g$ столб воды, идущий в необогреваемые трубы, а с другой стороны образованная пароводяная смесь с давлением $H\rho_{см}g$. Получаемая разность давлений $H(p' - \rho_{см})g$ способствует образованию движения в контуре и является движущим напором естественной циркуляции $S(дв)$:

$$S_{дв} = H(\rho' - \rho_{см})g,$$

где H — высота контура; g — ускорение свободного падения.

В циркуляционном контуре движения происходят многократно по причине того, что за один цикл движения вода не успевает полностью испариться и итоговое содержание пара в пароводяной смеси составляет не более 3-20%.

Кратность циркуляции есть отношение массового расхода воды в контуре к количеству получившегося пара за единицу времени:

$$R = mв/мп.$$

В котлах с естественной циркуляцией значение R составляет порядка 5-33, тогда как в котлах с принудительной циркуляцией не более $R= 3-10$.

В барабане паровая смесь сепарируется на собственно пар, поступающий в пароперегреватель, и капли воды.

Для улучшения циркуляции в котлах с многократной принудительной циркуляцией ставится дополнительный насос. Это улучшает движение пароводяной смеси во всех направлениях, позволяя осуществлять движение по наклонным и горизонтальным направлениям.

Из-за наличия двух фракций: воды и пара, барабанные котлы работают только на докритических давлениях и превышение давления выше критического недопускается.

Стены топочных камер выкладывают тугоплавким огнеупорным материалом так как температура горения факела составляет 1400-1600°C.. Наружная поверхность имеет термоизоляцию. Охладившиеся до температуры 900-1200°C продукты горения поступают из топки в газоход котла, омывая пароперегреватель и направляясь в конвективную шахту с промежуточным пароперегревателем, экономайзером и воздухоподогревателем, где происходит подогрев воздуха перед подачей в топку.

После этой зоны продукты горения, именуемые уходящими газами, охлаждаются 110-160°C и удаляются с помощью дымососа в дымовую трубу по причине их бесполезности для утилизации тепла.

Большая часть топок работают с разрежением в 20-30 Па в верхней части камеры. При сгорании продуктов горения разрежение возрастает в разы и перед дымососом составляет порядка 2000-3000 Па, что способствует поступлению атмосферного воздуха. Он охлаждает и разбавляет продукты горения и снижает теплоэффективность, увеличивая нагрузку на дымососы, повышая расход электроэнергии.

В последние десятилетия создаются конструкции котлом, работающие под наддувом, когда газоходы и топка работают под воздействием избыточного давления. Дымососы при такой конструкции не ставятся. Главным требованием работоспособности такого котла является его газоплотность.

Нагревательные поверхности котлов изготавливаются из стали различных марок с добавлением различных примесей в зависимости от давления и температуры в котле, а также характеристики движения в них среды, агрессивности продуктов сгорания, с которыми происходит контакт [2].

Качество воды напрямую влияет на надежность работы котла. Так как вода поступает недисциплинированная, идет накопление твердых частиц и солей, окислов железа и меди, которые образуются в результате процесса коррозии элементов котла. Небольшой процент этого шлака уносится паром, тогда как остальная часть остается в котле, растворяясь во вновь поступившей воде и увеличивая тем самым процент примесей. В результате их нагрева образуется накипь, мешающая нормальному проведению тепла. Трубы покрываются слоем накипи и неспособны нормально охлаждать поступающую среду, из-за чего происходит их чрезмерный нагрев продуктами сгорания со всеми вытекающими последствиями в виде потери прочности и разрушения под воздействием внутреннего давления. Для предотвращения этого часть примесей и солей необходимо из котла удалять посредством слива из котла воды с повышенным содержанием примеси. На смену ей поступает вода с меньшим количеством примесей. Этот процесс смены воды называется непрерывной продувкой. Продувка осуществляется из барабана.

У прямоточных котлов барабана нет и для них ухудшение состава воды критично, поэтому у этих котлов гораздо выше стандарты к качеству воды. Вода поступающая в прямоточные котлы обрабатываются на

водоподготовительных установках, а турбинный конденсат проходит очистку в специальных очистных установках.

Преимуществом паровых котлов является экологичность вырабатываемого пара. Для прямоточных котлов при сверхкритическом давлении, уровень загрязнения не превышает 30-40 мкг на каждый килограмм пара.

КПД современных электростанций является высоким. Теплота, которая расходуется на подогрев, испарение и подготовку пар называется полезно использованной теплотой Q_1 . Потеря тепла происходит за счет ухода газов Q_2 . При этом имеет место неполнота сгорания по причине наличия в уходящих газах CO , H_2 и CH_4 также являются потерями тепла Q_3 . Само топливо также не сгорает полностью по причине наличия в составе несгораемого углерода. Эти потери обозначаются как Q_4 . Теплотери, происходящие по причине контакта элементов с окружающей средой, обозначаются как Q_5 . Потери теплоты самого шлака обозначаются как Q_6 .

Обозначая $q_1 = Q_1 / Q$, $q_2 = Q_2 / Q$ и т.д., получаем КПД котла:

$$\eta_k = Q_1 / Q = q_1 = 1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6),$$

где Q — количество тепла, выделяющегося при полном сгорании топлива.

Потери тепла от уходящих газов составляют в районе 5-8%. Этот показатель уменьшается по мере уменьшения избытка воздуха. При таком варианте горение происходит без избытка воздуха, когда его значение лишь на 2-3% превышает теоретический необходимый объем воздуха для горения.

Отношение действительного объема воздуха V_D , подаваемого в топку, к теоретически необходимому объему V_T называется коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha = V_D / V_T \geq 1$$

Уменьшение α может привести к неполному сгоранию топлива по причине химического и физического недожога топлива.. Приняв q_5 и q_6 постоянными, устанавливается такой избыток воздуха α , при котором сумма потерь:

$$q_2 + q_3 + q_4 \rightarrow \min$$

Требуемые избытки воздуха обеспечиваются применением электронных автоматических регуляторов горения, которые меняют подачу топлива и воздуха в зависимости от нагрузки котла, позволяя повысить КПД современных котлов до значения в 90%.

Элементы котла: нагревательные поверхности, коллекторы, барабаны, трубопроводы, обмуровка, помосты и лестницы обслуживания — монтируются на общем каркасе в виде рамной конструкции. Каркас опирается на фундамент или подвешивается к несущим балкам здания. При этом котел на каркасе обладает большой массой. К примеру, суммарная нагрузка, передаваемая на фундаменты через колонны каркаса котла паропроизводительностью $D=950$ т/ч, составляет 6000 т. Стены котла покрываются изнутри огнеупорным слоем, а снаружи — термоизоляционным.

Газоплотные экраны экономят металл для изготовления нагревательных поверхностей. При этом обмуровка стен покрывается мягкой теплоизоляцией, что уменьшает общий вес котла на 30-50%

1.2 Классификация котельных установок

Котельные установки представляют собой комплекс оборудования, служащий для преобразования химической энергии от сгорания топлива в тепловую энергию, используемую для нагрева воды или пара в рамках заданных параметров.

От сферы применения зависит то, какой тип котла и вспомогательного оборудования будет использоваться. Котел представляет собой комплекс устройств для получения нагретого пар или воды под давлением. Энергия нагрева образуется за счет сгорания топлива либо же за счет преобразования электричества в тепловую энергию.

По типу вырабатываемого теплоносителя котельные установки делят на три класса:

- паровые для производства водяного пара;
- водогрейные для получения горячей воды и смешанные (включающие и паровые и водогрейные котлы), предназначенными для получения пара и горячей воды;

По характеру теплоносителя:

- энергетические, которые нужны для выработки пара для паровых установок.
- производственно-отопительные, служащие для выработки пара для производственных нужд и нужд отопления;
- отопительные для отопления и нагрева воды в жилом секторе.
- смешанные, которые вырабатывают пар для всех типов нужд

В соответствии с используемым топливом, котлы делятся на угольные, мазутные, газовые и другие. По размерам установки делятся на районные, индивидуальные и групповые.

Установка состоит из котлоагрегата и вспомогательного оборудования. В установке присутствует минимум два котла, а вспомогательное оборудование общее для всей котельной. Оборудование такой установки представлено на рисунке 1.5.

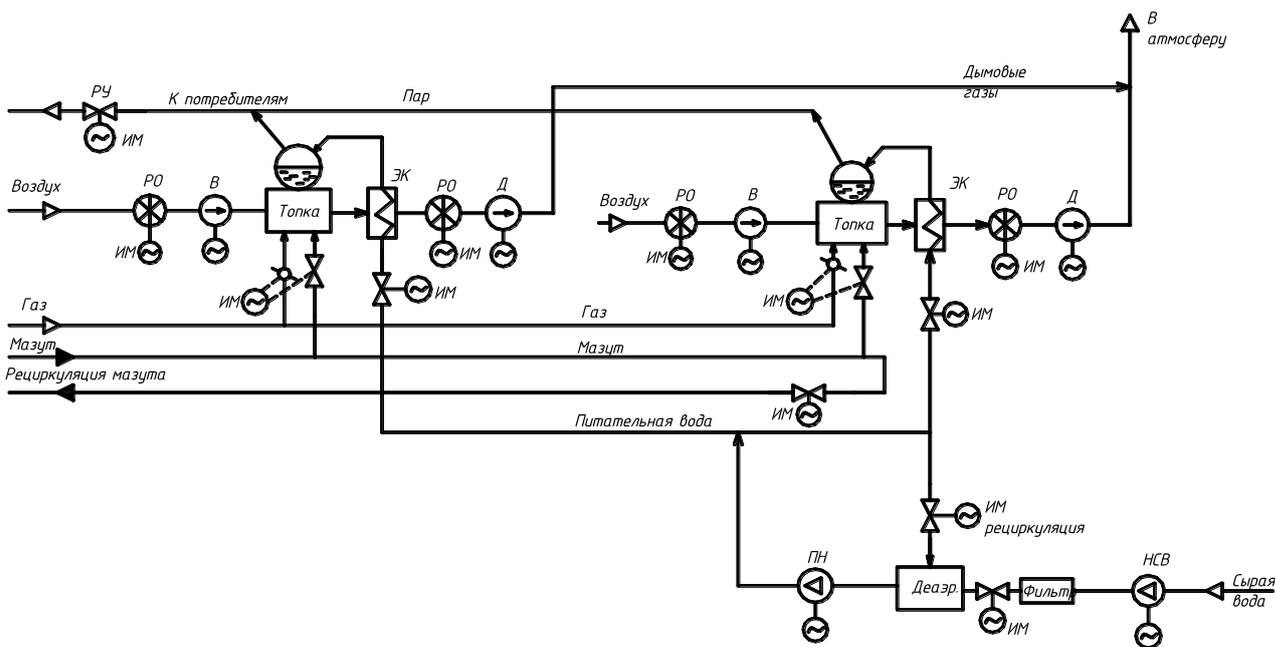


Рисунок 1.5 – Технологическая схема котельной установки

На рисунке 1.5 показана технологическая схема котельной установки, где В — вентилятор, Д — дымосос, ЭК — экономайзер, Фил — фильтры химической обработки воды, Дзаэр — деаэратор, Пн - питательный насос, НСВ - насос сырой воды, РО — регулирующий орган, ИМ — исполнительный механизм, РУ — редукционная установка.

Вспомогательным оборудованием являются фильтры для химической обработки воды, насосы, деаэратор, редукционная установка, КИП, газорегуляторы, регуляторы и арматура. [12]

Вода, воздух и топливо является рабочими телами. Они используются для получения горячей воды и пара для отопления и производственных целей.

Основной элемент котла-агрегата — это паровой котел. Через металлические стенки котла происходит передача тепла от нагретых продуктов горения к воде, нагревая которую происходит появление пара.

Общая мощность установки или же иначе говоря паро-производительность складывается из суммы паропроизводительности каждого отдельного котла-агрегата, которые входят в состав установки.. Паро-производительность котла-агрегата равна количеству килограммов или тонн пара, произведенных за час работы котла. Она обозначается буквой D и измеряется в кг/ч или т/ч.

Топка котла-агрегата нужна для сжигания топлива, посредством чего происходит трансформация химической энергии в тепловую.

Пароперегреватель перегревает пар, который получается в котле.

Водяной экономайзер подогревает поступающую в котел воду благодаря теплу уходящих газов.

Воздухоподогреватель подогревает поступающий в топку воздух теплом уходящих газов.

Устройство для удаления золы и шлаков представляет собой совокупность вагонеток или транспортеров, или тех и других, вместе взятых.

Устройство для подготовки воды состоит из аппаратов и приспособлений для дегазации воды, а также очистки ее от примесей и накипи, образованной от предыдущей партии воды.

Устройство теплового контроля и автоматического управления состоит из контрольно-измерительных приборов и автоматов, обеспечивающих бесперебойное и согласованную работу отдельных устройств котельной установки для выработки необходимого количества пара определенной температуры и давления [3].

Котлы классифицируют в зависимости от вида соответствующего тракта и его оборудования. В зависимости от используемого топлива и соответственно этому устройства котла, различают котлы для газообразного, жидкого и твердого топлива.

1.3 Барабанный паровой котел

Схема техпроцесса барабанного котла показана на рисунке 1.6, схема циркуляционного контура — на рисунке 1.7.

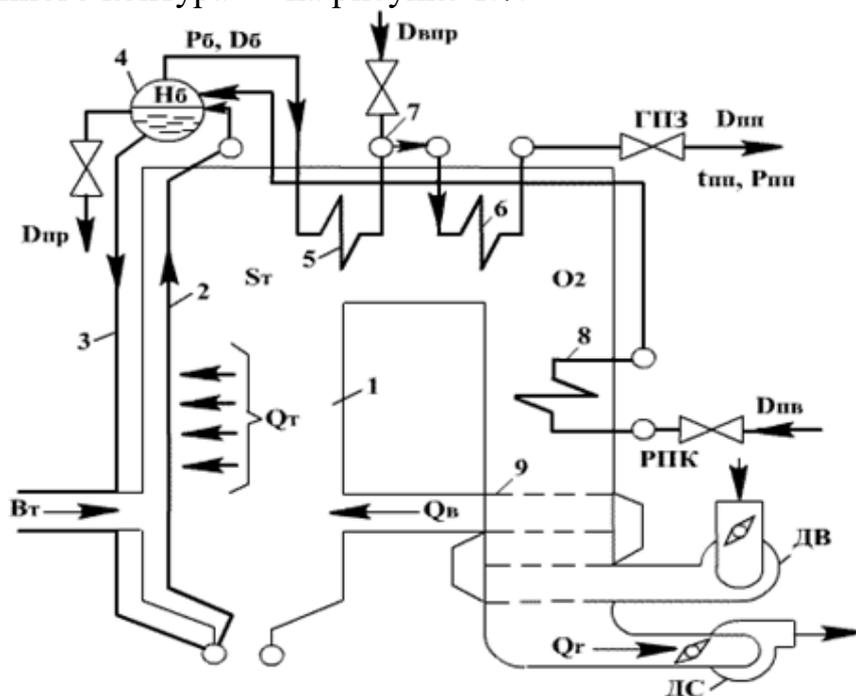


Рисунок 1.6 — схема техпроцесса барабанного котла

На рисунке 1.6 показана схема техпроцесса барабанного котла, где 1 — топка, 2 — контур циркуляции, 3 — опускные трубы, 4 — барабан, 5, 6 —

пароперегреватели, 7 — парохладитель, 8 - экономайзер, 9 — воздухоподогреватель

Через горелки топливо поступает в топку, где происходит его сжигание факельным способом. Воздух Q_v подается для поддержания горения с помощью вентилятора ДВ. Воздух необходимо нагреть с помощью воздухоподогревателя, чтобы избежать лишних теплотерь при сжигании топлива. Дымовые газы Q_r откачиваются из топки с помощью дымососа ДС. Дымовые газы проходят через нагреватели, экономайзер и выводятся через дымовую трубу за пределы установки. В подъемных трубах циркуляционного контура происходит образование пара. Насыщенный пар D_6 идет в пароподогреватель, где его нагревают до заданной температуры за счет топочных газов. В парохладителе происходит регуляция температуры газа на случае его перегреве посредством ввода воды $D_{впр}$.

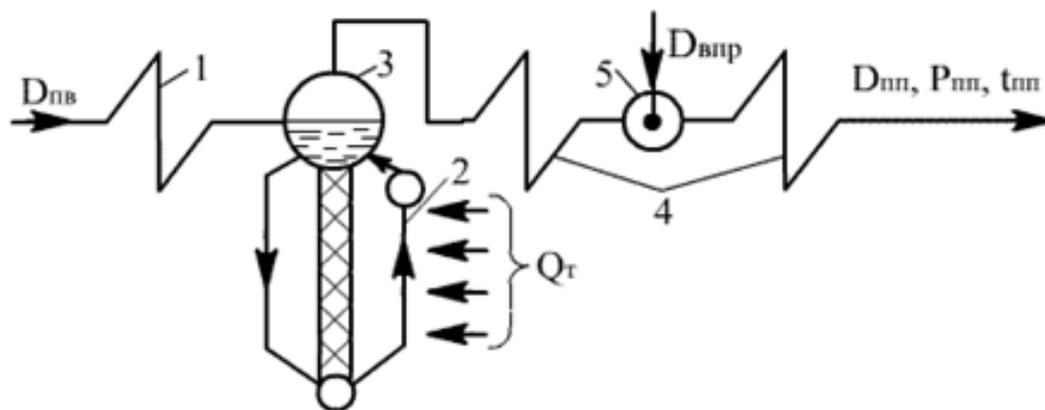


Рисунок 1.7 - схема циркуляционного контура

На рисунке 1.7 показана схема циркуляционного контура, где 1 — экономайзер, 2 — испаритель, 3 — барабан, 4 — ступени пароперегревателя, 5 — парохладитель.

Основными регулируемыми величинами котла является расход перегретого пара $D_{пп}$, его давление $P_{пп}$ и температура $T_{пп}$. Нужно в пределах допустимых отклонений поддерживать эти параметры:

- уровень воды в барабане H_6 (регулирует подачу воды $D_{пв}$);
- солесодержание котловой воды (регулируется расходом воды $D_{пр}$, выпускаемой из барабана в расширитель).
- допустимый избыток воздуха за пароперегревателем O_2 (регулируется изменением мощности вентиляторов);
- разрежение в верхней части топки S_T (регуляция производительности дымососов);

Эти величины меняются в следствие регулирующих воздействий, а также ввиду происходящих в котле и за его пределами процессов и возмущений. Как объект управления котел является сложной динамической системой, имеющие несколько входов и выходов, имеющих свои взаимосвязи, показанные на рисунке 1.8. Однако есть стабильная направленность

отдельных каналов регулирующих воздействий, как расход воды на впрыск $D_{впр}$, расход топлива B_t , давление $P_{пп}$, перегрев $t_{пп}$ и другие. Благодаря ей можно стабилизировать регулируемые величины с помощью независимых одноконтурных систем, которые связываются через ОУ.

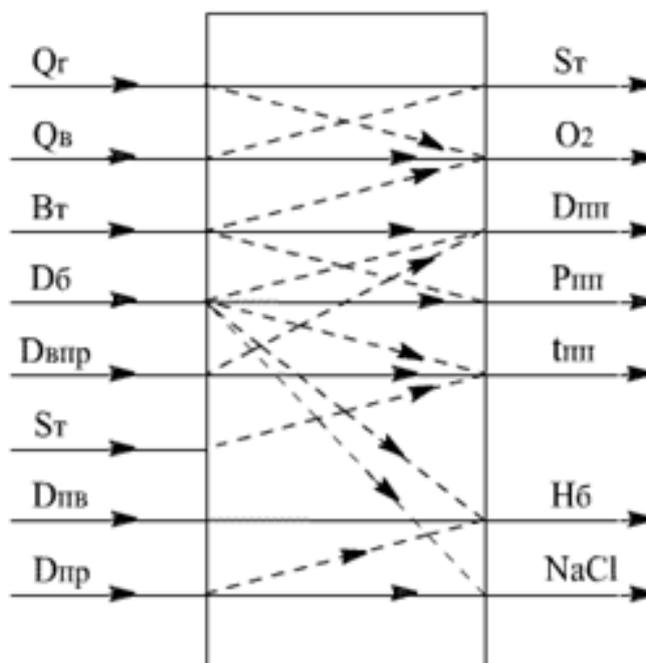


Рисунок 1.8 – схема связей входов и выходов в барабанном котле

На рисунке 1.8 показана схема связей входов и выходов в барабанном котле. Как видно, это ММО система с запутанными связями, разбирать которую крайне тяжело.

1.4 Методы и средства технической диагностики энергетических котлов

Надежность работы технологических установок при высоких температурах главным образом зависит от условий, при которых происходит теплообмен. Из-за этого тепловое состояние сред и их отклонение от заданного установкой технологического регламента работы напрямую связано с теплообменом. Также на теплообмен влияют отклонения режимных параметров и накопление повреждений. По этой причине в основе управления должна лежать такая математическая модель, которая позволяет получить первичную информацию в виде данных о распределении потоков падающего и воспринятого излучения в рамках рабочего пространства.

Есть два основных вида технического состояния: исправное и неисправное. Исправное состояние это такое состояние, при котором установка не имеет ярко выраженных дефектов, мешающих ее работе, способной работе в штатном режиме. Неисправное состояние – это любое

состояние, при которой система не способна работать в соответствии с критериями нормативно-технической документации.

Помимо этого существует понятие работоспособности. Работоспособной системой является та система, у которой значение всех ее параметров соответствует вышеназванной нормативно-технической документации.

Соответственно, неработоспособной является система, у которой хотя бы одно из требований не соответствует заданным в документации. То есть, система не способна выполнять заданную задачу в соответствии с заданными параметрами. Причем это касается как самого объекта в целом, так и каждой отдельной составляющей объекта.

Диагностика является основой определения текущего технического состояния системы. Существует система диагностических признаков на основе математической модели системы, которая позволяет выявить те или иные неполадки или отказы в работе системы. Эта диагностика также может быть использована для прогнозирования будущего состояния системы и появления возможных неполадок. С помощью диагностирования осуществляет поиск неполадок, их локализация, определение типа, а также поиск причин их появления и способов устранения.

Любое повреждение рассматривается как нарушение состояния исправности. При этом работоспособность может быть сохранена. Событие, которое вызвало это нарушение, определяется как отказ. Существуют пять основных видов отказов.

Параметрический отказ – отказ, вызванный отклонением значения по крайней мере одного рабочего параметра за пределы заданного диапазона значений. В результате отказа функционирование сохраняется, но показатели качества выходят за пределы, которые допускаются технической документацией [8].

Постепенный отказ – характеризуется постепенным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта. Является неизбежным отказом, возникающим в следствии износа основных механизмов системы в течении длительного процесса работы.

Функциональный отказ – отказ объекта по одной из заданных ему функций. Функциональные отказы свойственны объектам, выполняющим несколько функций. Такие отказы могут быть отнесены к разновидности частичных отказов.

Частичный отказ – отказ, в результате которого происходит снижение выхода либо же не обеспечение заданного выходного параметра. Система все еще может оставаться в рабочем состоянии и требовать лишь устранения дефекта.

Полный отказ – полная утрата работоспособности объекта. Для многофункциональных объектов полный отказ по одной или нескольким выполняемым объектом функциям означает частичный отказ объекта в целом. При полном отказе система теряет работоспособность полностью.

У диагностики энергетических котлов есть особенность, заключающаяся в том, что большинство нарушений являются параметрическими, близкими к постепенному отказу [7]. Время нарастания ошибок продолжено. Один или несколько параметров выходят за пределы постепенно с течением времени. Это обуславливает размытость между состояниями исправности и неисправности и затрудняет прогнозирование отказов. Также это препятствует точному определению текущего состояния объекта.

Из-за этого появляется возможность применять сложные алгоритмы управления на основе математического моделирования и внедрения интеллектуальных систем управления, которые используют результаты моделирования в реальном времени.

1.5 Функциональная схема автоматизаций технологической защиты котельного агрегата и выбор средств защиты

Функциональные схемы автоматизации являются основным проектным документом, определяющим структуру и уровень автоматизации технологическим процессом проектируемого объекта и оснащение его приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами вычислительной техники). Функциональные схемы по сути своей - это чертежи, на которых при помощи условных изображений отображают оборудование, коммуникации, органы управления, приборы и средства автоматизации, средства вычислительной техники и другие агрегатные комплексы с указанием связей между приборами и средствами автоматизации, таблицы условных обозначений и пояснения к схеме. Схемы являются основанием для выполнения остальных чертежей проекта, а также для составления заявочных ведомостей в заказных спецификациях приборов и средств автоматизации [4].

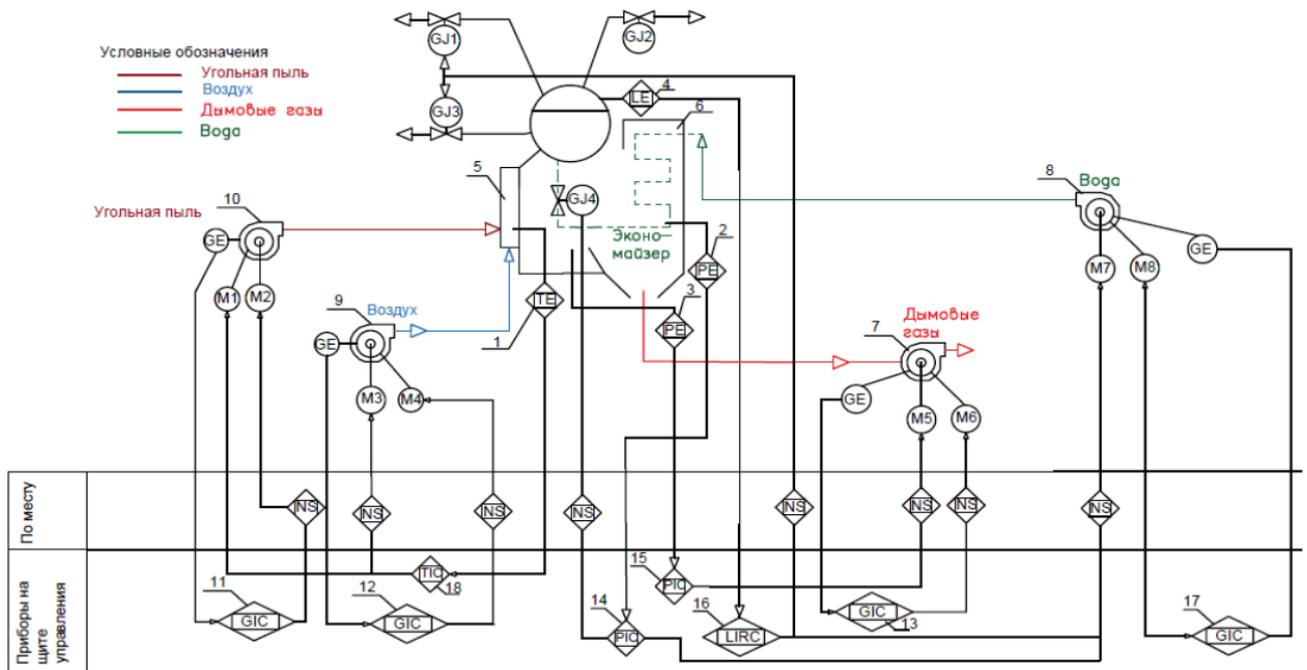


Рисунок 1.9 – Функциональная схема автоматизации системы технологической защиты котельного агрегата

На рисунке 1.9 представлена функциональная схема автоматизации системы технологической защиты котельного агрегата:

- 1 – термометр 1;
- 2 – датчик давления 1;
- 3 – датчик давления 2;
- 4 – уровнемер 1;
- 5 – горелка;
- 6 – топочная камера;
- 7 – дымосос;
- 8 – насос подачи воды;
- 9 – дутьевой вентилятор;
- 10 – насос для подачи угля;
- 11 – регулятор положения 1;
- 12 – регулятор положения 2;
- 13 – регулятор положения 3;
- 14 – регулятор давления 1;
- 15 – регулятор давления 2;
- 16 – регулятор уровня 1;
- 17 – регулятор положения 4;
- 18 – терморегулятор;
- GJ – автоматическая задвижка;

GE – датчик положения;
M – электродвигатель;
NS - пускорегулирующая аппаратура управления.

Датчики положения — это устройство для определения положения объекта и преобразования этой информации в электрический сигнал, передаваемый по полевой шине на блок управления. Эти датчики необходимы для следящих систем с механическими элементами. Они имеют широкое применение для задач поддержки работоспособности машин, повышая экономичность всей системы.

Регулятор положения – устройство, регулирующее управление приводами и корректирующее правильное положение устройств.

Терморегулятор – часть автоматического регулирования отопительного или охлаждающего оборудования [5]. Поддерживает требуемую температуру. В зависимости от модели возможны небольшие отклонения.

Основой системы является программируемый логический контроллер (ПЛК). ПЛК представляют собой устройства для преобразования, обработки, хранения информации и выработку команд управления или управляющих регулирующих воздействий, реализованные на базе микропроцессорной техники. Они являются специализированными управляющими вычислительными комплексами для работы в локальных и распределенных системах управления в реальном времени.

В качестве контроллера был выбран контроллер AC 800M от компании АВВ. Масштабируемость – основное свойство контроллера AC 800M. Модульная конструкция делает его эффективным для интегрированных автоматизированных систем различных размеров. Серия AC 800M обеспечивает упрощение соответствия конфигурации контроллера требованиям управления.



Рисунок 1.10 – Контроллер АВВ серии AC 800M

На рисунке 1.10 показан контроллер АВВ серии AC 800M. Пять модулей ЦП контроллера разные по мощности, объему памяти и поддержке резервирования, начиная с экономичных средней мощности до высокомоощных с полным резервированием. Каждый модуль имеет Ethernet-

порты для подключения к другим контроллерам и взаимодействия с высокоуровневыми приложениями, а также техперсоналом. Если эксплуатационная готовность имеет чрезвычайное значение, порты настраиваются под режим резервирования.

В качестве преобразователя температуры выбран Метран-230.



Рисунок 1.11 – Датчик температуры Метран–230

На рисунке 1.11 представлен датчик температуры Метран-230. Преобразователи температуры (ПТ) Метран–230 используются для точных измерений температуры. Преобразователи температур могут использоваться не только в нейтральных, но и в агрессивных средах. Для этих целей защитная арматура выполнено из материала, устойчивого к коррозии. Связь прибора с АСУТП осуществляется аналогового, передачей информации в виде тока в 4-20мА, либо же цифровым путем в соответствии с HART протоколом. Передача на расстояние осуществляется применением двухпроводных токовых линий [6]. Датчик может быть использован для эксплуатации во взрывоопасных зонах, где идет образование либо же накапливание опасных концентраций газов, паров и горючих смесей. Индекс пылевлагозащиты приборы составляет IP65.

В качестве датчика уровня выбран уровнемер Rosemount5300.



Рисунок 1.12 – Датчик уровня Rosemount 5300

На рисунке 1.12 представлен показан уровня Rosemount 5300. Уровнемер Rosemount5300 — это двухпроводное устройство, способное непрерывно измерять уровень. Его принцип работы основан на рефлектометрии с временным разрешением. Наносекундные импульсы малой мощности распространяются вдоль погружного зонда. При достижении импульсом поверхности, часть импульса возвращается обратно на датчик, а разница во времени между возникновением и отражением импульса преобразуется в расстояние, на основе которого и рассчитывается уровень жидкости или границы раздела сред. Способность отражать импульс является ключевой особенностью, позволяющей производить замер уровня. Интенсивность отражения напрямую связана с диэлектрической проницаемостью вещества. Чем она выше, тем интенсивнее отражение (выше амплитуда сигнала) и тем шире диапазон измерений [11].

В качестве датчик давления выбрана модель Rosemount 2090.



Рисунок 1.13 – Датчик давления Rosemount 2090

На рисунке 1.13 показан датчик давления Rosemount 2090. Он используется в системах автоматического контроля, регулирования и управления техпроцессами, позволяя производить непрерывное преобразование изменяемых величин в токовый входной сигнал, передающийся дистанционно, а также в цифровой сигнал на основе HART протокола. Вышеназванными величинами являются абсолютное и избыточное давление, разность давления, а также давления нейтральных и агрессивных сред. С помощью такого датчика было выполнено задание по расчету погрешности измерения датчика для замера давления в 15 МПа насыщенного пара на выходе барабана котла БКЗ 160-199. Данный датчик был выбран по причине его надежности, стабильности работы, а также удобства настройки и быстрого отклика на любые изменения измеряемой величины [10].

2 Расчетная часть

2.1 Построение математической модели

Под математической моделью технологического процесса следует понимать совокупность качественных представлений и математических соотношений, характеризующих отдельные, ограниченные в нужном направлении явления моделируемого процесса, а также взаимодействие этих явлений с учетом возмущающих факторов. Математические соотношения, составленные в результате теоретического анализа моделируемого процесса, представляют собой математическое описание. Изучение объекта моделирования сводится к анализу его математического описания в явном виде, т. е. к анализу зависимостей между определяющими и определяемыми переменными процесса. Эти зависимости можно получить только в результате решения уравнений математического описания. Для решения даже относительно простого математического описания, не говоря уже о сложных математических моделях, обычно требуются большие объемы вычислительных операций. Поэтому практическая реализация математических моделей невозможна без современных средств вычислительной техники [9].

Построение модели – это способ визуального представления определенного процесса. При построении модели для решения задачи используются графические блоки. Преимущество этого метода проявляется при решении задач, содержащих математические уравнения, решение которых представляет некоторые сложности. В то же время, если возможно построить модель, которая визуально отображает ситуацию, становится понятно, в каком направлении двигаться, чтобы найти оптимальное решение.

Структурная схема регулирования температуры в барабанном котле приведена на рисунке 2.5. На данной схеме: $W_1(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_2(p)$ – передаточная функция объекта управления.

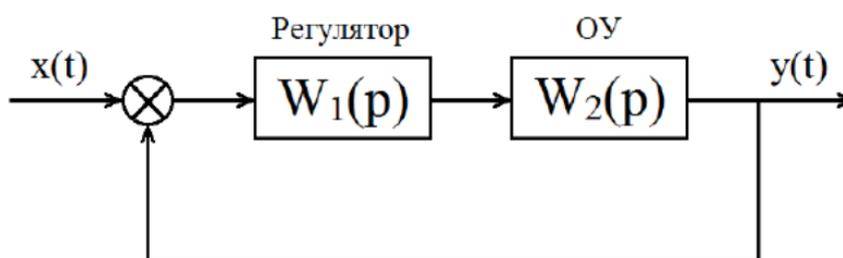


Рисунок 2.1 – Структурная схема регулирования температуры в барабанном котле

Объект управления можно описать передаточной функцией апериодического звена 1-го порядка с запаздыванием.

Передаточная функция системы имеет вид:

$$G_{об}(s) = \frac{k_0}{T_0 s + 1} e^{-\tau_0 s} \quad (1)$$

По кривой разгона методом графической идентификации находим:

1) постоянную времени объекта:

$$T_0 = 78 \text{ с};$$

2) время запаздывания объекта:

$$\tau_0 = 31 \text{ с}.$$

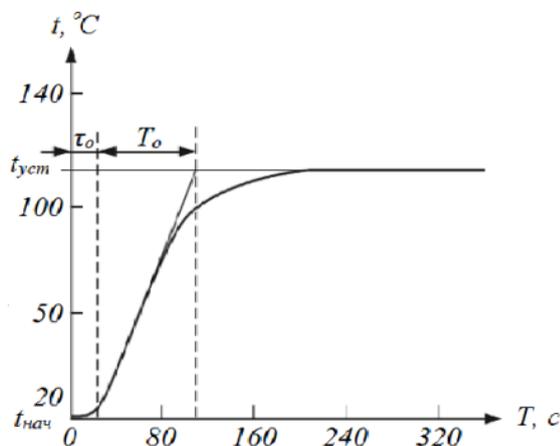


Рисунок 2.2 – График кривой разгона объекта управления

Коэффициент усиления объекта рассчитывается по формуле:

$$k_0 = \frac{t_{уст} - t_{нач}}{\mu} \quad (2)$$

где $t_{уст}$ – установившееся значение температуры, °С;

$t_{нач}$ – начальное значение температуры, °С;

μ – процент хода исполнительного механизма при нанесении возмущения, %.

$$k_0 = \frac{115 - 20}{50} = 1,92^\circ\text{C} \quad (3)$$

Подставив значения в формулу передаточной функции (1) числовое значение разомкнутой системы объекта управления имеет вид:

$$G_{oo}(s) = \frac{1,92}{78s + 1} \quad (4)$$

Прибавив числитель к знаменателю получена замкнутая система:

$$G_{oo}(s) = \frac{1,92}{78s + 2,92} \quad (5)$$

Далее необходимо проверить передаточную функцию (4) проверить на устойчивость.

Важным показателем САР является устойчивость. Основное назначение САР заключается в поддержании заданного постоянного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону. При отклонении регулируемого параметра от заданной величины (например, под действием внешнего возмущения или изменения задания) регулятор воздействует на систему таким образом, чтобы ликвидировать это отклонение. Если система в результате этого воздействия возвращается в исходное состояние или переходит в другое равновесное состояние, то такая система называется устойчивой. Если же возникают колебания со все возрастающей амплитудой или происходит монотонное увеличение ошибки e , то система называется неустойчивой.

Проверка на устойчивость передаточную функцию (4) осуществлена при помощи программного обеспечения Matlab.



Рисунок 2.3 - Математическая идентифицированная модель в Simulink

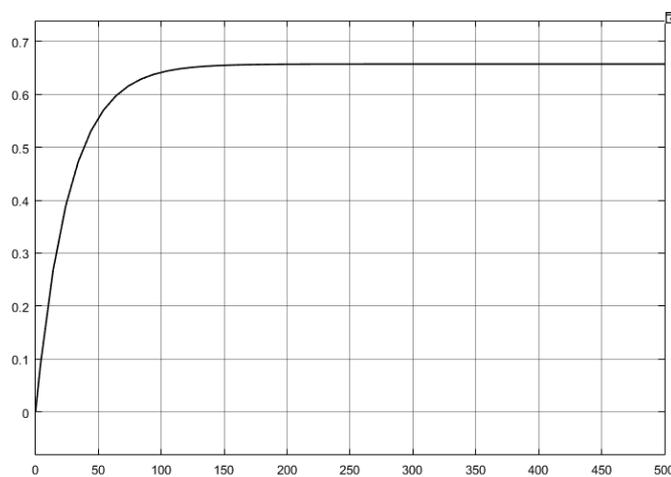


Рисунок 2.4 – Переходной процесс передаточной функции

На рисунке 2.4 представлен переходной процесс передаточной функции (4). По переходному процессу видно, что замкнутая система устойчива, так как процесс сходится к установившемуся значению. Также об этом свидетельствуют полюса системы. Так как они отрицательные по первому методу Ляпунова система является устойчивой.

```
>> G=tf([1.92],[78 1])  
  
G =  
  
    1.92  
-----  
   78 s + 1  
  
Continuous-time transfer function.  
  
>> pole(G)  
  
ans =  
  
   -0.0128
```

Рисунок 2.5 – Полюса разомкнутой системы

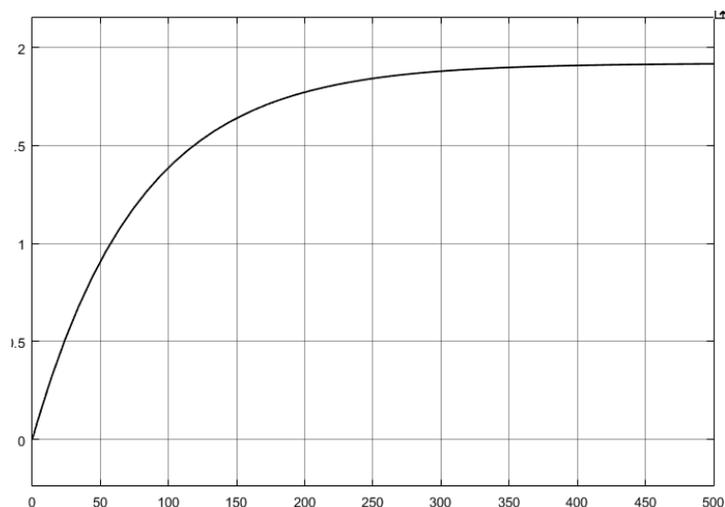


Рисунок 2.6 – Переходной процесс замкнутой системы

На рисунке 2.6 представлен переходной процесс замкнутой системы.

По переходному процессу видно, что замкнутая система устойчива, так как процесс сходится к установившемуся значению.

```

>> G=tf([1.92],[78 2.92])

G =

      1.92
-----
    78 s + 2.92

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

    -0.0374

```

Рисунок 2.7 – Полюса замкнутой системы

По переходному процессу видно, что замкнутая система устойчива, так как процесс сходится к установившемуся значению. Также об этом свидетельствуют полюса системы. Так как они отрицательные по первому методу Ляпунова система является устойчивой.

Оценки качества. Качество системы автоматического управления определяется прежде всего точностью управления, так как любая система независимо от своего назначения должна осуществлять управление каким-либо объектом с определенной точностью. Ошибка системы автоматического управления определяется характером изменения, входного и возмущающего воздействий. Оценки качества системы бывают прямые и косвенные. На рисунке 2.9 показаны прямые оценки качества системы:

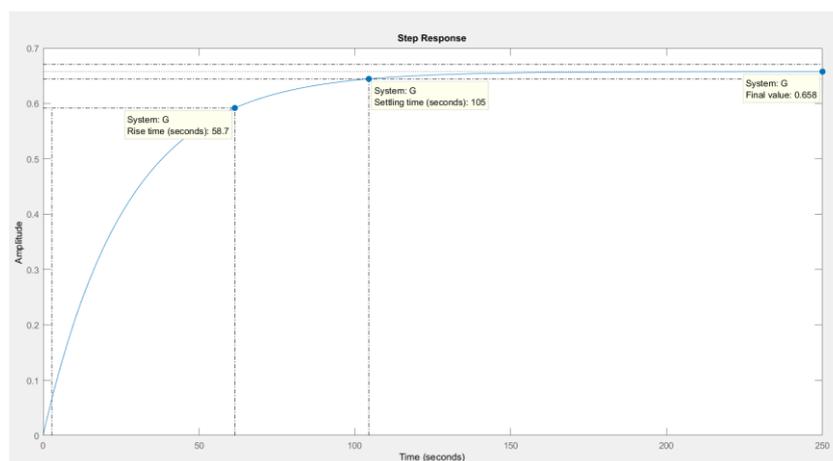


Рисунок 2.8 – Прямые оценки качества

На рисунке 2.8 представлены прямые оценки качества замкнутой системы автоматического регулирования.

Исследуемая замкнутая система имеет следующие прямые оценки качества:

- 1) Время регулирования: $T_{set} = 105$ с
- 2) Время нарастания: $T_R = 58,7$ с
- 3) Установившееся значение: 0,658

2.2 Регулирование системы при помощи PID регулятора

PID регулятор – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор – устройство в управляющем контуре с обратной связью. Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. PID регулятор был выбран для регулирования системы автоматического управления (5) для уменьшения времени нарастания и времени регулирования, а также приведении ошибки системы к нулю.

Далее для регулирования системы использован P регулятор

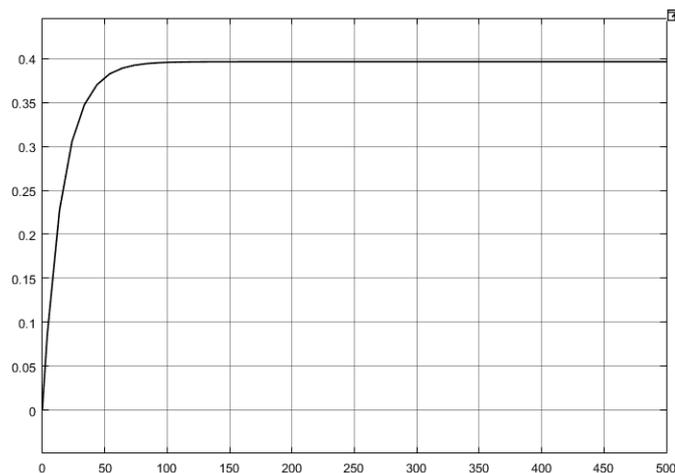


Рисунок 2.9 – Переходная характеристика с P регулятором

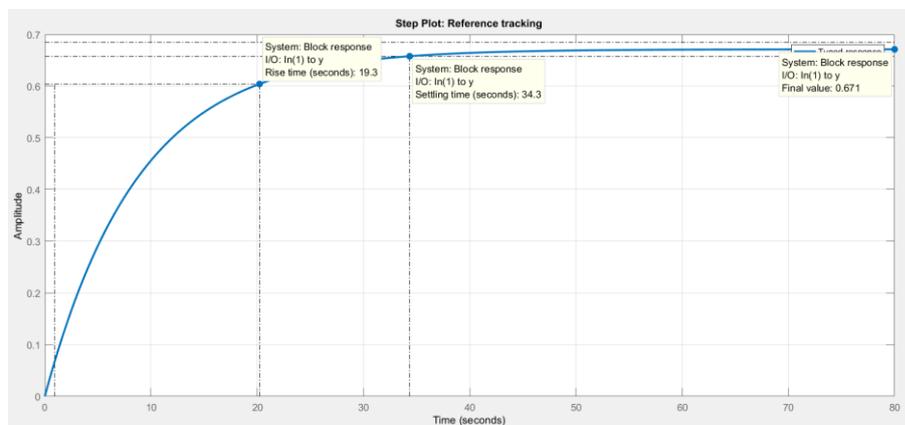


Рисунок – 2.10 Оценки качества системы с P регулятором

На рисунке 2.9 представлена переходная характеристика с использованием Р регулятора. На рисунке 2.10 показаны оценки качества переходного процесса с использованием Р регулятора. По данному рисунку можно заметить, что Р регулятор не дал желаемого результата. Ошибка системы не устранена.

Таблица 2.2 – Оценки качества

№	Оценка качества	Система с регулятором
1	Время регулирования	$T_{set} = 34,3c$
2	Время нарастания	$T_r = 19,3c$
3	Установившееся значение	$x = 0,671$

В таблице 2.2 приведены оценки качества, полученные из рисунка 2.10 Р регулятор использовать в данной системе не целесообразно, поскольку ошибка системы не устранена.

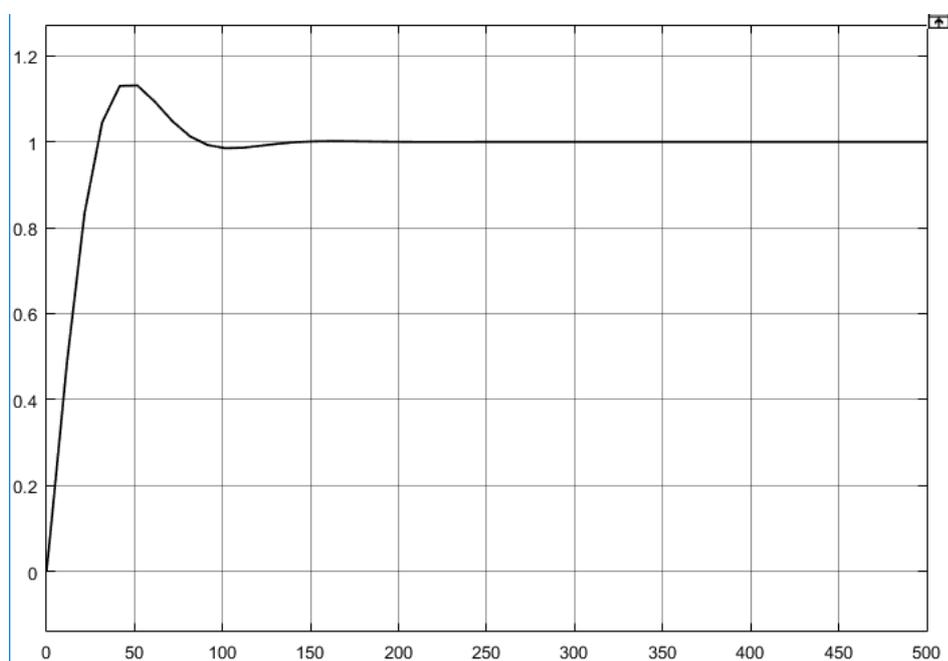


Рисунок 2.11 – Переходная характеристика с ПИ регулятором

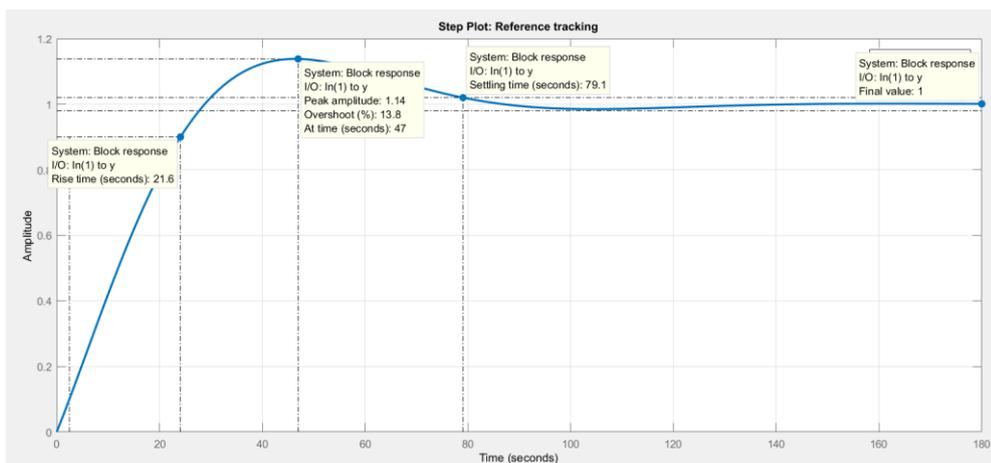


Рисунок 2.12 – Оценки качества системы с PI регулятором

На рисунке 2.11 представлена переходная характеристика с PI регулятором, а также приведены на рисунке 2.12 показаны оценки качества.

Таблица 2.2 - Оценки качества с PI регулятором

№	Оценка качества	Система с регулятором
1	Время регулирования	$T_{set} = 79,1c$
2	Время нарастания	$T_r = 21,6c$
3	Установившееся значение	$x = 1$
4	Перерегулирование	$P_{oy} = 13,8$
5	Время достижения первого максимума	$T_p = 47c$

В таблице 2.2 представлены оценки качества системы с использованием PI регулятора.

Исходя из данных таблицы 2.2 сделан вывод о том, что PI регулятор значительно уменьшил время регулирования и время нарастания. Но главное удалось избавиться от ошибки системы и переходной процесс достиг установившегося значения в единицу.

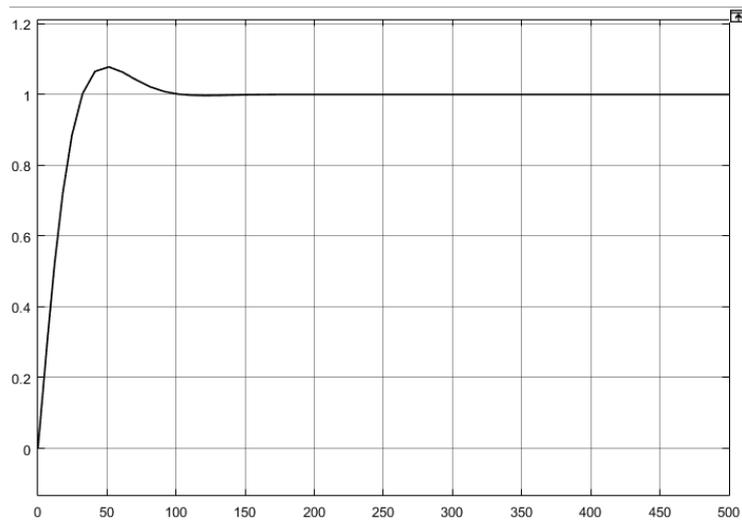


Рисунок 2.13 – Переходная характеристика с PID регулятором

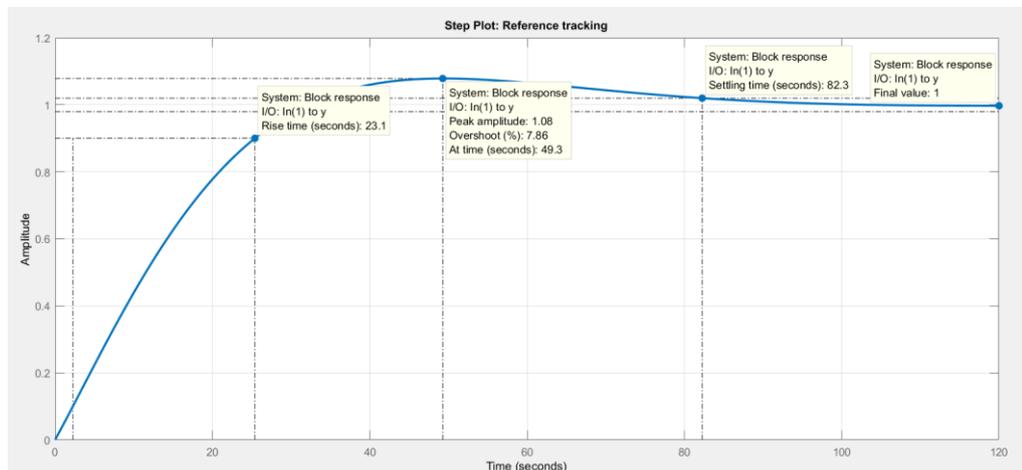


Рисунок 2.14 – Оценки качества системы с PID регулятором

Таблица 2.3 – Оценки качества с PID регулятором

№	Оценка качества	Система с регулятором
1	Время регулирования	$T_{set} = 82,3c$
2	Время нарастания	$T_r = 23,1c$
3	Установившееся значение	$x = 1$
4	Перерегулирование	$P_{oy} = 13,8$
5	Время достижения первого максимума	$T_p = 49,3c$

В таблице 2.3 представлены оценки качества системы с PID регулятором

На рисунке 2.15 – представлена общая математическая идентифицированная модель в Simulink систем без регулятора, с регулятором P, с регулятором PI и регулятором PID

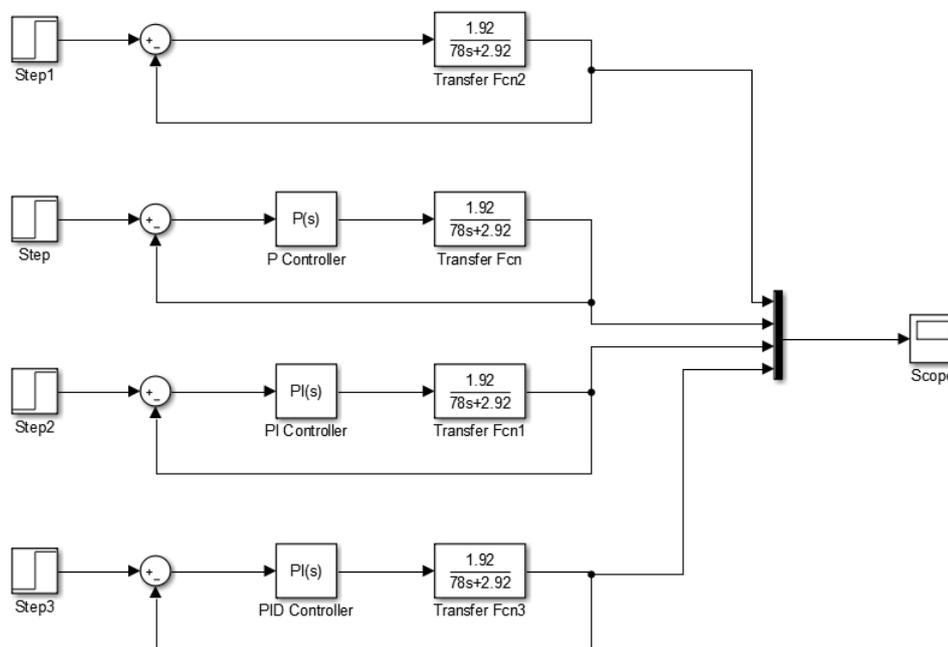


Рисунок 2.16 – Общая математическая идентифицированная модель в Simulink

На рисунке 2.17 представлен график переходных характеристик систем без регулятора показана красным цветом, с P регулятором синим цветом, и PID регулятором показана зеленым цветом

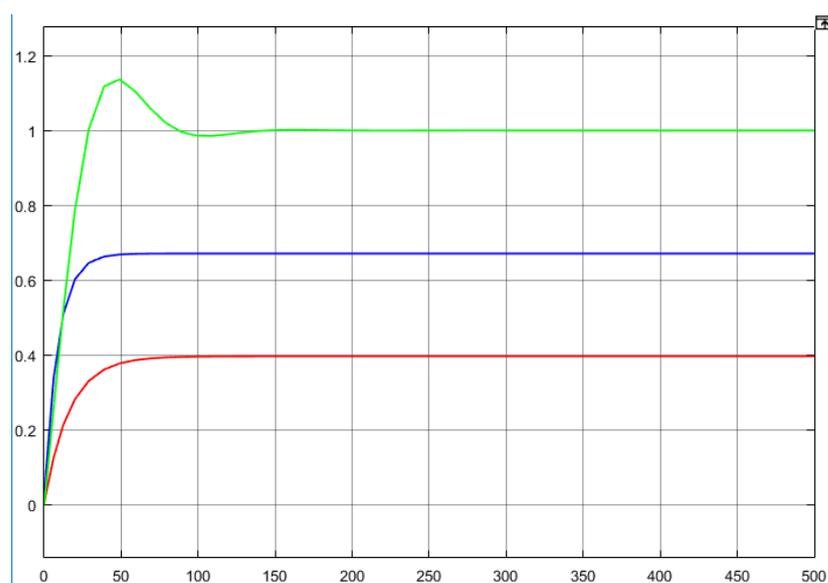


Рисунок 2.17 – Общая переходная характеристика системы

3 Диагностика энергетических котлов

Для автоматизированной диагностики энергетических котлов необходимо работать с огромным количеством данных. На рисунке 3.1 показана таблица входных и выходных параметров для энергетического котла за первый месяц.

Дата	Температура				Расход					Время ч.	Гкал.		Ночн. пр. м3/ч.	Макс. подп. м3/ч.
	Нар. вод.	Исх. во	Пр. с. в.	Обр. с. в.	Пр. сег. в. м3/ч.	Подп. в. м.	Подп. в. м3/с.	Подп. с нар.	Обр. с. в. м3/ч.		Сут.	Нар.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-17,3	13	88	63	4602	303	7264	7264	4299	24	3124	3124	230	340
2	-18	13	88	63	4594	307	7380	14644	4287	24	3125	6249	220	370
3	-16,8	13	89	63	4605	284	6812	21456	4321	24	3214	9463	210	330
4	-14,4	13	88	63	4602	291	6979	28435	4311	24	3110	12573	210	340
5	-16,0	13	87	63	4608	295	7088	35523	4313	24	3009	15582	220	340
6	-18,5	13	87	62	4575	410	9834	45357	4165	24	3227	18809	220	640
7	-14,8	13	89	64	4602	305	7315	52672	4297	24	3134	21943	240	350
8	-8,3	13	83	61	4612	324	7774	60446	4288	24	2808	24751	250	380
9	-10,0	13	74	55	4614	353	8480	68926	4261	24	2460	27211	250	450
10	-17,5	13	85	60	4616	303	7269	76195	4313	24	3111	30322	230	360
11	-19,0	13	88	63	4616	302	7250	83445	4314	24	3132	33454	230	350
12	-14,3	13	88	63	4614	309	7426	90871	4305	24	3140	36594	230	360
13	-14,4	13	88	63	4618	309	7417	98288	4309	24	3142	39735	230	360
14	-10	13	75	57	4606	335	8044	106332	4271	24	2344	42079	260	390
15	-9,5	13	71	53	4486	328	7882	114214	4158	24	2253	44332	250	370
16	-12	13	73	53	4484	358	8587	122801	4126	24	2496	46828	260	470
17	-10,8	13	86	61	4472	317	7616	130417	4155	24	3049	49877	230	360
18	-1,5	13	78	59	4472	323	7757	138174	4149	24	2396	52273	240	370
19	3	13	67	52	4495	332	7962	146136	4164	24	1929	54202	240	400
20	2,4	13	66	50	4494	336	8069	154205	4158	24	2024	56226	250	400
21	-0,7	13	68	52	4491	328	7882	162087	4163	24	2032	58258	250	450
22	4,5	13	73	54	4490	317	7614	169701	4173	24	2360	60618	230	370
23	0,1	13	73	55	4495	328	7862	177563	4168	24	2272	62890	220	430
24	-12,5	13	76	56	4471	312	7485	185048	4159	24	2468	65358	240	370
25	-14,7	13	87	61	4463	294	7066	192114	4168	24	3124	68482	210	330
26	-13,8	13	87	63	4470	290	6966	199081	4180	24	2923	71405	220	340
27	-10,5	13	86	62	4466	297	7138	206218	4168	24	2922	74327	240	340
28	-4,8	13	75	56	4471,6	304	7298	213516	4168	24	2353	76680	220	350
	-10,4	13	81	59	4543	318				672			233	383

Рисунок 3.1 – Таблица данных за февраль

Исходя из рисунка 3.1, для выбранного объекта управления будем рассматривать в качестве входного сигнала температуру в котле, а в качестве выходного сигнала рассмотрим калорийность.

Для выбранного объекта управления с выбранными параметрами построим математическую модель и получим графики за февраль месяц. Математическая модель получена методом идентификации данных за февраль.

Процесс идентификации показан на рисунке 3.1

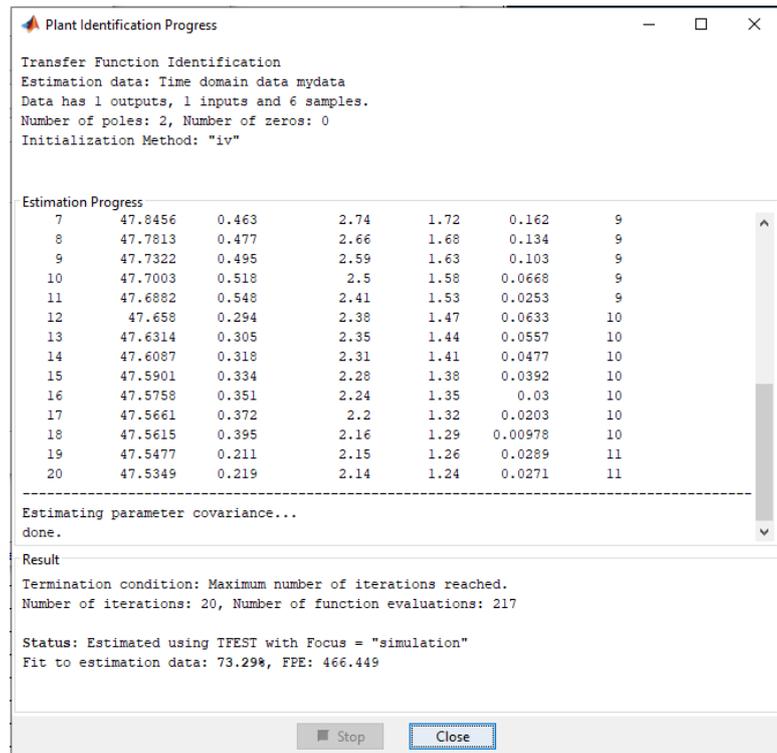


Рисунок 3.2 – Процесс идентификации данных

Как видно из рисунка 3.2, процесс идентификации прошел успешно. На рисунке 3.3 показано главное окно среды идентификации данных

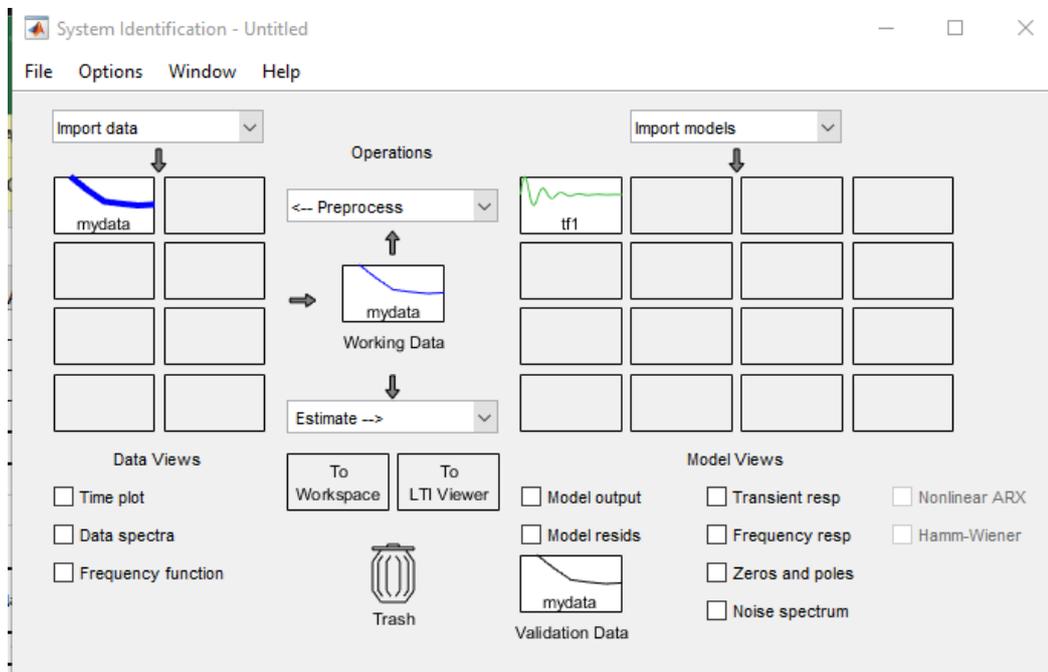


Рисунок 3.3 – Идентификация данных

Как показано на рисунке 3.3, для отображения математической модели необходимо перейти во вкладку Estimate to – Transfer function.

На рисунке 3.4 показана полученная математическая модель.

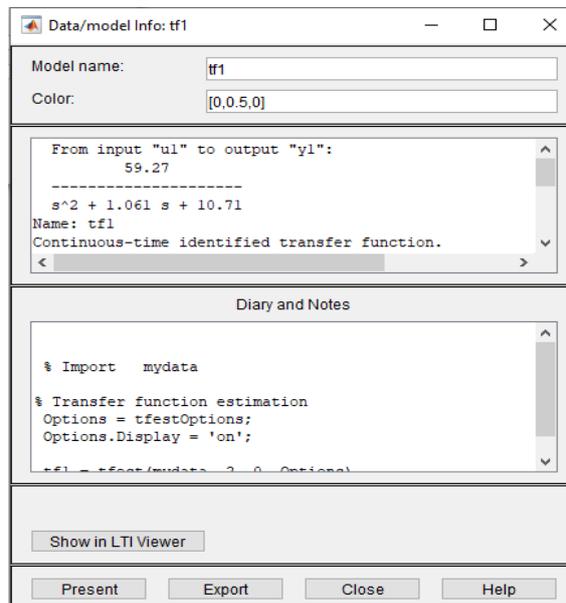


Рисунок 3.4 – Полученная математическая модель

Как видно из рисунка 3.4, для получения графиков переходного процесса, необходимо кликнуть на кнопку Show in LTI Viewer. Полученный график показан на рисунке 3.5.

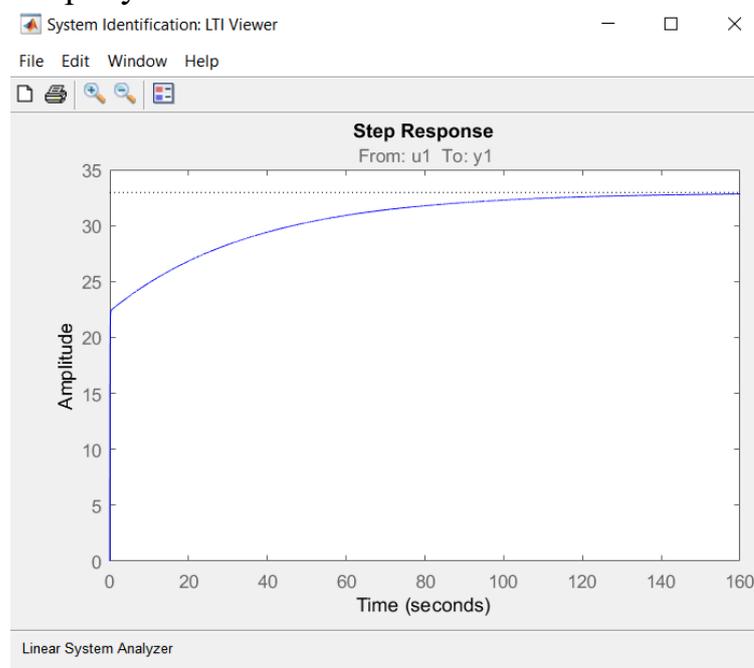


Рисунок 3.5 – График полученной математической модели

На рисунке 3.6 показана таблица входных и выходных параметров за второй месяц.

Дата	Температура				Расход					Время ч.	Гкал.		Ночн. пр. м3/ч.	Макс. подл. м3/ч.
	Нар. возд.	Иск. вод.	Пр. с. в.	Обр. с. в.	Пр. сет. в. м3/	Подл. в. м	Подл. в. м3/с.	Подл. с нар.	Обр. с. в. м3/ч.		Сут.	Нар.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-2,1	13	63,3	49,4	4690	340	8150,88	8151	4350	24	1861	1861	210	460
2	-3,1	13	62,4	49,7	4684	311	7467,66	15619	4373	24	1702	3563	210	400
3	0,6	13	64,2	50	4684	309	7417,75	23036	4375	24	1871	5434	200	390
4	3,5	13	63,8	49,9	4675	309	7410,07	30446	4366	24	1833	7267	200	400
5	5,5	13	63	49,8	4661	302	7253,26	37700	4359	24	1744	9010	180	390
6	4,7	13	62,1	49,2	4633	306	7346,87	45046	4327	24	1700	10711	180	380
7	1,7	13	63,3	49,4	4606	311	7456,64	52503	4295	24	1808	12519	210	370
8	1,6	13	63,1	49,4	4591	297	7125,42	59629	4294	24	1769	14288	180	390
9	2,0	13	62,3	49,0	4598	321	7711,52	67340	4277	24	1745	16033	190	430
10	3,6	13	63,2	49,7	4592	295	7069,78	74410	4297	24	1747	17780	190	370
11	-0,3	13	62,9	49,4	4590	300	7189,23	81599	4290	24	1749	19529	180	400
12	-1,2	13	62,6	48,9	4602	300	7201,41	88800	4302	24	1772	21301	200	370
13	-1,8	13	62,9	49,1	4585	294	7051,44	95852	4291	24	1773	23074	190	360
14	1,1	13	63,3	49,6	4585	297	7138,3	102990	4288	24	1769	24843	190	370
15	1,6	13	62,5	49,1	4597	326	7824,24	110814	4271	24	1761	26603	190	460
16	3,0	13	63,2	49,5	4599	297	7134,75	117949	4302	24	1773	28376	180	390
17	3,0	13	63	49,4	4599	296	7097,674	125047	4303	24	1759	30135	190	380
18	1,8	13	62,8	49,4	4593	295	7086,1	132133	4298	24	1735	31870	200	390
19	4,2	13	62,1	49,1	4584	299	7182,46	139315	4285	24	1689	33560	180	380
20	7,3	13	62,5	49,4	4582	298	7155,3	146471	4284	24	1701	35261	200	360
21	7,8	13	62,3	49,4	4583	296	7097,44	153568	4287	24	1677	36938	180	350
22	11,2	13	62,2	49,9	4573	284	6814,71	160383	4289	24	1604	38543	170	360
23	16,4	13	61,9	49,9	4573	281	6736,9	167120	4292	24	1562	40105	190	340
24	12,9	13	61,0	49,7	4562	279	6685,97	173806	4283	24	1481	41586	160	340
25	8,3	13	61,3	49,3	4558	282	6769,64	180575	4276	24	1558	43144	150	370
26	7,3	13	61,9	49,8	4531	275	6606,83	187182	4256	24	1559	44703	180	360
27	7,6	13	62,9	50,2	4509	268	6432,76	193615	4241	24	1614	46317	180	360
28	9	13	62,1	49,8	4506	274	6564,55	200180	4232	24	1572	47889	150	330
29	5	13	62,3	49,7	4510	285	6844,13	207024	4225	24	1615	49504	150	400
30	-6,3	13	65,3	50,3	4510	273	6555,77	213579	4237	24	1868	51372	170	330
31	-5,6	13	68,8	52,4	4504	283	6782,85	220362	4221	24	2040	53412	180	380
	3,6	13,0	62,9	49,6	4588,7	296,2				744			184	379

Рисунок 3.6 – Таблица данных за март

Для выбранного объекта управления с выбранными параметрами построим математическую модель и получим графики за март месяц. Математическая модель получена методом идентификации данных за февраль.

Процесс идентификации показан на рисунке 3.7

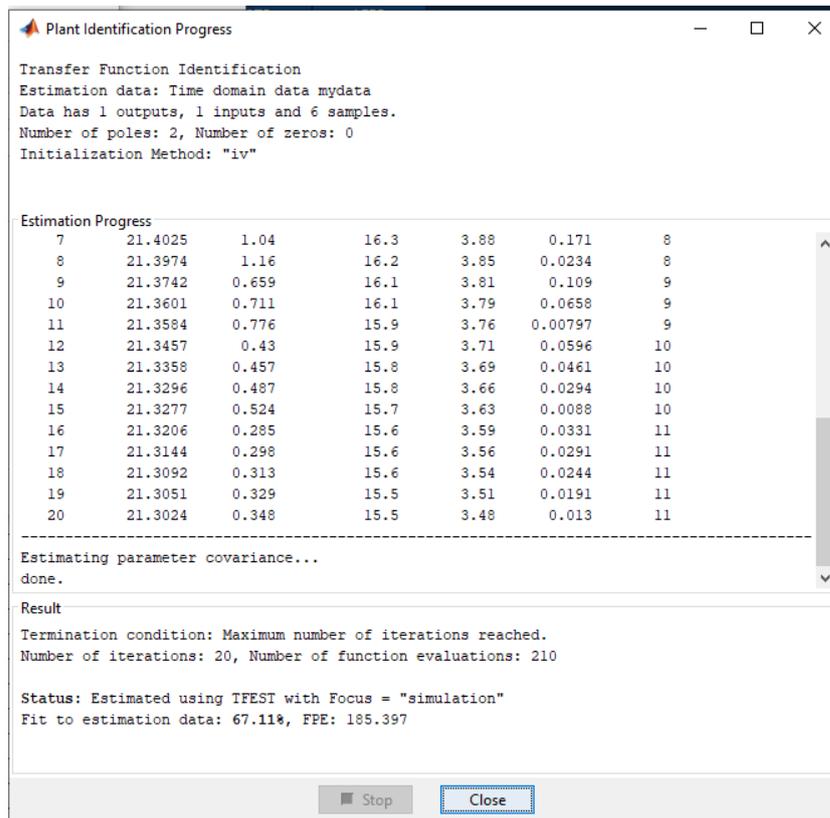


Рисунок 3.7 – Процесс идентификации данных

Как видно из рисунка 3.7, процесс идентификации прошел успешно. На рисунке 3.8 показано главное окно среды идентификации данных

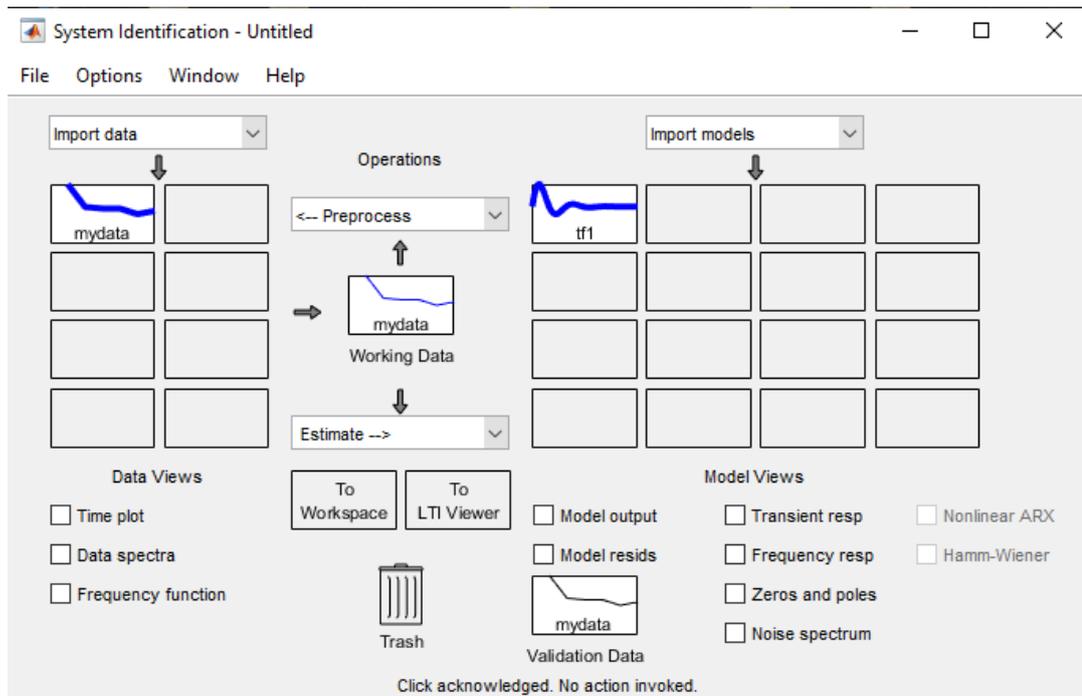


Рисунок 3.8 – Идентификация данных

На рисунке 3.9 показана полученная математическая модель.

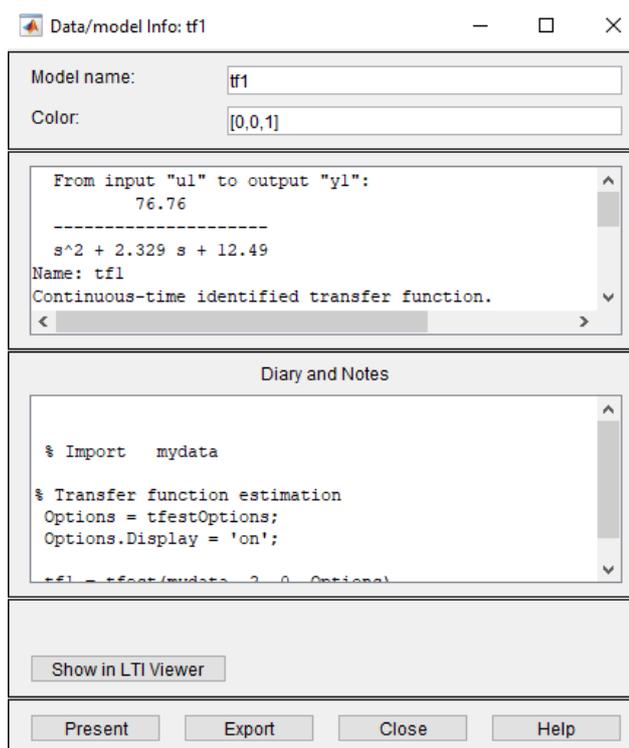


Рисунок 3.9 – полученная математическая модель

Полученный график показан на рисунке 3.10.

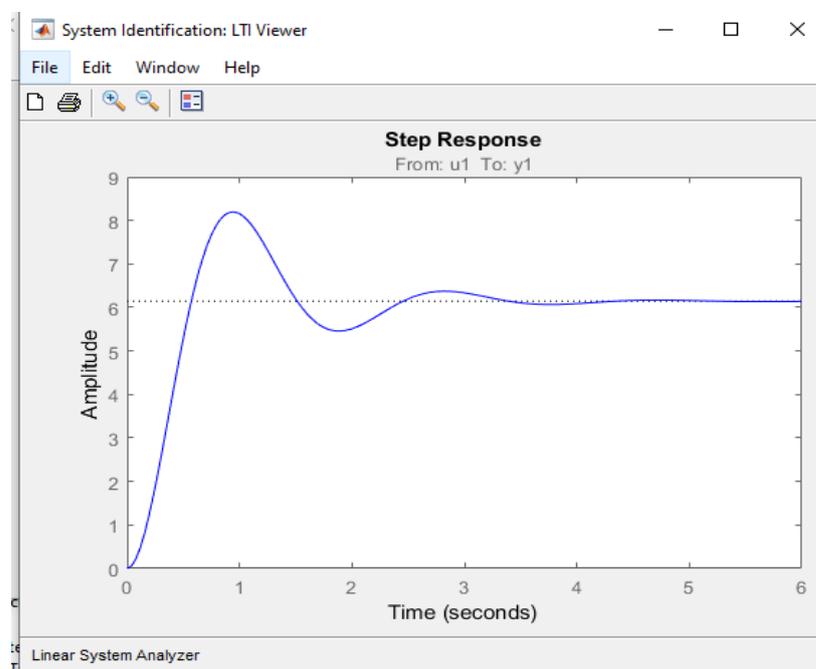


Рисунок 3.10 – График полученной математической модели

На рисунке 3.11 показана таблица входных и выходных параметров за третий месяц.

Дата	Температура					Расход					Время ч.	Гкал.			Ночн.пр. м3/ч.	Макс.подп. м3/ч.
	Нар.возд.	Иск.во	Пр.с.в.	Обр.с.в.	Пр.сег.в.м3/ч	Подл.в.м3/ч	Подл.в.м3/с.	Подл.с нар.	Обр.с.в.м3/ч.	Сут.		Нар.	13			
1	-17,3	13	88	63	4602	303	7264	7264	4299	24	3124	3124	230	340		
2	-18	13	88	63	4594	307	7380	14644	4287	24	3125	6249	220	370		
3	-16,8	13	89	63	4605	284	6812	21456	4321	24	3214	9463	210	330		
4	-14,4	13	88	63	4602	291	6979	28435	4311	24	3110	12573	210	340		
5	-16,0	13	87	63	4608	295	7088	35523	4313	24	3009	15582	220	340		
6	-18,5	13	87	62	4575	410	9834	45357	4165	24	3227	18809	220	640		
7	-14,8	13	89	64	4602	305	7315	52672	4297	24	3134	21943	240	350		
8	-8,3	13	83	61	4612	324	7774	60446	4288	24	2808	24751	250	380		
9	-10,0	13	74	55	4614	353	8480	68926	4261	24	2460	27211	250	450		
10	-17,5	13	85	60	4616	303	7269	76195	4313	24	3111	30322	230	360		
11	-19,0	13	88	63	4616	302	7250	83445	4314	24	3132	33454	230	350		
12	-14,3	13	88	63	4614	309	7426	90871	4305	24	3140	36594	230	360		
13	-14,4	13	88	63	4618	309	7417	98288	4309	24	3142	39735	230	360		
14	-10	13	75	57	4606	335	8044	106332	4271	24	2344	42079	260	390		
15	-9,5	13	71	53	4486	328	7882	114214	4158	24	2253	44332	250	370		
16	-12	13	73	53	4484	358	8587	122801	4126	24	2496	46828	260	470		
17	-10,8	13	86	61	4472	317	7616	130417	4155	24	3049	49877	230	360		
18	-1,5	13	78	59	4472	323	7757	138174	4149	24	2396	52273	240	370		
19	3	13	67	52	4495	332	7962	146136	4164	24	1929	54202	240	400		
20	2,4	13	66	50	4494	336	8069	154205	4158	24	2024	56226	250	400		
21	-0,7	13	68	52	4491	328	7882	162087	4163	24	2032	58258	250	450		
22	4,5	13	73	54	4490	317	7614	169701	4173	24	2360	60618	230	370		
23	0,1	13	73	55	4495	328	7862	177563	4168	24	2272	62890	220	430		
24	-12,5	13	76	56	4471	312	7485	185048	4159	24	2468	65358	240	370		
25	-14,7	13	87	61	4463	294	7066	192114	4168	24	3124	68482	210	330		
26	-13,8	13	87	63	4470	290	6966	199081	4180	24	2923	71405	220	340		
27	-10,5	13	86	62	4466	297	7138	206218	4168	24	2922	74327	240	340		
28	-4,8	13	75	56	4471,6	304	7298	213516	4168	24	2353	76680	220	350		
	-10,4	13	81	59	4543	318					672		233	383		

Рисунок 3.11 – Таблица данных за апрель

Для выбранного объекта управления с выбранными параметрами построим математическую модель и получим графики за апрель месяц. Процесс идентификации показан на рисунке 3.12

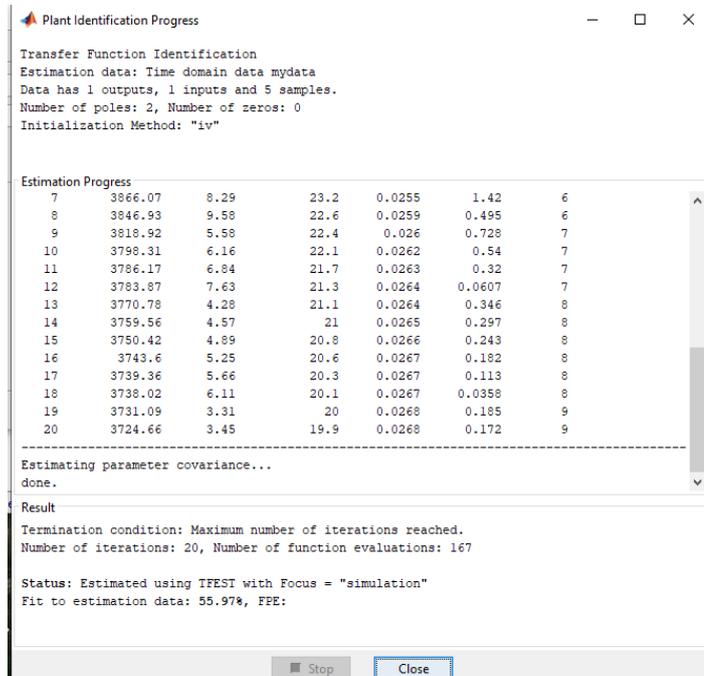


Рисунок 3.12 – Процесс идентификации данных

Как видно из рисунка 3.12, процесс идентификации прошел успешно. На рисунке 3.13 показано главное окно среды идентификации данных

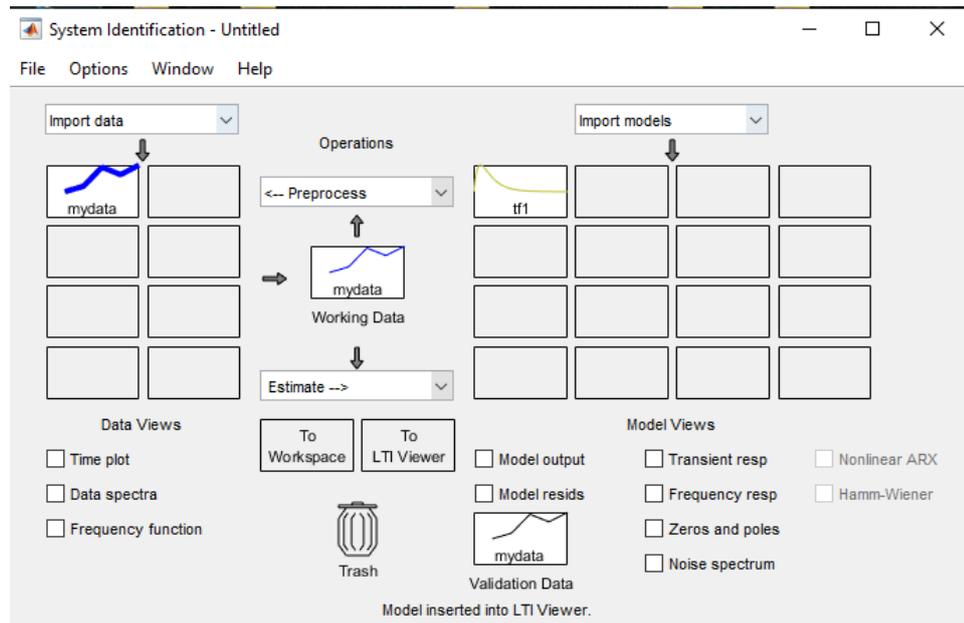


Рисунок 3.13 – Идентификация данных

На рисунке 3.14 показана полученная математическая модель.

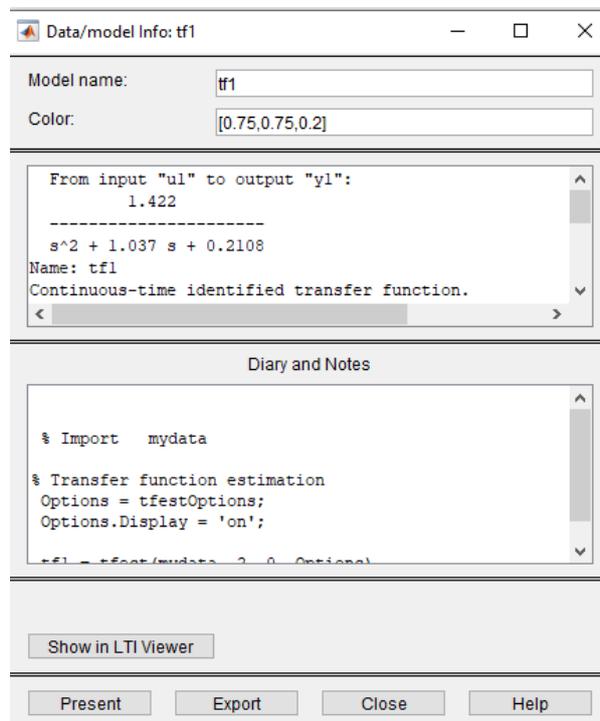


Рисунок 3.14 – Полученная математическая модель

Полученный график показан на рисунке 3.15.

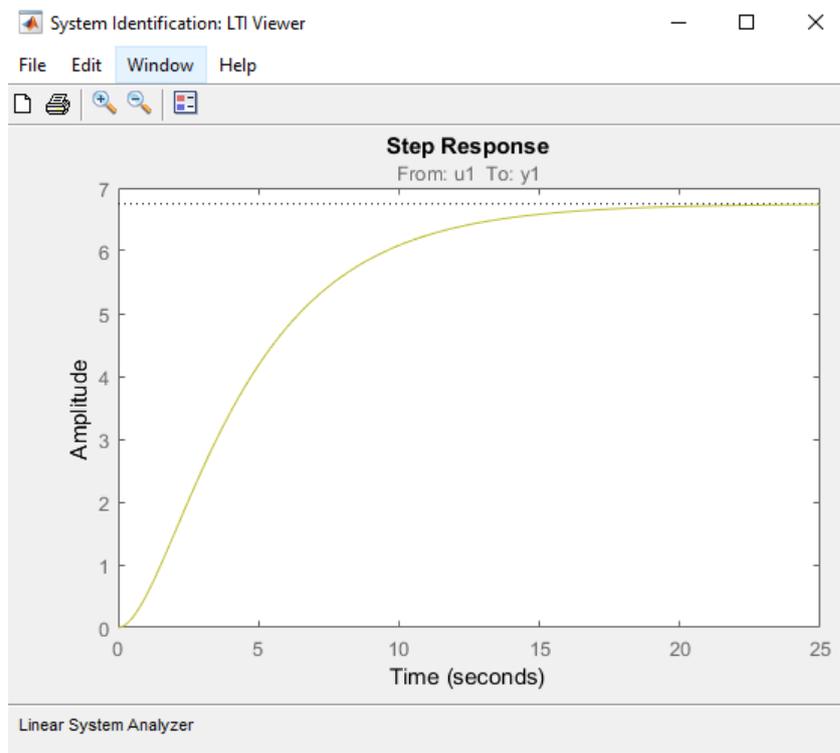


Рисунок 3.15 – График полученной математической модели

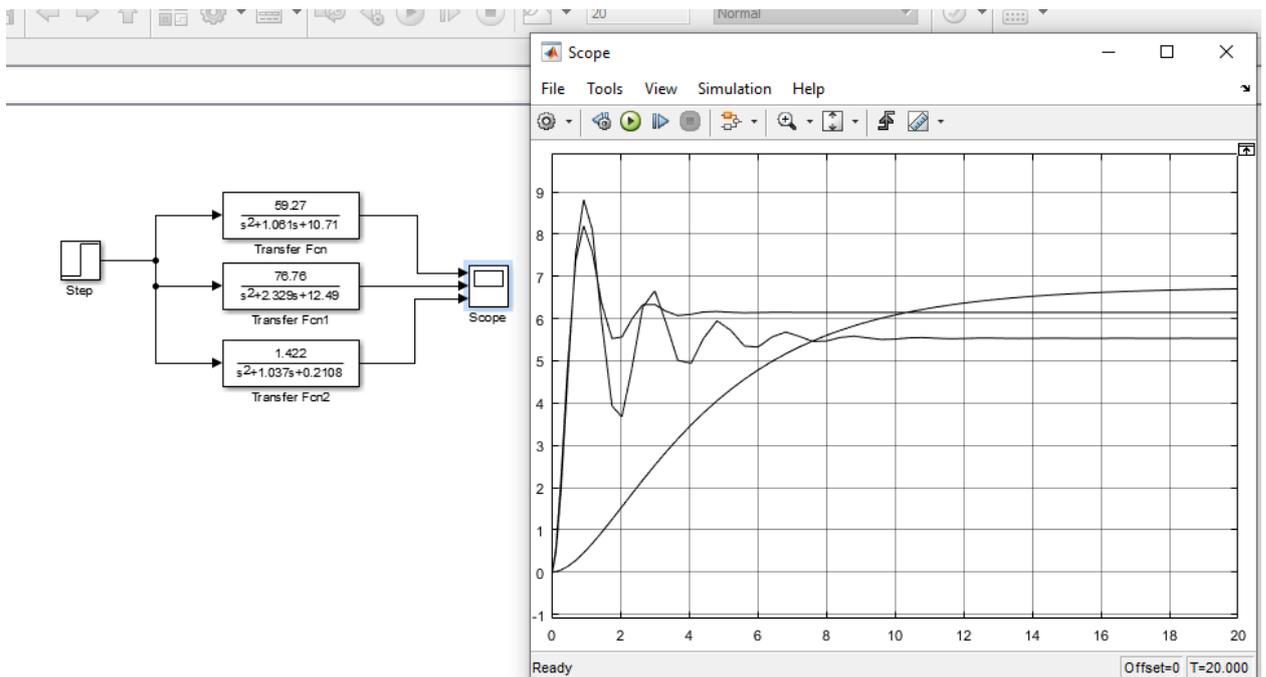


Рисунок 3.16 – Сравнение полученных математических моделей

На рисунке 3.16 показано сравнение всех полученных математических моделей. Как видно, все они приходят примерно к одному и тому же значению за примерно одинаковое время. Колебательность процессов связана с разницей

между входными параметрами для трех разных месяцев и получившейся из-за этого разницей в адекватности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе был рассмотрен технологический процесс установки энергетического котла. Проведен обзор на классификацию энергетических котлов. Был выбран барабанный энергетический котел в качестве объекта управления. Были рассмотрены методы и средства технической диагностики энергетических котлов. Были выбраны средства защиты энергетических котлов. На основе существующих структурных схем и передаточных функций всех звеньев энергетического котла, была получена математическая модель объекта управления. Для полученной математической модели был произведен анализ переходного процесса, получены прямые и косвенные оценки качества. Система без регулятора не приходила к заданному значению. Для улучшения технологического процесса был построен ПИД-регулятор. В качестве оценки влияния ПИД-регулятора на системы также был построен П-регулятор и ПИ-регулятор. Система с ПИД-регулятором, по сравнению с системами П-регулятором и ПИ-регулятором, приходит к установившемуся значению, сделав систему точной. При этом система с ПИД-регулятором также превосходит систему с П-регулятором и ПИ-регулятором в быстродействии. В качестве примера диагностики энергетических котлов, с помощью базы данных за длительный период времени была построена математическая модель методом идентификации данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бесекерский В.А., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. -320с
- 2 Воронов А.А. Теория автоматического управления. Часть 1. - Москва: Высшая школа, 1986. – 367 с
- 3 Воронов А. А. Теория автоматического управления. Часть 2. - Москва: Высшая школа, 1986. – 367 с
- 4 S.Kalaivani, M.Jagadeeswari, “PLC & SCADA Based Effective Boiler Automation System for Thermal Power Plant,” (IJARCET), Vol. 4, Issue 4, 2015
- 5 T.Karuppiah, Sivasankaran V, Azha , Periasamy, Muruganand S, “Embedded System Based Industrial Power Plant Boiler Automation Using GSM Technology,” IJARCCE , Vol. 2, Issue 8, 2013
- 6 Shital S. Chopade, Pradhuman Verma, Prashant Verma, “Simulation of Boiler Control using PLC & SCADA,” (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Vol. 3, Issue-3, December 2013
- 7 Беликов С., Котлер В. Котлы тепловых электростанций и защита атмосферы, 2017. -428 с
- 8 Тарасюк В.М. Эксплуатация котлов. Практическое пособие для оператора котельной, 2010. -273 с
- 9 Хуторной А. Котельные установки, 2018, -221 с
- 10 Зыков А.К. Паровые и водогрейные, 1987. -129 с
- 11 M. Abdelaziz, L. Rafael, and J. J. Xiao, ESP Data Analytics: Predicting Failures for Improved Production Performance // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. – Abu Dhabi, UAE. – 2017.
- 12 Jose-Raul Ruiz-Sarmiento A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of industry // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – Spain. – 2020.
- 13 Розин В.Е., Коган Л.Б. Автоматизация технологических процессов. – Л.: Химия, 1982. – 235 с

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломный проект
Самат Турсун Сайранулы

5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов»

- а) графическая часть на 15 листах;
- б) пояснительная записка на 43 страницах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Перед дипломантом ставилась задача разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов.

В первом разделе данного дипломного проекта рассматривается принцип работы энергетических котлов, классификация энергетических котлов, методы и средства диагностики, рассмотрен выбор средств защиты. В качестве объекта управления был выбран барабанный энергетический котел, являющийся самым распространенным видом энергетических котлов

Во второй части дипломного проекта была построена математическая модель объекта управления, при полученной структурной схеме и передаточной функции. Были получены графики переходного процесса объекта управления, был произведен анализ динамических свойств математической модели, произведена проверка на устойчивость системы, высчитывание предельных параметров системы, получение прямых и косвенных оценок качеств переходного процесса системы. На основе полученных результатов была произведена постановка задачи и построен ПИД-регулятор для улучшения показателей системы

В третьей части проекта рассматривается пример для диагностики энергетических котлов. В качестве исходной модели использовали таблицу данных за большой период с производства, и методом идентификации данных были построены математические модели за определенные периоды. На основе полученных графиков производится диагностика энергетических котлов.

Графический и текстовый материал оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ, предъявляемыми к оформлению учебных работ.

В пояснительной записке дипломного проекта отсутствует визуализация на SCADA. Однако эти замечания не снижают актуальность дипломного проекта.

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки «отлично», а студент Самат Турсун присуждения академической степени бакалавра по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление.

Рецензент

Магистр техники и технологии по специальности РЭТ

Сихимбаев Асхат Саматович

«» 2022 г.

Ф КазНУТУ 706-17. Рецензия



ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломный проект

(наименование вида работы)

Самат Турсун Сайранулы

(Ф.И.О. обучающегося)

5B070200 - «Автоматизация и управление»

(шифр и наименование специальности)

Тема: «Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов»

Техническое диагностирование паровых и водогрейных котлов — обследование, которое проводят чтобы определить состояние котлов, выявить в них дефекты и получить информацию об их остаточном ресурсе. Своевременное диагностирование помогает обеспечить безопасность эксплуатации оборудования и продлить срок его работы. Основная задача прогнозирование, на основании анализа результатов технического диагностирования и прочностных расчетов, возможности, предельных рабочих параметров, условий и сроков дальнейшей эксплуатации котла

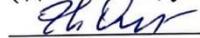
За время разработки дипломного проекта Самат Турсун показал себя очень профессионально, проявил большой интерес и самостоятельность. Разработал систему диагностики с помощью параметрической идентификации.

Дипломный проект Самата Турсуна соответствует требованиям и имеет практическую значимость, а Турсун заслуживает оценки «отлично» и степень бакалавра по специальности «5B070200-Автоматизация и управление»

Научный руководитель

Ассистент-профессор, PhD

(должность, уч. степень, звание)



Омирбекова Ж.Ж.

(подпись)

« 16 » 05 . 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Самат Турсын

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов

Научный руководитель: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 5.9

Коэффициент Подобия 2: 1.7

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 25

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 16.05.2022

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Самат Турсын

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной диагностики энергетических котлов

Научный руководитель: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 5.9

Коэффициент Подобия 2: 1.7

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 25

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 6.05.2022

проверяющий эксперт