

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

Алмашова Нуриля Қазбекқызы

Разработка интеллектуальной системы управления энергетическими
объектами ТЭЦ

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление

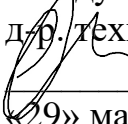
Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
д.р. техн. наук, профессор
 Сулейменов Б.А.
«29» мая 2020 г.

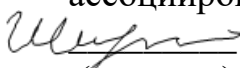
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка интеллектуальной системы управления энергетическими объектами ТЭЦ»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Алмашова Н.Қ

Научный руководитель
канд.техн.наук,
ассоциированный профессор
 Ширяева О. И.
(подпись)
20 мая 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

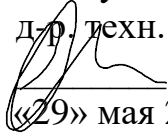
Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизации и управления

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ

д-р техн. наук, профессор

 Сулейменов Б.А.

«29» мая 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Алмашова Н.К.

Тема: «Разработка интеллектуальной системы управления энергетическими объектами ТЭЦ».

Утвержден приказом ректора Университета № 762-б от «27» января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы: «5» мая 2020 г.

Исходные данные дипломной работы: техническая документация к оборудованию барабанного котла БКЗ-420-140, математическая модель барабанного котла.

Перечень подлежащих разработке в дипломной работе вопросов или краткое содержание дипломной работы: а) описать анализ существующих схем автоматического регулирования барабанных котлов; б) разработать функциональную схему автоматизаций различных трактов котла; в) произвести обзор и выбор технических средств автоматики для регулирования процессами котла; г) разработать интеллектуальную систему управления.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): принцип работы барабанного парового котла в виде слайдов; функциональные схемы автоматизации различных трактов котла; различные алгоритмы управления режимов работы котла.


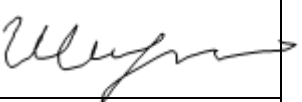

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по автоматизации технологических процессов и математическому моделированию барабанного котла из 10 наименований.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	1 марта 2020 г.	
Специальный раздел	28 апреля 2020 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И.	20.05.2020	
Специальный раздел	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И.	20.05.2020	
Нормоконтролер	канд.техн.наук, ассистент профессор Сарсенбаев Н.С.	29.05.2020	

Научный руководитель  Ширяева О.И.

Задание принял к исполнению обучающийся  Алмашова Н.К.

Дата

"27" января 2020 г.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс ЖЭО энергетикалық объектілерін басқарудың зияткерлік жүйесін әзірлеуге арналған. Жұмыс барысында басқару объектісі ретінде дағаралы қазандық қарастырылды, оның автоматтандырылған функционалдық сұлбасы, реттеудің технологиялық процестерінің математикалық моделдері, қысым, үздіксіз үрлеу, жанудың үнемділігінің АРЖ жасалды, кернеу, отынның жануының сапасы мен үнемділігі құрылды, технологиялық процестерді реттеу және дағаралы қазандықты басқару алгоритмі жасалды.

Дипломдық жұмысты орындау барысында дағаралы қазандықтың технологиялық процесінің ерекшеліктері зерттелді, сонымен қатар қазандықты автоматты басқарудың түрлі әдістері қарастырылды.

Екінші бөлімде есептелген математикалық модельге талдау жүргізіледі. Басқару жүйесінің тұрақтылығы, тұрақтылық қоры және сапасын бағалау, сондай-ақ зияткерлік жүйе реттеуішінің синтезі анықталды. Шекті коэффициентті табу бактериялардың қозғалысын модельдеу негізінде онтайландыру әдісімен жүргізілді.

Matlab ортасында кеңістіктегі математикалық модельдің бастапқы түрінде және реттеуішпен моделдеуінің нәтижелері алынды.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа предназначена для разработки интеллектуальной системы управления энергетическими объектами ТЭЦ. В работе рассмотрен барабанный котлоагрегат в качестве объекта управления, создана функциональная схема автоматизации барабанного котла, математическая модель технологических процессов регулирования, САР - давления, непрерывной продувки, разряжения, качества и экономичности горения топлива, составлен алгоритм регулирования технологических процессов и управления барабанным котлом.

В процессе выполнения дипломной работы будут изучены особенности технологического процесса барабанного котла, а также рассмотрены различные методы автоматического управления котлом.

Во втором разделе идет анализ рассчитанной математической модели. Определены устойчивость, запасы устойчивости и оценки качества системы управления, а также синтез регулятора интеллектуальной системы. Нахождение предельного коэффициента производится методом оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий.

В среде Matlab были получены результаты моделирования математической модели в пространстве в исходном виде и с регулятором.

ABSTRACT

Diploma work is intended for the development of an intelligent control system for power facilities of CHPP. The paper considers a drum boiler as a control object, creates a functional scheme for automation of the drum boiler, a mathematical model of technological processes of regulation, ACS of pressure, continuous purging, discharge, quality and combustion efficiency were developed, and an algorithm for regulating technological processes and the drum boiler control were built.

In the course of completing the thesis, the features of the drum boiler technological process will be studied, as well as various methods of automatic boiler control will be considered.

The second section is the analysis of the calculated mathematical model. The stability, stability reserves and quality assessments of the control system, as well as the synthesis of the intelligent system controller are determined. Finding the limit coefficient is performed by optimization method based on modeling the movement of bacteria.

In the Matlab environment, the results of modeling a mathematical model in space were obtained in the original form and with a regulator.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Технологическая часть	10
1.1	Описание системы управления промышленных котлоагрегатов	10
1.2	Система автоматического регулирования барабанных котлов	13
1.3	Барабанный котел как объект управления	17
1.4	Разработка функциональной схемы автоматизации и обоснование выбора средств автоматики	19
1.5	Определение передаточных функций по каналам управления	23
1.6	Составление алгоритмов управления барабанного котла	25
2	Расчетная часть	29
2.1	Интеллектуальная система управления	29
2.2	Разработка системы автоматического регулирования	34
2.3	Анализ разомкнутой и замкнутой систем управления	39
2.4	Синтез интеллектуальной системы управления на основе перемещения бактерий	43
	Заключение	51
	Список принятых сокращений	52
	Список литературы	54
	Приложение А	
	Приложение Б	
	Приложение В	
	Приложение Г	

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуально использование автоматизации технологических процессов. В наше время основной проблемой или задачей автоматизации является улучшение производительности объекта управления, необходимость быстрого регулирования различными процессами автоматики, обработка необходимой информации и возможность её отправки на предприятие. Из этого следует, что разработка автоматической системы технологического процесса является трудоёмкой и в то же время важной работой автоматизации.

Без автоматизации не обошёлся и Казахстан автоматизация играет важную роль для дальнейшего развития нашей страны. Автоматизация барабанного парового котла является сложной задачей, так как технологических процессов в нём очень много и логика регулирования их не так проста.

Барабанный котёл как объект регулирования является сложной динамической системой со многими количествами входов и выходов, связанных между собой системой. Чтобы разработать такой алгоритм управления, необходима математическая модель на основе каналов регулирования и данных, полученных с реального объекта.

В первом разделе работы будет описание системы управления промышленных котлоагрегатов, САР барабанных котлов, разработана функциональная схема автоматизации и обоснование выбора средств автоматизации.

Во втором разделе, будет исследована интеллектуальная система управления, а именно метод оптимизации на основе перемещения бактерий. Также будет произведен анализ системы управления, то есть определение устойчивости системы, будут рассчитаны запасы устойчивости и оценки качества системы, равным образом и синтез регулятора.

Новизной выбранной темы является синтез регулятора методом оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий.

Целью дипломной работы является исследование интеллектуальной системы управления методом оптимизации на основе перемещения бактерий.

В разработке алгоритмов управления технологических процессов барабанного можно выделить следующие основные задачи:

- описать анализ существующих систем автоматического регулирования барабанных котлов;
- разработать функциональную схему автоматизации различных трактов котла;
- синтезировать интеллектуальный регулятор;
- разработать математическую модель динамики котла, САР процессов регулирования, выбрать наиболее эффективный регулятор, регулирования и моделирование в среде MatLab Simulink.

1 Технологическая часть

1.1 Описание системы управления промышленных котлоагрегатов

Барабанные паровые котлы относятся к наиболее важным компонентам в системах горячего водоснабжения и отопления. Котлоагрегаты работают на множествах видах топливах таких как: газ, уголь в виде пыли, мазут, уголь в виде камня. Многие барабанные котлы, работающие на угле в виде камня и мазуте, пользуются средствами автоматики (управления и регулирования). Необходимая задача управления котлом в режимах реального времени состоит в выработке в определённый промежуток времени заданного значения пара, определяемого режимом работы оборудования (паровые турбины и другие). Организация регулирования рабочих процессов в котле зависит от схемы станции и типа котла. Если произошло нарушение баланса в выработке пара и его потребления, то давление в магистрали и барабане котлов начнет изменяться. Скорость изменения давления в барабане котла зависит от 20 глубины небаланса и величины аккумулирующей способности котла. В соответствии с изменением давления регулирующие органы котла должны восстановить давление в магистрали путем соответствующего изменения тепловыделения в топке. При падении давления надо увеличить тепловую нагрузку топки, и при его росте – уменьшить.

В данной дипломной работе будут использованы задачи регулирования: расхода пара; давления пара; уровня жидкости в барабане; разрежения в топке; излишка воздуха за пароперегревателем; содержание соли в котловой воде.

Котел – это такая многосвязная система с выходными и входными параметрами. Взаимосвязи входных и выходных параметров показаны на рисунке 1.1.

Регулирование барабанным котлом зависит от автоматических систем регулирования. Имеются регуляторы: расхода топлива, давление пара в паропроводе, подачи воздуха, перегрева пара, регуляторы питания. В случае подбора схем регуляторов используются модели с нечетким описанием исходных данных и логическим выводом [1]. Химически вода воздействует на работу котла без остановки и без ремонта. Качество воды в котле устанавливается по содержанию соли в ней. В случае, когда повышается содержание, то может произойти попадание соли в турбину затем пароперегреватель. Когда скопление фосфатов меньше нормы, то во внутренних поверхностях труб появляется накипь, из-за чего произойдет перегрев труб в местах образования накипи. Общее количество содержание соли в котловой воде держится в пределах нормы за счет непрерывной и периодической продувки из барабана в специально сделанные расширители. Во время продувки также удаляется шлам в нижних коллекторах. Для непрерывистой продувки существуют схемы постоянного регулирования.

Поддержание разницы между фосфатами в паровой нагрузке и без прерывистой продувки определяются эвристическим путем.

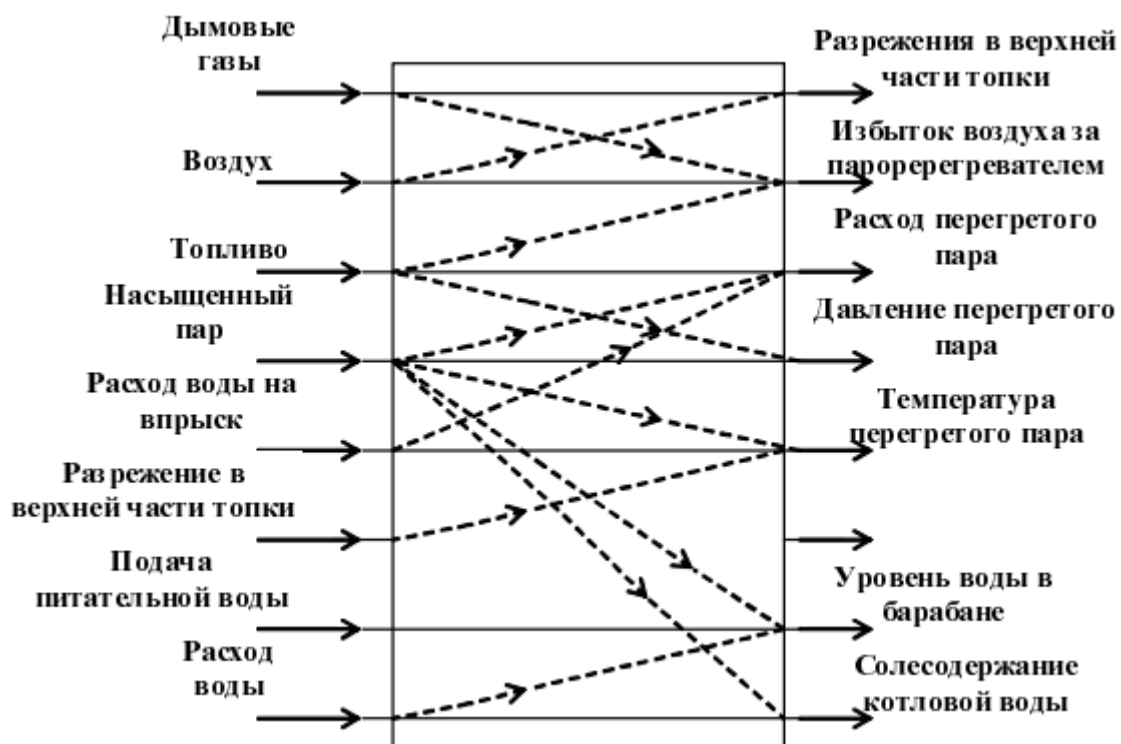


Рисунок 1.1 – Взаимосвязи входных и выходных параметров в барабанном котле

Периодическую продувку не надо автоматизировать, так как проблему о ее параметрах решает технолог – оператор и осуществляется теми, кто обходит и осматривает оборудования. Для барабанного котла более главная и сложная проблема является регулирование температуры перегрева пара, так как, на перегрев пара синхронно оказывать влияние изменения расхода питательной воды и подачи топлива. Из-за чего происходит необходимость в увеличении расхода воды и количества впрысков. Задачи алгоритмов управления технологическими процессами барабанного котла заключаются в регулировании: тепловой нагрузки; процессов горения; перегрева пара; температурного режима пароводяного тракта. Для парового котла с прямотоком имеются устройства автоматического регулирования подачи топлива и питательной воды. Регулирование содержание соли воды в котле решается на другом оборудовании, в отличие от барабанного котла. Вследствие чего, задача управления водо-химическим режимом причисляется к числу сложно – реализуемых задач, ну а то, что качество питательной воды влияет на срок работы оборудования и промежутки времени между ремонтами оборудования котла. Результативность организации водно-химического режима, в одинаковой степени и всего технологического

процесса производства тепла и электроэнергии зависит от лучшей работы математической модели, то есть, от того, как модель принимает реальность. Продолжительная эксплуатация оборудования позволяет рассчитать довольно большое число данных, в процессе обработки данных можно найти инструкции по управлению водо-химическим режимом. Тем не менее, хорошо рекомендуется подход к моделированию технологических процессов, при котором применяются правила нечеткого вывода общей структуры [5]. Этот подход даёт нам продукционную модель, которая представляет нам результат экспертного опроса технологов-операторов, дающих нам информацию, обобщающую их работу качественного характера. Подметим, что естественно наблюдать параметры водно-химическим режимом нереально. Существует добавочная (промежуточная) система S, которая последовательно соединяется с выходом системы управления водно-химическим режимом, как это представлено на рисунке 1.2, эта система осуществляет функции измерения реальных параметров, после чего передаёт замеренные данные технологу – оператору. В оценивание вектора Y и компонент вектора B, необходима дополнительная погрешность, которая определяется возмущениями Δ для системы S. Модель такой не заменимой системы S нужно учитывать. Предметом исследования данной дипломной работы не является задача для присваивания требуемой точности измерения. Естественно модель с учетом возмущений Δ имеет вид: $V=M(Y,B,\Delta)$, где $M(.)$ – оператор, перенастраивающий параметры Y, B, Δ в выходные параметры системы управления водо-химическим режимом.

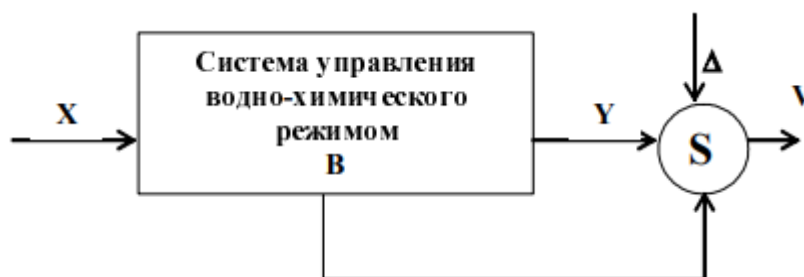


Рисунок 1.2 – Анализ выходных параметров

Разработка системы управления водо-химическим режимом относится к классу сложно реализуемых, многофакторных задач с нечеткой логикой. Модель, для начала, нужно представить, применив теоретико-техническое описание. В основу теоретико-технического описания модели водо-химическим режимом есть понятия соответствия, отображения и отношения между элементами.

1.2 Системы автоматического регулирования барабанных котлов

Существующие способы и схемы автоматического регулирования тепловой нагрузки паров и котла давления пара в трубопроводе основаны на принципах регулирования отклонения и возмущения, комбинации и определяются указанным режимом работы котла со схемой подключения паропроводов перегретого пара к турбине. Конструкционные особенности барабанных котлов разрешают поделить многомерную систему регулирования. Эти режимы можно разделить на сравнительно малые независимые системы, в которых системы оптимизации качества горения топлива имеют основное значение, стабилизации, уровня воды в барабане и температуры перегретого пара. Посмотрим САР нагрузки барабанного котла. Все возможные системы регулирования обязаны поддерживать регулируемую величину с наименьшими отклонениями от необходимого значения. Необходимая мощность на практика может быть получена путём за счёт увеличения заданного значения чувствительности регулятора к отклонениям регулируемой величины. Но что-то может пойти не так и будет колебания в циклической САР и утери устойчивости. Регулирование тепловой нагрузки, с необходимыми параметрами давление, температурой перегретого пара, служит совместному согласованию изменению расхода топлива и расхода питательной воды. В одно время с этим, температурный режим находится в зависимом состоянии от соотношения расходов воды и топлива, и изменять его с помощью различных регулируемых величин. Регулирование тепловой нагрузки главного сигнала, необходимого для нахождения фактической тепловой нагрузки котла, используют расход питательной воды и расход топлива. Схема регулирования тепловой нагрузки барабанного котла показана на рисунке 1.3. Регулирование тепловой нагрузки работает по соотношению расходов теплота – топливо. Тепловую нагрузку обеспечивают поддержкой регулятора топлива, а режим температуры поддерживает регулятор питания.

Дальше рассмотрим регулирование экономичности горения барабанного котла. Улучшение экономичности горения в топке барабанного котла выражается как важная задача, естественно связанной с минимизацией расхода топлива. Стандартным подходом к решению такой задачи является регулирование разницы «топливо-воздух» на входе котла по содержанию кислорода в дымовых газах [2]. Но всё-таки кислород не является устойчивым в процессе эксплуатации, потому что на его значение влияет многих факторов: качественного топлива, паровой нагрузки, потери теплоты с уходящими газами и другие. Регулирование тепловой нагрузки работает по соотношению расходов теплота – топливо. Тепловую нагрузку обеспечивают поддержкой регулятора топлива, а режим температуры поддерживает регулятор питания. Тем не менее, применение процесса регулирования по прямым показателям экономичности котла располагает увеличенной инерционностью. Данный недостаток присущ тем котлам, которые работают в

условиях переменных характеристиках топлива. Реализовывать регулирование экономичности процесса горения по настоящим показателям. Данные режимы типичны для котлов, в которых сжигаются вторичные энергетические ресурсы предназначенных для технологических производств. Следовательно, этот режим предлагается для улучшения режима горения в топке котла применять прогнозирование значения КПД котла, которое сможет уменьшить инерционность системы регулирования экономичности процесса горения.

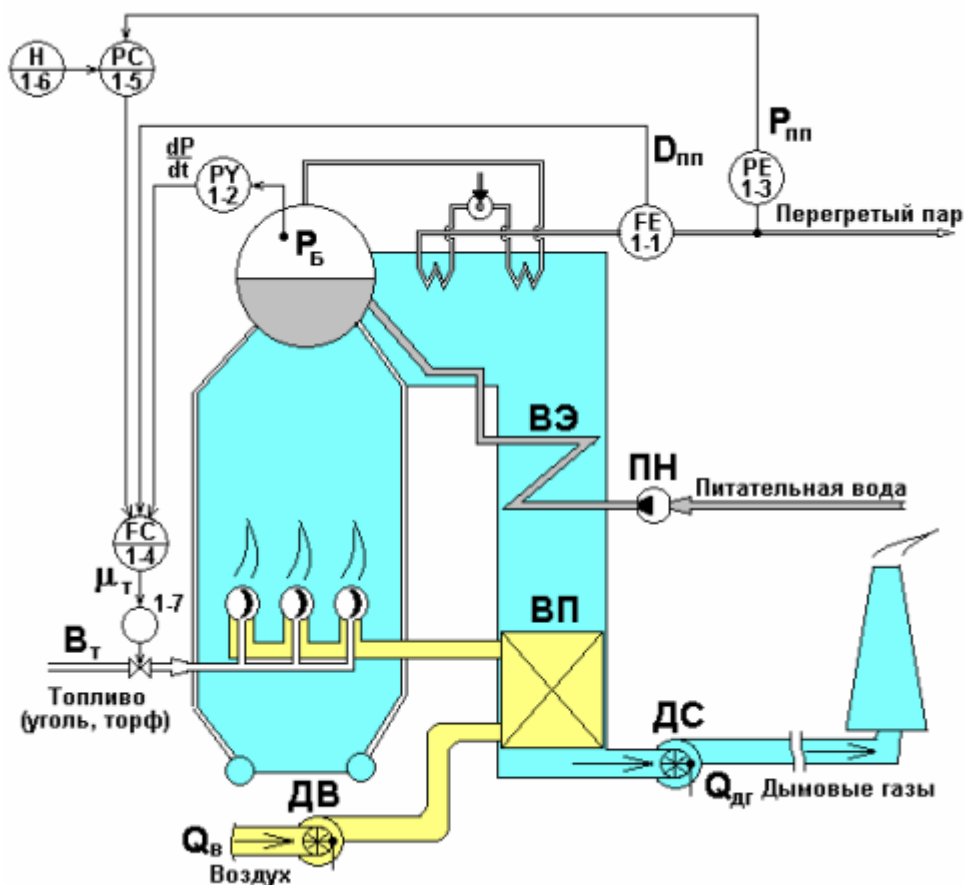


Рисунок 1.3 – Схема регулирования тепловой нагрузки барабанного котла

Схема регулирования экономичности процессов горения представлена на рисунке 1.4. Система состоит из двух линий. Внутренняя линия образуют самодействующий регулятор подачи воздуха и объект регулирования, функционирующий по простой схеме пар – воздух. Внешняя линия образует объект регулирования, и по оцениванию показателя экономичности горения составляет устройство с входным сигналом, а также устройство формирования по прогнозированию оценки показателя качества экономичности горения с входным сигналом по мощности, необходимой в топку котла с сигналом, и топливом, характеризующим значение выходной мощности, который как вариант исполнения может измеряться [3].

Надобность использования сложной системы регулирования определена наличием в современных котлах высокого давления это происходит потому что в неопределённый момент времени регулятор турбины открывает клапан для того чтобы пар поступал к турбине, усиливая расход перегретого пара из котла. После этого должно было произойти падение уровня воды в барабане. Но стало происходить резкое возрастание уровня и только после некоторое времени начало меняться в «правильном» направлении. Это обуславливается тем, что в экранных трубах и барабанах котлов находится не вода, а пароводяная смесь, объем которой связан с давлением. Увеличение открытия клапана турбины приводит к незамедлительному падению давления.

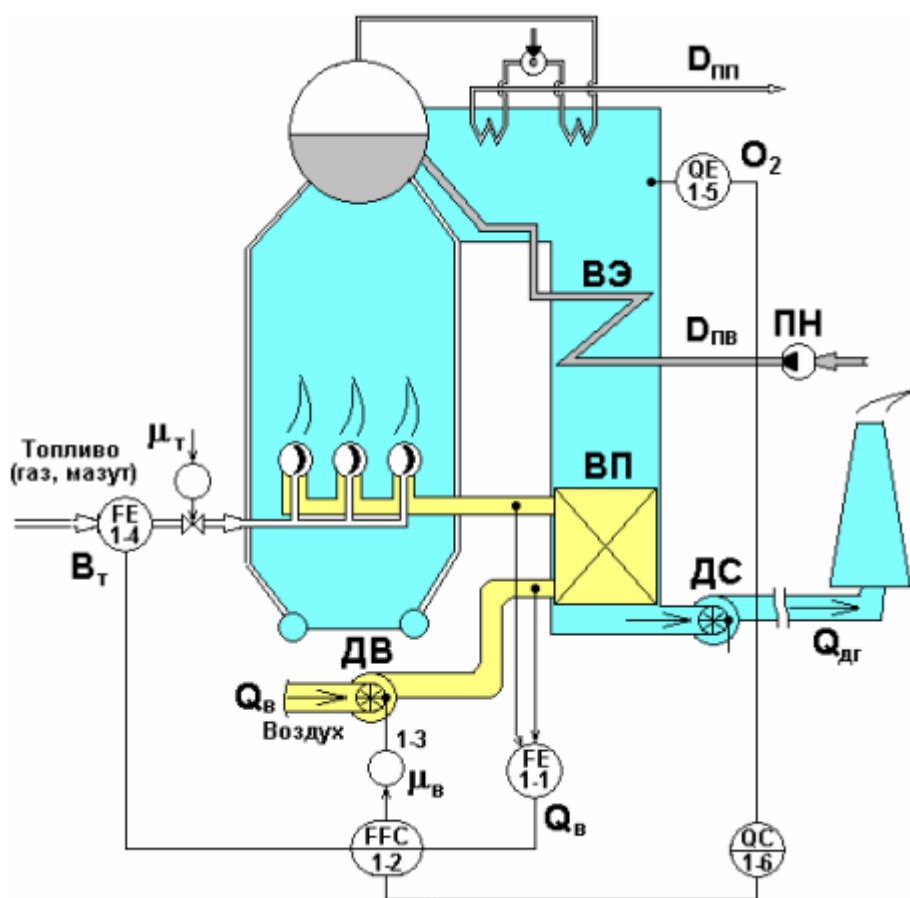


Рисунок 1.4 – Схема регулирования экономичности горения барабанного котла

Дальше - схема регулирования разряжения в топке барабанного котла, она показана на рисунке 1.5. Система регулирования качества горения топлива соединена с системой регулирования разряжения в топке котла. В данной системе у объекта регулирования имеются хорошие регулирующие свойства, из-за этого система реализуется обычно как простая одноконтурная. Регулятор разряжения принимает сигнал по разрежению в верхней части топки, после чего происходит воздействие и изменяется

положения направляющих аппаратов дымососов. Существенным возмущением для данной системы регулирования разряжения в топке барабанного котла является изменение расхода воздуха, реализовываемого системой регулирования качества горения топлива.

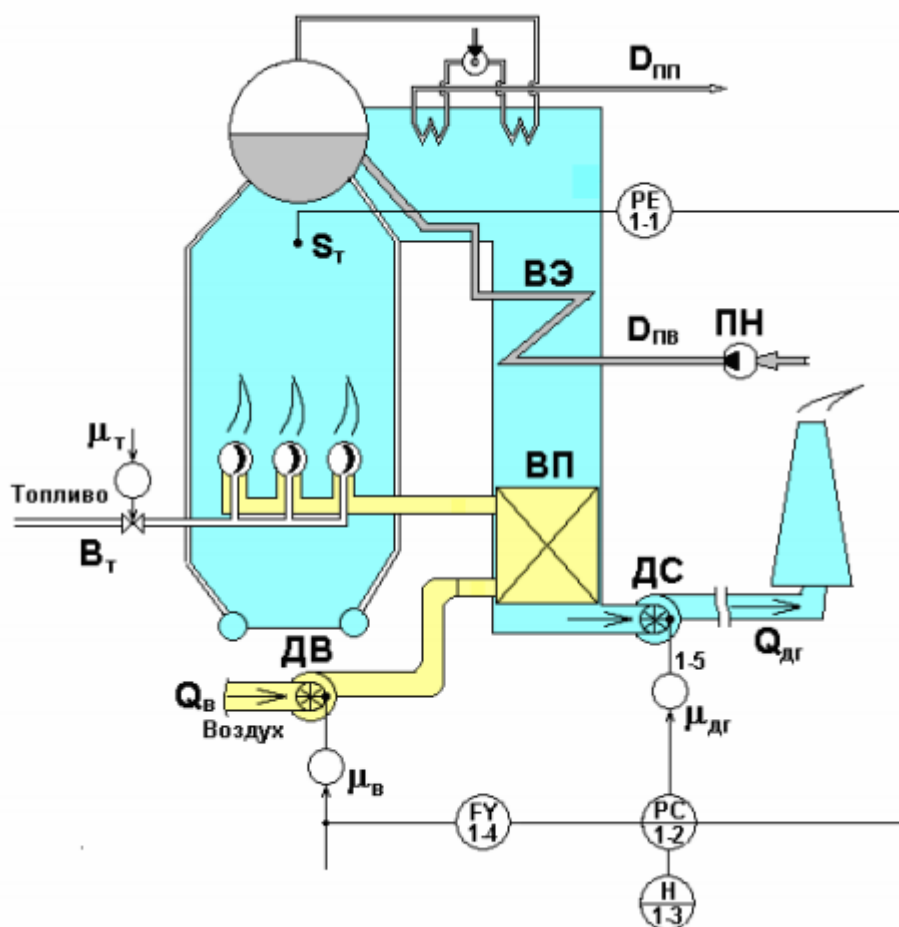


Рисунок 1.5 – Схема регулирования разряжения в топке барабанного котла

Для того чтобы произошло устранение влияния действия регулятора подачи воздуха на разрежение в топке, то регулирующее воздействие данного регулятора следует подать на аппарат вентилятора, но и на вход, предварительно преобразовав его соответствующим образом в подобранном блоке компенсации возмущения. Если в этой схеме регулирования произошло изменение положения направляющих аппаратов вентиляторов, то происходит немедленное движение направляющих аппаратов дымососов, именно поэтому разрежение в топке остается неизменным. Если сигнал будет иметь искажающий характер, тогда заданное значение от блока не будет искажаться.

1.3 Барабанный котёл как объект управления

Барабанные котлы в качестве элемента управления являются неотъемлемой частью большинства промышленных и общественных комплексов. Основная задача котельных установок и установок-бесперебойное обеспечение объекта паровой и горячей водой с заданными параметрами. Следовательно, отказ от отопительных приборов и установок приводит к простою всего комплекса или, по крайней мере, к его большей части, и это колоссальные потери. Снижение затрат на техническое обслуживание и увеличение времени ремонта, а также упрощение диагностики проблем наряду с повышением надежности, позволяет говорить о значительных преимуществах, связанных с применением новой системы автоматического управления вместо традиционных в модернизации существующих систем отопления. По этой причине Автоматизация котельных агрегатов является актуальной проблемой. Котельные агрегаты представляют собой комплексные автоматические регулирующие объекты с большим количеством регулируемых параметров и регулируемыми влияниями. Также котлы-агрегаты характеризуются значительными расходами потока в магистрали. К задачам регулирования котельных установок, которые продиктованы как требованиями приобретателя пара, так и надобностью обеспечения надежного и экономичного режима работы самого котла, относятся следующие: привести нагрузку котла в соответствие с поставленной задачей; поддержание указанных значений давления и температуры пара, приходящего к потребителю. Схема автоматического регулирования барабанного котлоагрегата приведена на рисунке 1.6. Паровой котел выступает как сложная динамическая система с взаимосвязанными входными и выходными значениями. Однако выраженное выравнивание регулирующих участков по основным каналам регулирующих воздействий позволяет стабилизировать и изменить регулируемые параметры с помощью независимых одноконтурных систем, Соединенных регулирующим объектом-котловым агрегатом [4]. Первичные воздушные регуляторы монтируются по одному на мельницу. Каждый регулятор первичного воздуха измеряет расход первичного воздуха в мельнице и поддерживает его с помощью регулирующих органов и соответствует заданию. Для котлов была использована схема регулирования процесса горения, созданная по принципу «воздух-топливо» на рисунке 1.7, в которой применен сигнал по средней мощности моторов, посылаемый на регулятор топлива.

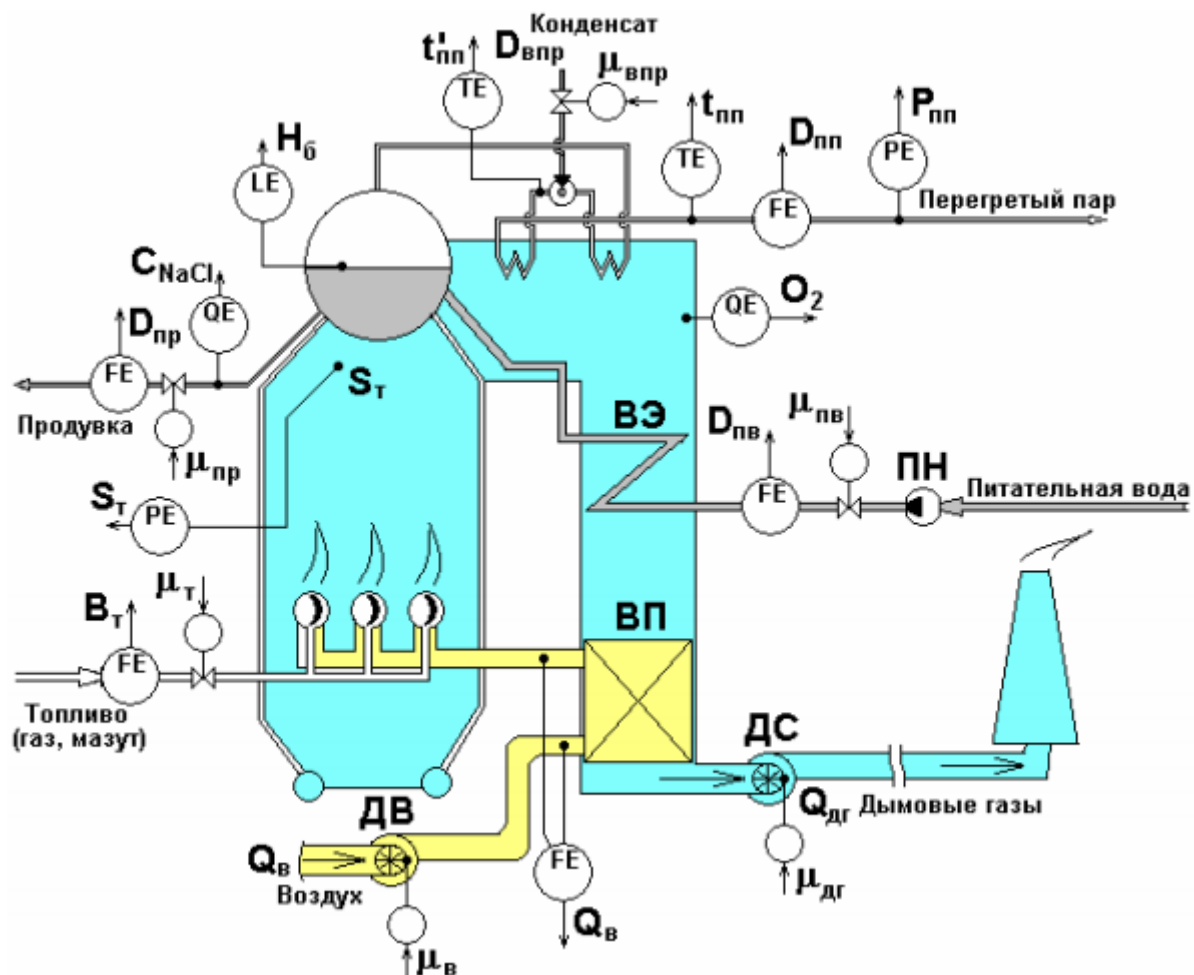


Рисунок 1.6 – Функциональная схема барабанного котлоагрегата

Особенности котельной установки в качестве регулирующего устройства:

а) изменение удаления пыли мельниц в печи после изменения подачи топлива происходит с существенной задержкой.

б) изменение режима воздуха для первичного воздуха имеет интенсивный, хотя и временный, влияние на отбор топлива.

в) наряду с введением общего воздуха в соответствии с тепловой нагрузкой, для этих котлов необходимо обеспечить оптимальное соотношение первичного и общего воздуха.

Такой сигнал, который быстро реагирует на изменения в подаче топлива, обеспечивает высокую скорость управления топливом без участия первичного воздушного регулятора. Это позволяет выполнять первичные воздушные регуляторы независимо от регулятора топлива и назначать им функции для поддержания заданного соотношения между общей и первоначальной стоимостью воздуха.

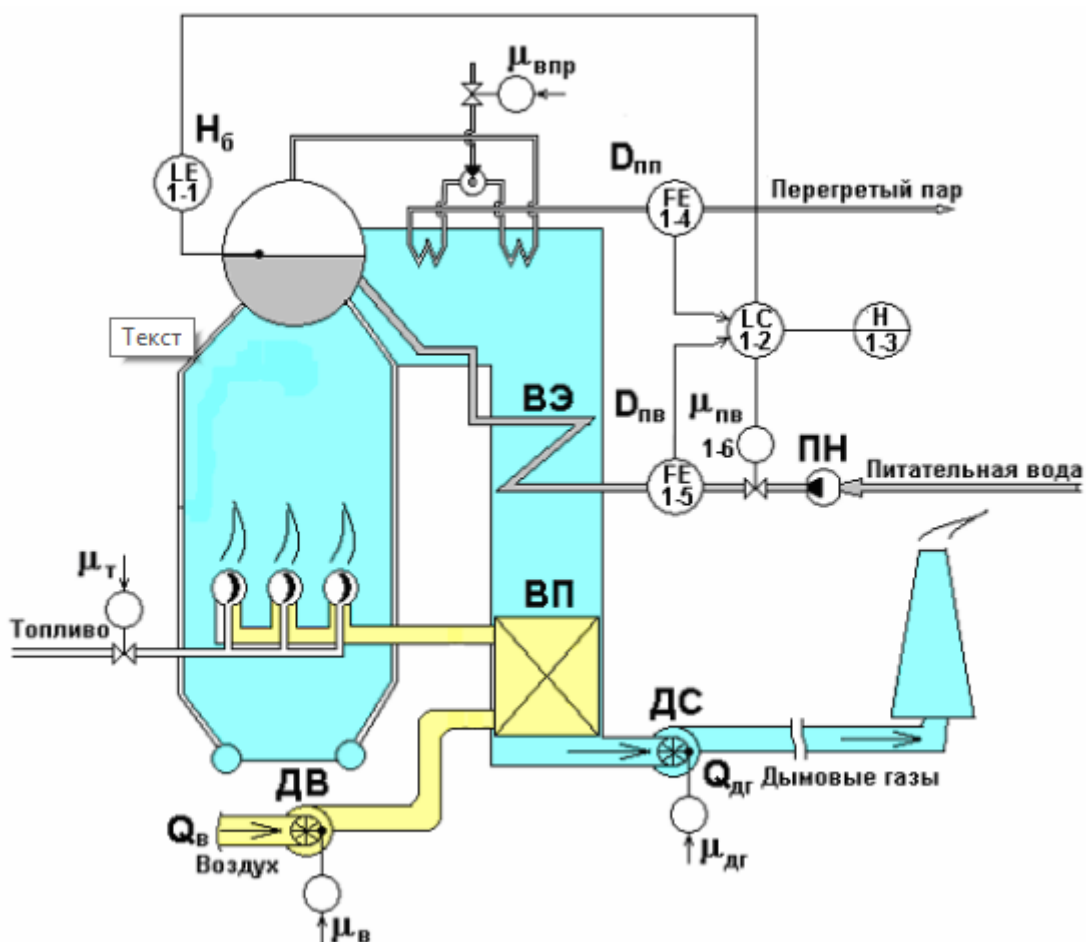


Рисунок 1.7 – Функциональная схема барабанного котлоагрегата по типу «воздух-топливо»

Для котлов была использована схема регулирования процесса горения, созданная по принципу «воздух-топливо», в которой применен сигнал по средней мощности моторов, посылаемый на регулятор топлива. Схема регулятора тяги существенно не изменилась. Динамический импульс из регулятора воздуха обеспечивает одновременность в воздухе и дополнениях и повышает точность сохранения разбавления при переменной нагрузке на котел.

1.4 Разработка функциональной схемы автоматизации и обоснование выбора средств автоматки

Схемы автоматизации являются основным техническим документом, определяющим функциональную блочную структуру отдельных блоков автоматического управления, управления и регулирования технологического

процесса, а также объектом управления оборудованием и средствами автоматизации (в том числе телемехаником и компьютерной техникой) [5]. Функциональные задачи автоматизации, как правило, реализуются техническими средствами, в том числе: отборные устройства, средства получения первичной информации, средства преобразования и обработки информации, средства представления и выдачи информации обслуживающему персоналу, комбинированные, комплексные и вспомогательные средства. При разработке схемы автоматизации технологического процесса решены следующие задачи:

- задача получения первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;

- задача сигнализации, контроля, регистрации и учета технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

В данной работе схема автоматизации разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 21.208-2013 "Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах" и ГОСТ 21.408-2013 "Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов". Схема автоматизации представлена на рисунках 1.8-1.9.

В качестве датчика уровня выбран уровнемер VEGAPLUS 65, т.к. данный датчик подходит по всем техническим характеристикам и является наиболее дешевым из рассмотренных.

Для наиболее точного измерения температуры температура должна измеряться в нескольких точках резервуара, особенно в 10 точках. Решение этой задачи достигается путем размещения десяти датчиков с одной точкой или одной многоточкой. Из рассмотренных ранее датчиков температуры, выбран термопреобразователь сопротивления ДТМЗ. Данный датчик является многоточечным и в общей сумме выйдет дешевле, чем размещение десяти одноточечных датчиков ТСПУ-205 и Метран-280, а также монтаж одного датчика легче.

Измерение давления производится датчиком давления (манометр). Исходя из всего, выбор пал на VEGABAR 81, т.к. этот датчик удовлетворяет всем техническим требованиям, а также надежнее и точнее, нежели более дешевый Jumo 420.

Контроллером данной системы выбран Siemens Simatic S7-300, по причине его превосходства по техническим параметрам и наиболее низкой цене по сравнению с другими рассмотренными контроллерами.

Наименование параметра	Функцион. назначение	Схема подключения	Шкаф прерыва Контроллер	Местный шкаф	По месту, на стенде	
Температура уходящих газов в лабораторной камере слева корпус А фронт	TIR	AI030				900° C
Температура уходящих газов в лабораторной камере справа корпус А тыл	TIR	AI030				900° C
Температура уходящих газов за КПП 2стп. Нитка А фронт	TIR	AI030				710° C
Температура уходящих газов за КПП 2стп. Нитка А тыл	TIR	AI030				710° C
Температура уходящих газов за ЭМТ, нитка А фронт	TIR	AI030				560° C
Температура уходящих газов за ЭМТ, нитка А тыл	TIR	AI030				560° C
Температура уходящих газов в лабораторной камере справа корпус А фронт	TIR	AI030				900° C
Температура уходящих газов в лабораторной камере справа корпус А тыл	TIR	AI030				900° C
Температура уходящих газов за КПП 2стп. Нитка Б фронт	TIR	AI030				710° C
Температура уходящих газов за КПП 2стп. Нитка Б тыл	TIR	AI030				710° C
Температура уходящих газов за ЭМТ, нитка Б фронт	TIR	AI030				560° C
Температура уходящих газов за ЭМТ, нитка Б тыл	TIR	AI030				560° C
Разряжение в верту попла, справа корпус А	PIRAC	AI010				-3 мм.дог.ст.
Разряжение в верту попла, слева корпус А	PIRAC	AI010				-3 мм.дог.ст.
Интенсивность пламени	BIAS	AI010				
Сигнал пламени	BIAS	AI010				0,012 A
Перебои в исходное состояние Внешний сигнал "RESET"	BS	BO015				
Сбой в работе	BS	BI010				
Интенсивность пламени	BIAS	AI010				
Сигнал пламени	BIAS	AI010				0,012 A
Перебои в исходное состояние Внешний сигнал "RESET"	BS	BO015				
Сбой в работе	BS	BI010				
Содержание кислорода (O ₂) в уходящих газах нитка А (11HEK100C003)	QIRAC	AI010				2%
Содержание диоксида азота (NO ₂) в ух. газах нитка А (11HEK100C007)	QIR	AI010				<200 ppM
Содержание окиси азота (NO) в ух. газах нитка А (11HEK100C005)	QIR	AI010				<1000 ppM
Содержание окиси углерода (CO) в ух. газах нитка А (11HEK100C006)	QIRAC	AI010				<2000 ppM
Содержание диоксида серы (SO ₂) в ух. газах нитка А (11HEK100C009)	QIR	AI010				<2000 ppM
Содержание кислорода (O ₂) в уходящих газах нитка Б (11HEK500C003)	QIRAC	AI010				2%
Содержание диоксида азота (NO ₂) в ух. газах нитка Б (11HEK500C007)	QIR	AI010				<200 ppM
Содержание окиси азота (NO) в ух. газах нитка Б (11HEK500C005)	QIR	AI010				<1000 ppM
Содержание окиси углерода (CO) в ух. газах нитка Б (11HEK500C006)	QIRAC	AI010				<2000 ppM
Содержание диоксида серы (SO ₂) в ух. газах нитка Б (11HEK500C009)	QIR	AI010				<2000 ppM

Рисунок 1.8 – Схема автоматизации с применением ПЛК

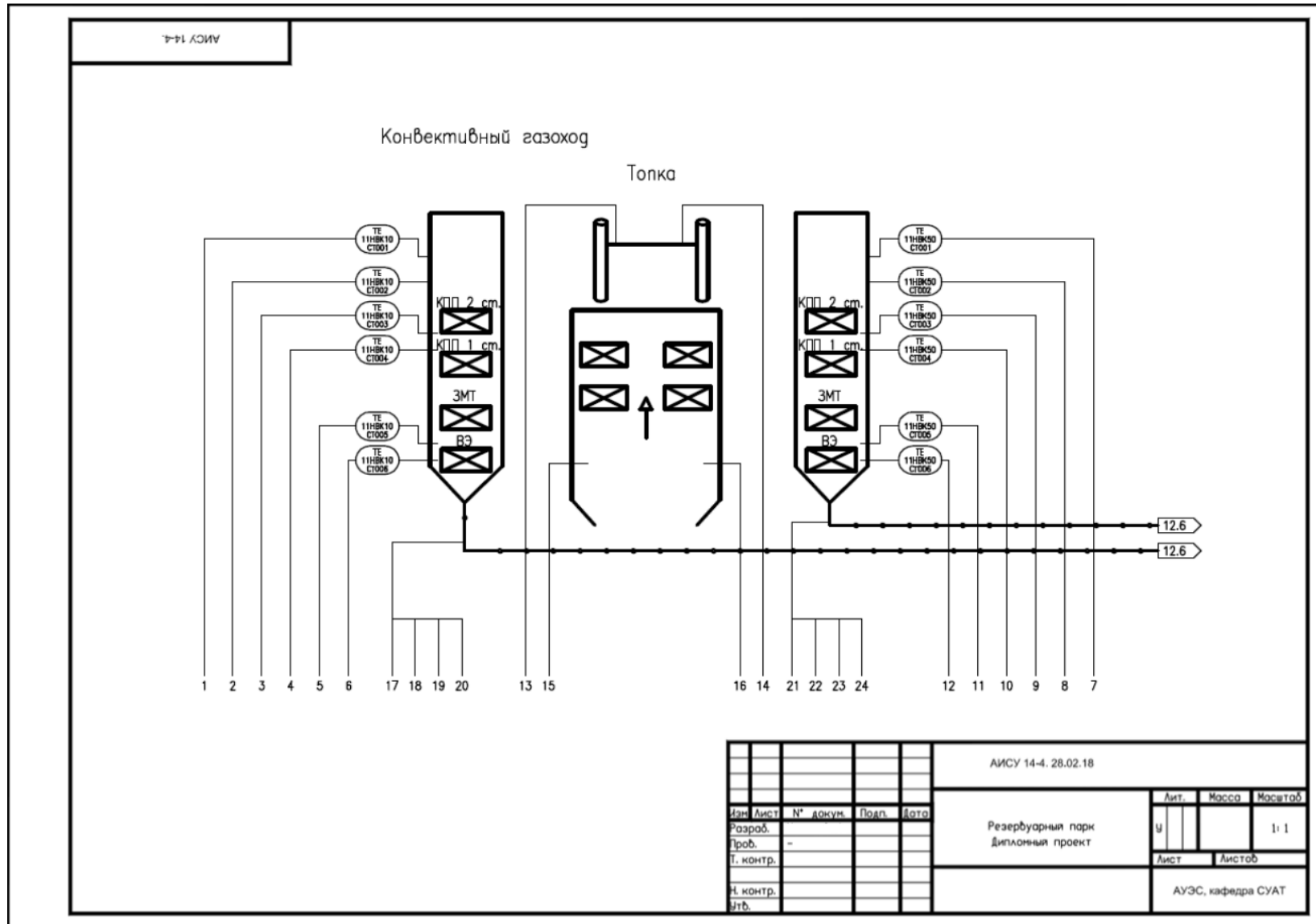


Рисунок 1.9 – Функциональная схема автоматизации газового тракта

Учет продукта предполагает точное измерение массы, масса, в свою очередь, зависит от плотности и объема. Для расчета плотности, необходимо знать температуру продукта, а для расчета объема продукта в баке, достаточно знать уровень заполнения. Регулирование давления газовой камерой осуществляется на основе результатов измерения давления. Для решения этих задач требуются соответствующие технические средства, а именно: датчики температуры, измерители уровня и манометры. Выбор технических средств автоматизации производился из ранее рассмотренных.

1.5 Определение передаточных функций по каналам управления

Сложность современных промышленных предприятий вызвала автоматизацию управления оборудованием, включающую датчики для контроля над поведением оборудования и дистанционно управляемых клапанов, влияющих на нежелательные события. Автоматизация производства защищает целостность установки физически. Тем не менее, он реагирует на ненормальные условия. Заданные значения задаются для устройств в рабочем пространстве, и если поведение таких устройств, как давление пара, выходит за пределы указанного диапазона, срабатывает сигнализация, и блоки управления, такие как клапан, запускаются для сброса оборудования до предварительно установленного рабочего состояния. Как уже упоминалось, датчики играют ключевую роль в управлении промышленными установками, такими как паровой котел. Данные, которые вы предоставляете, не используются. Между тем данные датчиков для реагирования на нежелательные события могут быть использованы для прогнозирования и, следовательно, действовать, чтобы обеспечить устойчивое общее состояние системы. Данные датчика могут предоставить полезную информацию, чтобы оценить, работает ли котел в пределах спецификации, и при проверке данных тренда может предсказать нежелательные события, такие как остановка. Однако извлечение информации из необработанных данных, создаваемых датчиками, является непростой задачей. На сегодняшний день все еще зависит от подготовленных операторов для ручной интерпретации данных, но эта схема работает только для небольших и управляемых наборов данных. Если в производстве имеется много датчиков, которые генерируют большое количество данных измерений, связанных с необходимостью постоянной фокусировки для мониторинга процесса, то необходима компьютерная поддержка. Основная цель разрабатываемой системы заключается в том, чтобы помочь операторам технологических установок диагностировать оборудование, прогнозировать нежелательные события, такие как остановка установки, предлагать адекватные значения заданного значения оборудования и понимать характеристики сбоев в работе технологических установок. Модель состоит из трех основных компонентов:

1) Индивидуальный анализ данных датчиков: анализ данных датчиков для выявления закономерностей, приводящих к нежелательным событиям для конкретного оборудования.

2) Анализ данных группового датчика: анализ корреляции данных датчиков для определения зависимостей между поведением оборудования и выявления ошибок в данных.

3) Глобальный анализ технологических процессов: анализ данных датчиков для определения наилучшего установленного значения для всего оборудования, которое может привести к созданию более стабильной технологической установки.

Рассмотрим характеристику каждого канала с точки зрения его влияния на техническое состояние соответствующего элемента котлоагрегата и другого оборудования ТЭЦ.

Канал «Расход воздуха – разряжение в топке котла». Если показатель «разряжение в топке» ухудшается, это может означать, что появились новые подсосы воздуха в топку с атмосферы, или ухудшилась работа тяговых вентиляторов, или изменились параметры горения, а расход воздуха остался прежним, то есть дутье осталось прежним.

Канал «Расход топлива – давление топлива». Если давление топлива падает, это может означать свищ в трубопроводах топливоподачи, либо не нормальную работу одного или нескольких элементов системы топливоподготовки (мельница, вентиляторы подачи, циклон, бункер), при этом расход топлива тоже будет падать.

Канал «Температуры вход – выход (питательная вода – перегретый пар)». Если температура питательной воды меняется в ту или иную сторону, при прочих равных (остальные показатели работы котла не менялись), то температура перегретого пара должна меняться соответственно в ту или другую сторону. Если температура питательной воды не менялась, а температура перегретого пара падает, это значит котел работает неправильно. Если при этом расход пара, и расход (и давления) питательной воды остались прежними, то это означает не исправность в «системе горения», (необходимо проверить показатели, связанные с горением), возможно не нормальная работа системы подачи топлива, воздуха, и т.п. Если же температура на входе падает, то это проблема турбинного цеха.

Канал «Расход пара – уровень в барабане». Поддержание данного уровня воды в парогенераторе является одной из основных задач, обеспечивающих надежную работу котла. При высоком уровне воды в котле возможно опускание котельной воды в пароперегреватель и, как следствие, разрушение его конструкций гидравлическими ударами. Интенсифицируется также вредное явление провала в пароперегревателе влажного пара вместе с содержащимися в нем солями.

Отложения солей вызывают чередование:

– в перегревателях – перегрев труб из-за недопустимо высоких температурных режимов;

– в паровых трубопроводах и путевых креплениях-их отказ, а также являются центрами межкристаллической коррозии;

– в потоковой части турбины-снижение КПД, снижение проходного сечения межкабельных каналов. Эти явления приводят к значительным осевым нагрузкам, воздействующим на ротор турбины, которые могут привести к расплавлению упорного подшипника турбины и к несчастному случаю.

Слишком низкая вода может привести:

– для прекращения естественной циркуляции путем захвата пара в потайные трубы;

– приводит к потере воды из котла и оголению паропроводящих труб, что поочередно приводит к нарушению режима охлаждения паропроводящих труб и, как следствие, к неизбежному перегреву трубной системы котла.

Канал «Расход питательной воды – расход перегретого пара» является наиболее важным с точки зрения оценки технического состояния котла, так как характеризует возникновение самого опасного показателя для состояния металла трубок (так называемые свищи).

Для интегральной оценки технического состояния котлоагрегата будем использовать методы интеллектуальных технологий с использованием знаний, опыта и интуиции машинистов котлоагрегаты ТЭЦ-2.

Из анализа характеристик каждого из каналов управления можно сделать следующие выводы:

– канал «Расход пара – уровень воды в барабане» слабо характеризует техническое состояние котлоагрегата и является чисто управляющим каналом для поддержания заданного уровня;

– канал «Давление – расход пара» характеризует скорее состояние турбины нежели самого котла;

– канал «Расход топлива – давление топлива» характеризует техническое состояние элементов системы топливоподачи, а не котлоагрегата.

1.6 Составление алгоритмов управления барабанного котла

Для нормальной работы БК необходимо выполнить следующие работы: предварительно заданные параметры давления пара и мощности пара при максимальной надежности и экономичности котла с использованием механизмов регулирования расхода топлива, воздуха, тяги; поддерживать температуру пара; поддерживать нормальный уровень воды в барабане и равномерное питание котла водой. Поддержание нормального давления котла необходимо регулировать работу котла. Поскольку относительно постоянное давление говорит о правильной работе котла. Увеличение давления пара значит, что происходит слишком много производительности пара в котле. Для ее понижения уменьшают подачу газа и воздуха в топку, что представлено на рисунке 1.11. Регулирование давления пара в котле напрямую связано с

регулированием мощности котла и управляется изменением подачи воздуха и топлива в камеру сгорания и регулированием требуемой тяги [6]. Нарушение работы водонагревателей приводит к снижению температуры, которая показана на рисунке 1.12. При постоянной подаче топлива и понижении температуры питательной воды производительность парогенератора снижается, а температура перегрева пара повышается. Увеличение избытка воздуха в топочной камере связано с увеличением количества продуктов сгорания мыть пароперегреватель. При перегреве, теплогенерация которого за счет конвекции больше, чем за счет радиации, увеличение избытка воздуха вызывает повышение температуры перегрева. Разнообразие факторов, влияющих на нагрев пара, приводит к необходимости подсчета площади нагрева пароперегревателя с запасом. Перегрев снижается с помощью регулятора, поддерживающего установленную температуру пара.

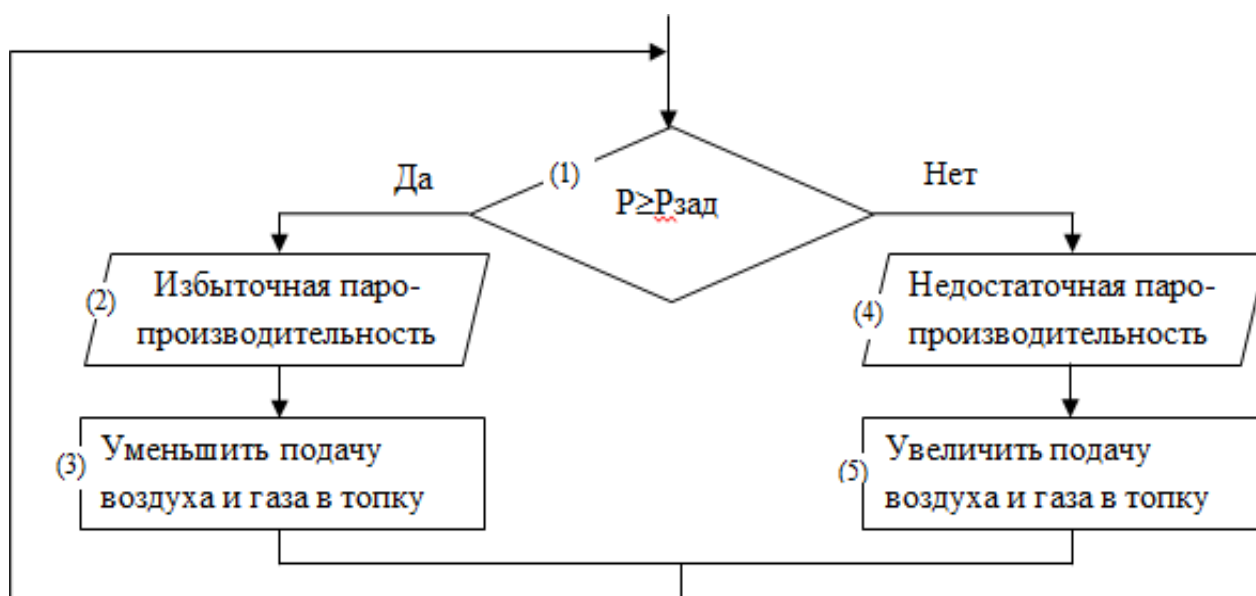


Рисунок 1.11 – Фрагмент блок-схемы алгоритма регулирования давления

Нарушение работы водонагревателей приводит к снижению температуры, которая представлена на рисунке 1.12. При постоянной подаче топлива и понижении температуры питательной воды производительность парогенератора снижается, а температура перегрева пара повышается. Увеличение избытка воздуха в топочной камере связано с увеличением количества продуктов сгорания мыть пароперегреватель. При перегреве, теплогенерация которого за счет конвекции больше, чем за счет радиации, увеличение избытка воздуха вызывает повышение температуры перегрева. Разнообразие факторов, влияющих на нагрев пара, приводит к необходимости подсчета площади нагрева пароперегревателя с запасом. Перегрев снижается с помощью регулятора, поддерживающего установленную температуру пара.

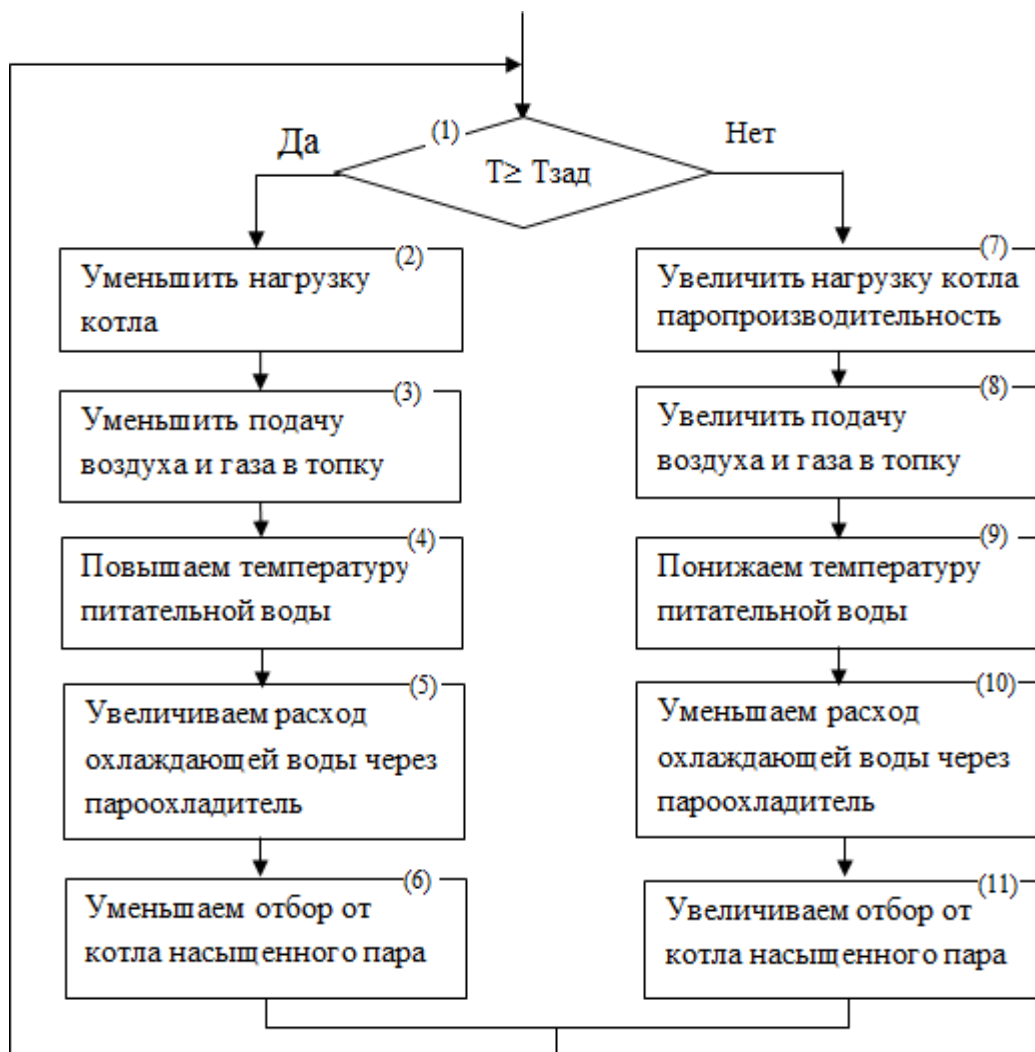


Рисунок 1.12 – Фрагмент блок-схемы алгоритма регулирования температуры пара

Как видно на рисунке 1.12, температура пара сравнивается с заданной температурой, если она превышает ее, то идет к блоку (2), и начинается процесс снижения температуры пара. Блок (2) снижает нагрузку на котел, далее (3) уменьшает подачу воздуха и газа в печь, (4) повышает температуру питательной воды, но (5) увеличивает расход теплоносителя, блок (6) выполняет уменьшение объема насыщенного пара. Из блока (7) в соответствии с блоком (11) выполняются процедуры повышения температуры пара, точно соответствующие методам. Условия безопасной и надежной работы парогенератора и турбины требуют, чтобы уровень в барабане поддерживался в определенных пределах. Для поддержания нормального водоснабжения в котле необходимо обеспечить материальный баланс пара и воды. Питание регулируется автоматически или вручную. Поддержание заданного уровня воды в барабане осуществляется путем автоматического

регулирования потока питательной воды и пара. Уровень воды в калибровочном стекле должен немного отличаться от нормальных значений.

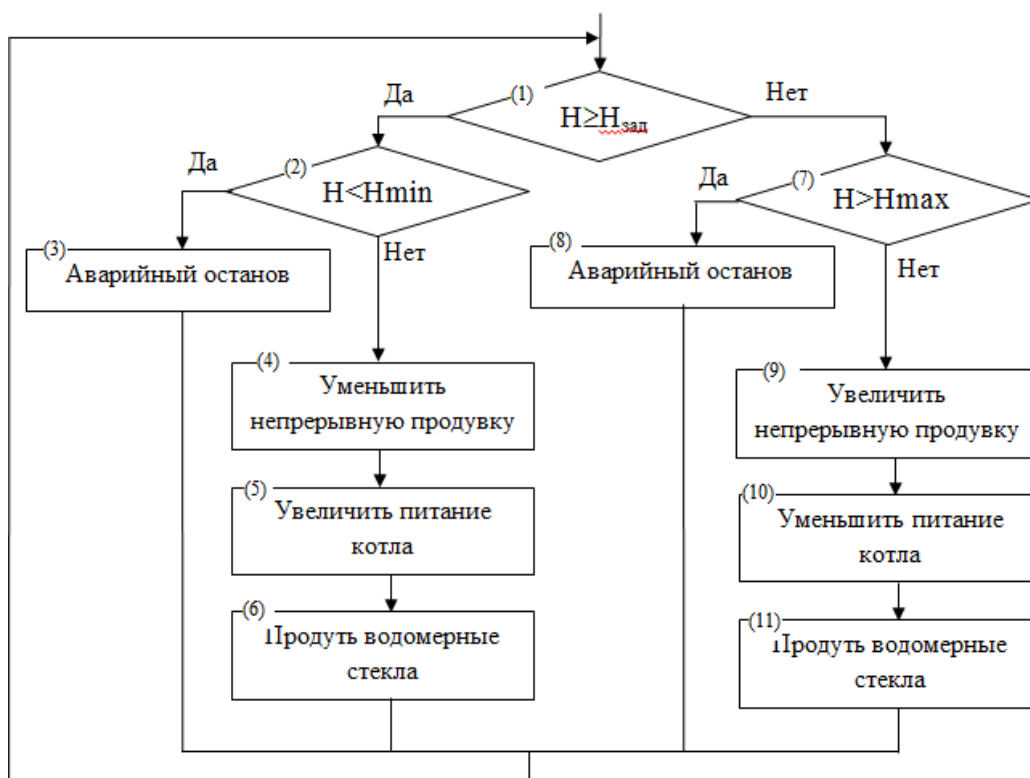


Рисунок 1.13 – Фрагмент блок-схемы алгоритма регулирования уровня воды

Тихий уровень воды является признаком запора жидкого стекла. При сохранении равномерного потока воды и пара осуществляется нормальная подача воды. Поэтому следите за давлением подаваемой воды. При повышении тепловой нагрузки печи увеличивается объем паровой смеси, что приводит к повышению уровня, что означает, что нагрузка котла должна быть снижена для его снижения. Из-за того, что уровень воды зависит от подачи и продувки котла, следует, что при повышении уровня воды до верхнего предела-подача котла снижается, промывка увеличивается. Если эта процедура не помогает, выполняется аварийная остановка. И наоборот, если уровень позволяет относительно низкий - увеличьте питание, уменьшите вентиляцию на рисунке 1.13.

2 Расчетная часть

2.1 Интеллектуальная система управления

В данной работе рассматривается метод оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий (Bacteria Foraging Optimization, BFO). Метод BFO основан на моделировании поведения бактерий *E. Coli*. Способность бактерий *E. Coli* к перемещению обеспечивается шестью или более жгутиками, которые вращаются с частотой от 100 до 200 оборотов в секунду, каждая из которых управляется собственным биологическим «мотором».

Метод оптимизации на основе передвижения бактерий имитирует кормление (поиск, обработка, прием пищи) бактерий *E. Coli* в пространстве поиска питательных веществ. Исходя из этого, первоначальный случайный набор решений генерируется в пространстве поиска, в котором каждое решение представляет собой бактерию. Далее оцениваются значения физической подготовленности этих индивидуумов. Превосходные индивидуалы после этого располагаются с использованием целевой функции и сохраняют других индивидуалов согласно значению пригодности с некоторыми операциями. Наконец, с помощью этой процедуры можно получить эффективный набор решений для следующих итераций. Повторение этих алгоритмических шагов будет продолжаться до достижения оптимального решения.

Метод оптимизации бактериального кормления (BFO) был изобретен Кевином М. Поссино, который имитирует естественный отбор, который стремится устранить животных с плохими стратегиями кормления и благоприятствует тем, кто имеет успешные стратегии кормления. Стратегия фуражирования может быть разделена на четыре процесса: хемотаксис, роение, размножение, элиминация и рассредоточение.

Хемотаксис. Этот процесс является характерной чертой движения бактерий в поисках пищи. Этот процесс можно определить двумя способами: плаванием и акробатикой. Когда бактерии движутся в заданном направлении, это называется плаванием. Между тем методы акробатики - это когда бактерии начинают двигаться в совершенно ином направлении. Математически падение любой бактерии может быть представлено единичной длиной случайного направления, умноженной на длину шага этой бактерии. Между тем для плавания случайная длина заранее определена.

В Хемотаксисе локомоция кишечной палочки через набор относительно жестких жгутиков моделируется двумя типами попеременного движения, называемого бегом и падением, что позволяет бактерии искать питательные вещества. Пусть S -общая популяция бактерий в пространстве поиска, i - итерация, индекс хемотаксического шага обозначается как j , размножение обозначается через k , а l - элиминация-рассеивание

Первоначально генерируются случайные популяции частиц, и значение целевой функции / функции пригодности для каждой частицы может быть вычислено с помощью.

$$J(i, j, k, l) = \text{Function}(P(i, j, k, l)).$$

Затем, используя формулу, прогнозируется наилучшее значение пригодности для каждого хемотаксического движения и сохраняется в локальной памяти. Затем каждая частица выполняет хемотаксическое движение посредством акробатических и плавательных действий.

$$J_{last} = J(i, j, k, l);$$

$$J_{local}(i, j) = J_{last};$$

$$\theta'(j+1, k, l) = \theta'(j, k, l) + C(i)\varphi(j).$$

Где $C(i)$ (где $i=1,2,\dots,S$) - размер шага, сделанного в случайном направлении $\varphi(j)$. Где $\varphi(j)$ может быть представлено следующим образом:

$$\varphi(j) = \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i) \cdot \Delta(i)}}.$$

Где Δ обозначает вектор в случайном направлении, элементы которого находятся в диапазоне $[-1, 1]$. После хемотаксических перемещений частицы достигают нового положения в пространстве поиска, и значение целевой функции для этого нового положения может быть оценено через (1), а наилучшее значение пригодности снова сохраняется (2).

$$J(i, j+1, k, l) = \text{Function}(P(i, j+1, k, l)). \quad (1)$$

$$J_{local}(i, j+1) = J(i, j+1, k, l). \quad (2)$$

Если значение пригодности J , оцененное для текущего хемотаксического движения $J(j+1, k, l)$, меньше предыдущего $J(j, k, l)$ для задач минимизации, то будет сделан еще один шаг в том же направлении. В противном случае бактерия будет падать в случайном направлении.

Роение. Бактерии, практикующие поведение Роя. Этот процесс начинается тогда, когда все здоровые бактерии притягивают другие бактерии, чтобы вместе достичь того места, где пища богата, которые математически относятся к точке решения. Штрафная функция будет добавлена к первоначальной функции затрат для достижения сходимости бактерий. Штрафная функция фактически основана на относительных расстояниях каждого из них бактерия от самой приспособленной бактерии до той

продолжительности поиска. На рисунке 1.14 представлена блок-схема метода.

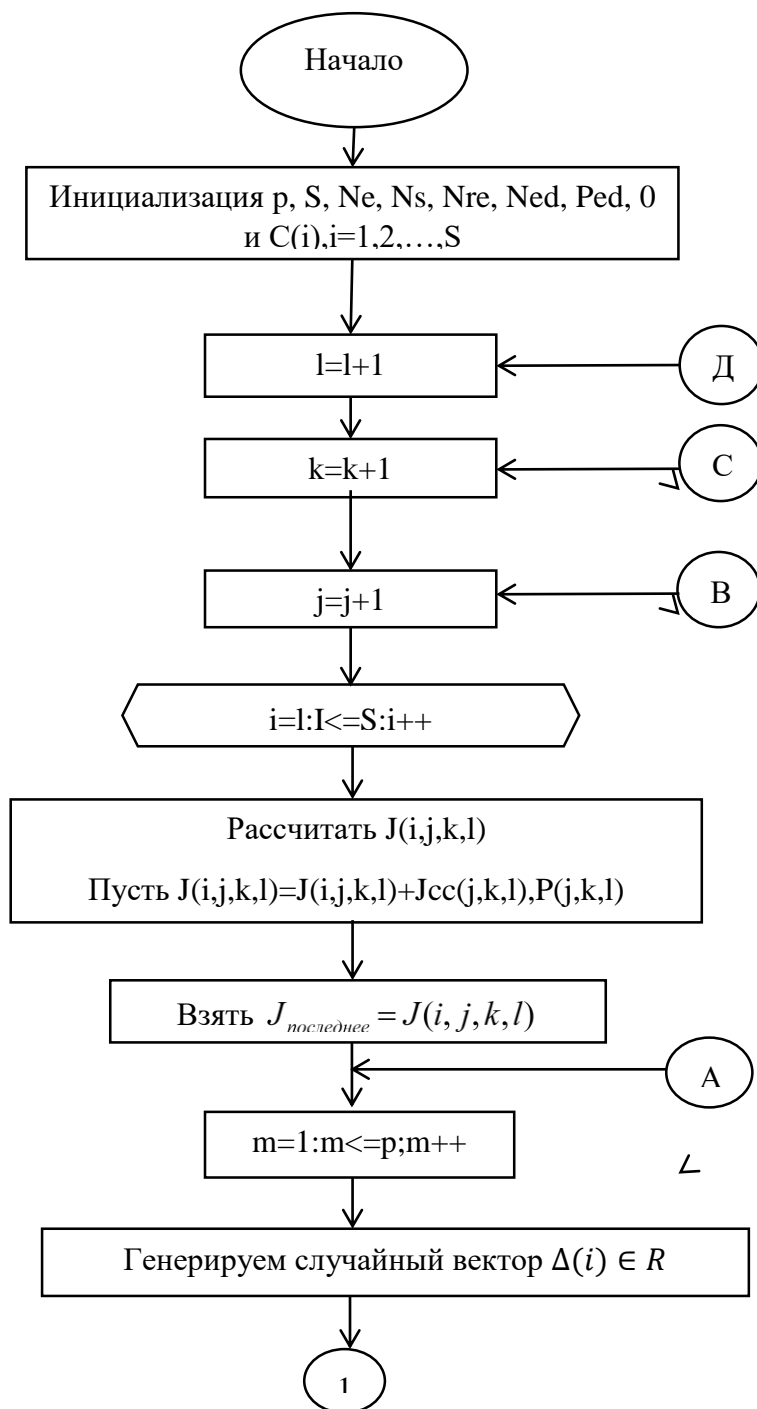


Рисунок 1.14 – Блок-схема работы классического алгоритма

После того, как все бактерии слились в точку решения, эта штрафная функция станет нулевой. Эффект роения заключается в том, что бактерии собираются в группы и перемещаются в виде концентрических узоров с высокой плотностью бактерий. На рисунке 1.15 изображено продолжение детальной блок-схемы алгоритма.

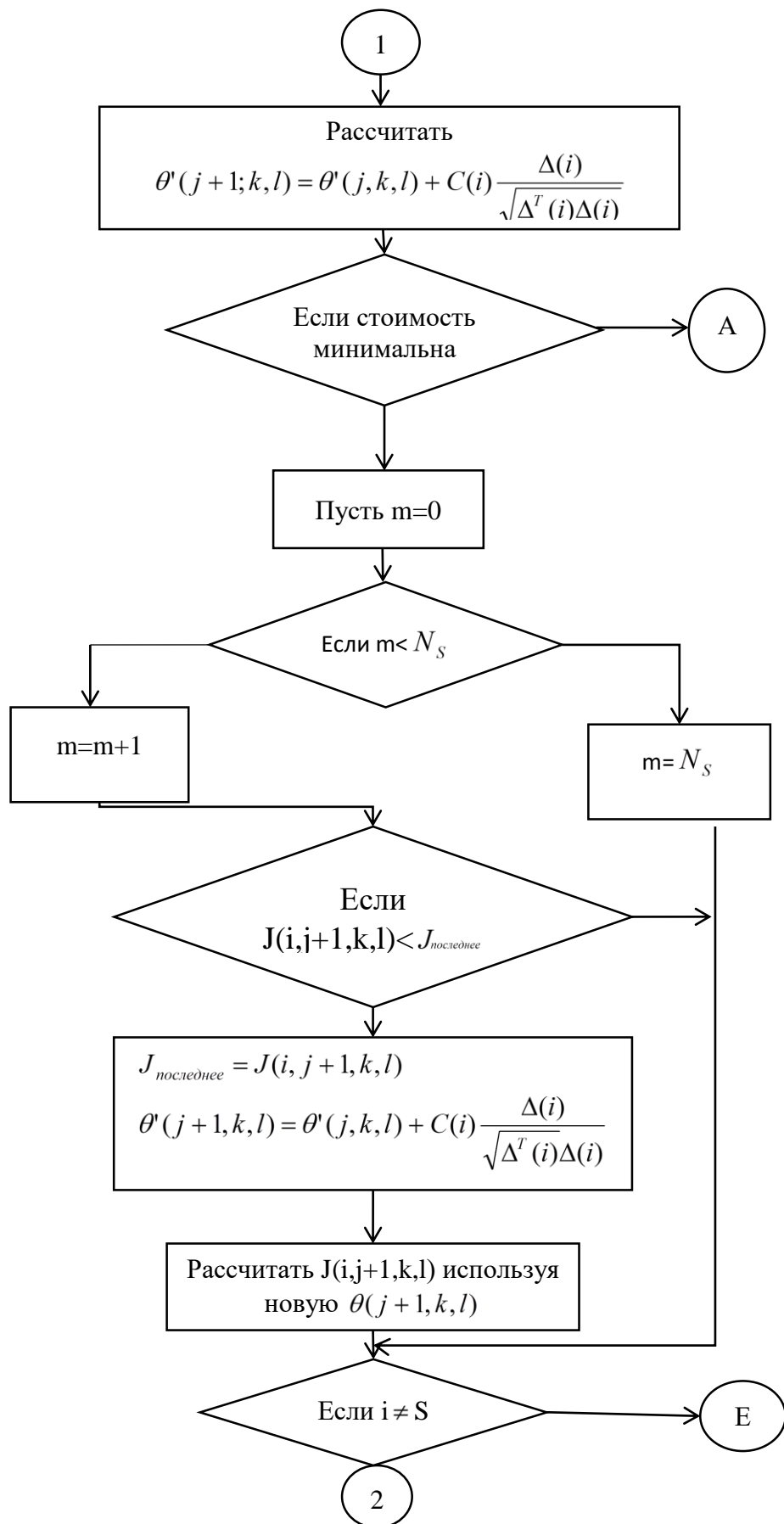


Рисунок 1.15 – Продолжение блок-схемы работы

На рисунке 1.16 представлено продолжение работы классического метода.

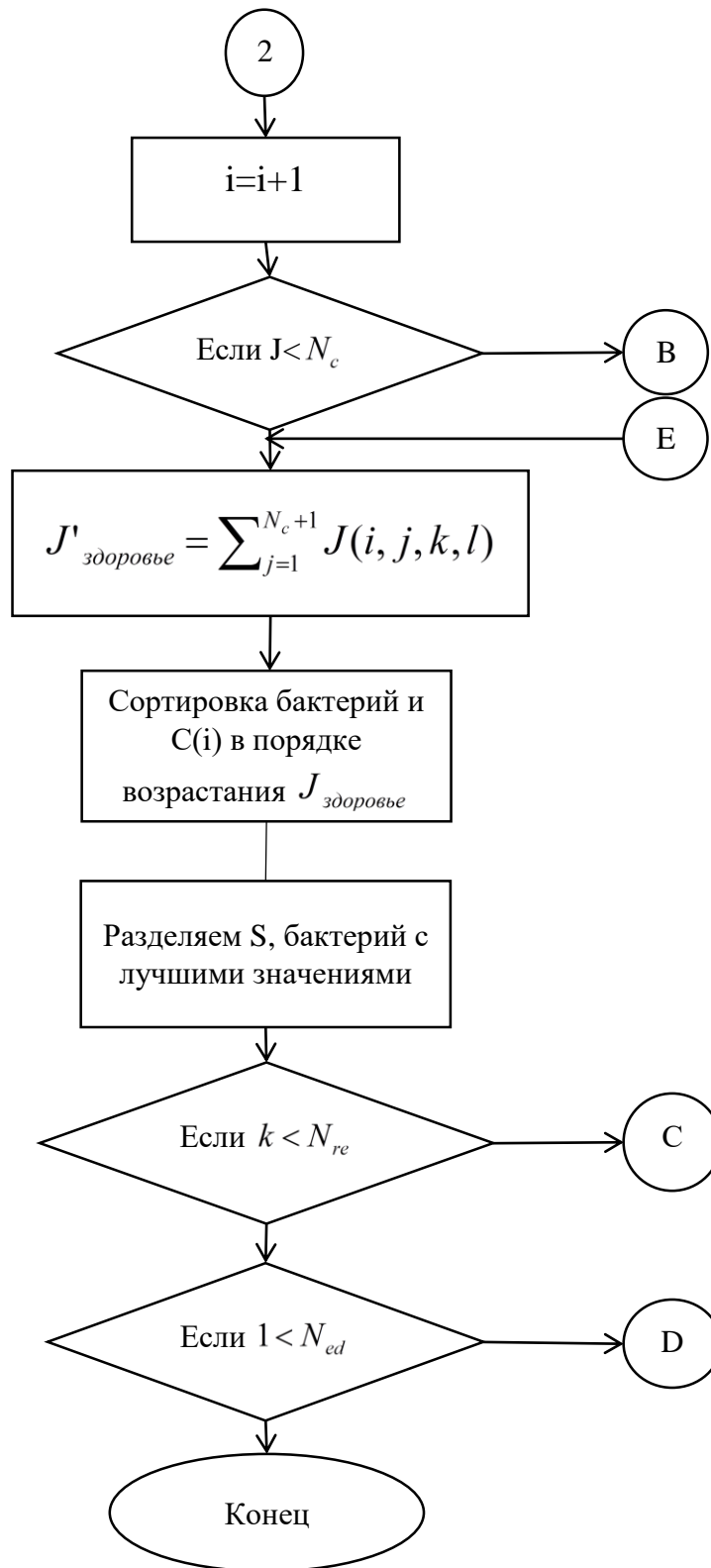


Рисунок 1.16 – Продолжение работы классического алгоритма

Математическое представление этого роения может быть представлено следующим образом:

$$J_{cc}(\theta, P(j, k, l)) = \sum_{i=1}^S J_{cc}^i(\theta, \theta^i(j, k, l)) = \sum_{i=1}^S [-d_{attract} \exp[-w_{attract} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2]] + \sum_{i=1}^S [-h_{repel} \exp[-w_{repel} \sum_{m=1}^p (\theta_m - \theta_m^i)^2]].$$

Где $d_{attract}$ и $w_{attract}$ - глубина и ширина аттрактанта соответственно, h_{repel} и w_{repel} - высота и ширина репеллента соответственно, а p - размерность оптимизационной задачи.

Размножение. На этой стадии здоровый или наилучший набор бактерий будет разделен на две группы. Более здоровые бактерии заменят другую половину бактерий, которые будут уничтожены из-за их более бедных кормовых способностей. Это делает популяцию бактерий всегда постоянной в процессе эволюции.

$$J_{health}^i = \sum_{j=1}^{N_c+1} J(i, j, k, l).$$

Ликвидация и рассредоточение. В процессе эволюции может произойти внезапное непредвиденное событие, которое может радикально изменить гладкий процесс эволюции и привести к уничтожению набора бактерий и / или рассеиванию их в новой среде. Это неизвестное событие может привести к тому, что новый набор бактерий окажется рядом с пищевым местом, хотя оно не будет нарушать обычный хемотаксический рост набора бактерий. Когда этот метод применяется в оптимизации, он фактически помогает уменьшить поведение застоя, которое часто появляется в некоторых алгоритмах, практикующих параллельный поиск. С помощью этого алгоритма можно получить наилучшие значения k_p, k_i и k_o .

Подробный листинг метода представлен в Приложении Б и В.

2.2 Разработка системы автоматического управления

Объектом управления в данной работе является система автоматического регулирования температуры. Схема системы автоматического регулирования температуры представлена на рисунке 2.1.

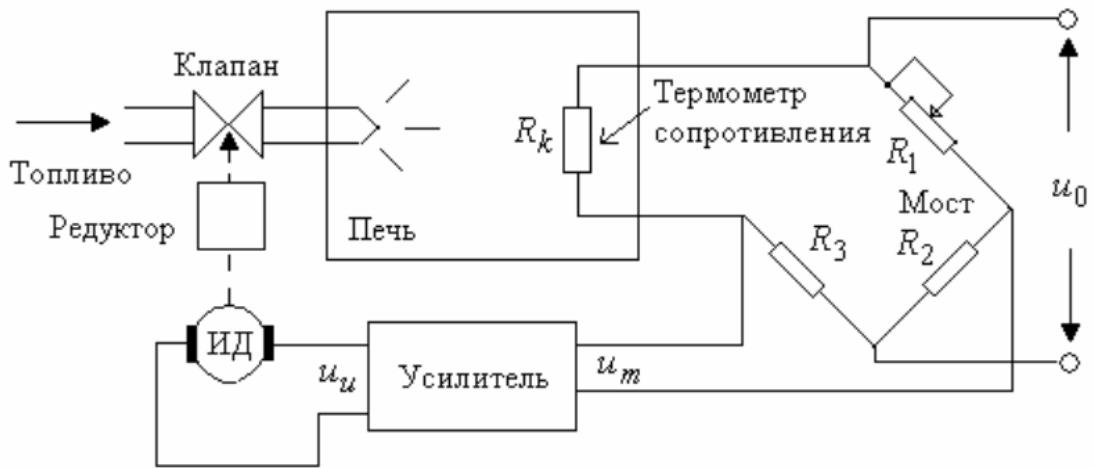


Рисунок 2.1 – Схема системы автоматического регулирования температуры

Линеаризованные уравнения элементов системы имеют вид:
 Печь:

$$\Delta\theta = \theta_3 - \theta, \quad T_0 \cdot \frac{d}{dt} \Delta\theta + \Delta\theta = k_0 \cdot \mu - k_1 \cdot f$$

Потенциметрический мост:

$$u_m = k_\theta \cdot \theta$$

Усилитель:

$$T_m \frac{du_u}{dt} + u_u = k_m \cdot u_m$$

Двигатель с редуктором:

$$T_{\text{об}} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \mu + \frac{d}{dt} \mu = k_{\text{об}} \cdot u_u$$

Прежде всего, необходимо построить функциональную схему системы для дальнейшей работы. Для получения передаточной функции всей системы необходимо перемножить последовательно соединенные элементы, замкнув отрицательной обратной связью. На рисунке 2.2 представлена функциональная схема автоматизации.

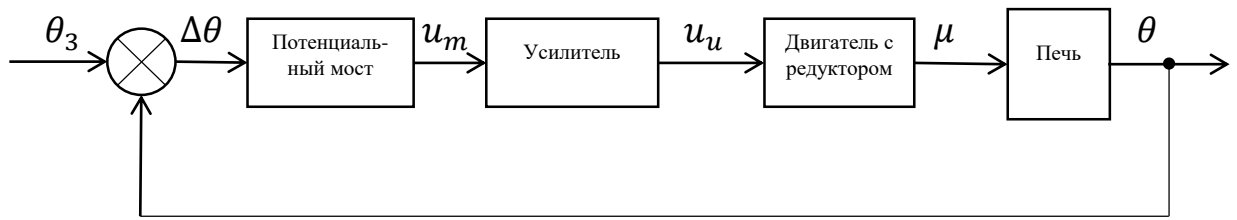


Рисунок 2.2 – Функциональная схема замкнутой системы

Исходя из схемы рисунка, находим передаточную функцию всей системы, то есть и для замкнутой, и для разомкнутой системы. В данном случае, замкнутая система – это система с обратной связью, разомкнутая же – система, не имеющая обратную связь.

Для начала необходимо найти эквивалентную $G(s)$ для разомкнутой системы.

$$G(s) = k_{\theta} \cdot \frac{k_m}{T_m s + 1} \cdot \frac{k_{\theta\theta}}{T_{\theta\theta} s^2 + s} \cdot \frac{k_0}{T_0 s + 1} \quad (3)$$

В качестве параметров объекта управления используем следующую таблицу 2.1:

Таблица 2.1 – Параметры объекта управления

T_0	k_0	k_1	k_{θ}	T_m	k_m	$T_{\theta\theta}$	$k_{\theta\theta}$	f
с	-/см	-/см	В/-			с	см/Вс	см
1,7	4,0	2,0	1,0	0,02	10	0,03	0,20	$2 \sin 0.5t$

Подставив нужные значения, получаем:

$$G(s) = 1 \cdot \frac{10}{0,02s + 1} \cdot \frac{0,20}{0,03s^2 + s} \cdot \frac{4}{1,7s + 1} = \frac{8}{(0,02s + 1)(0,03s^2 + s)(1,7s + 1)}$$

$$= \frac{8}{0,00102s^4 + 0,0856s^3 + 1,75s^2 + s} \quad (4)$$

В результате получилось колебательное звено четвертого порядка. Отсюда следует, что передаточная функция замкнутой системы равна:

$$H(s) = \frac{8}{0,00102s^4 + 0,0856s^3 + 1,75s^2 + s + 8}.$$

Следуя передаточной функции, получаем переходную характеристику системы, которая представлена на рисунке 2.3.

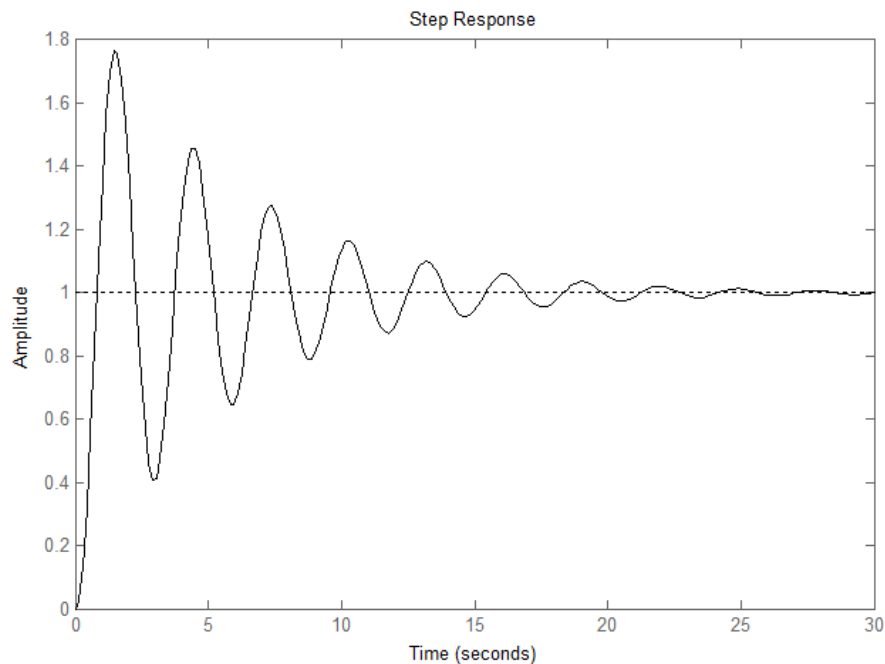


Рисунок 2.3 – Переходная характеристика

АФЧХ, АЧХ и ФЧХ. Теперь разберем АЧХ, ФЧХ и АФЧХ системы. Данные характеристики описывают систему в частотной области. Амплитудно-частотная характеристика показывает зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты входного, а фазо-частотная разность фаз между ними. Отношение и разность называют соответственно амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной характеристиками (ФЧХ) рассматриваемого звена или системы. АЧХ представляет, как звено пропускает сигналы различной частоты. ФЧХ же, какое отставание или опережение выходного сигнала по фазе создает звено при различных частотах [7].

Для получения характеристик необходимо заменить в передаточной функции оператора Лапласа s оператором Фурье $j\omega$, благодаря чему найдем реальную и мнимую части системы.

$$G(s) = \frac{8}{0.00102(j\omega)^4 + 0.0856(j\omega)^3 + 1.75(j\omega)^2 + (j\omega) + 8}.$$

На рисунке 2.4 показана амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы:

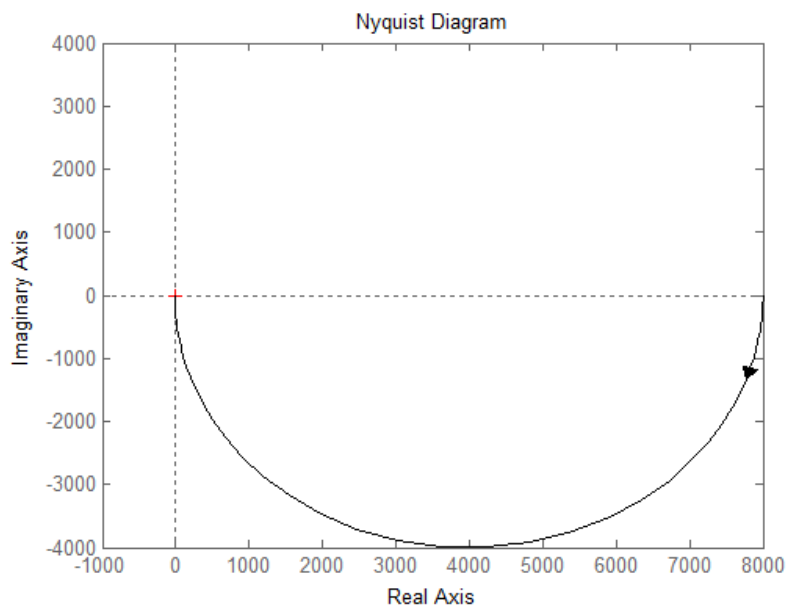


Рисунок 2.4 – АФЧХ разомкнутой системы

На рисунке 2.5 отображены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики разомкнутой системы:

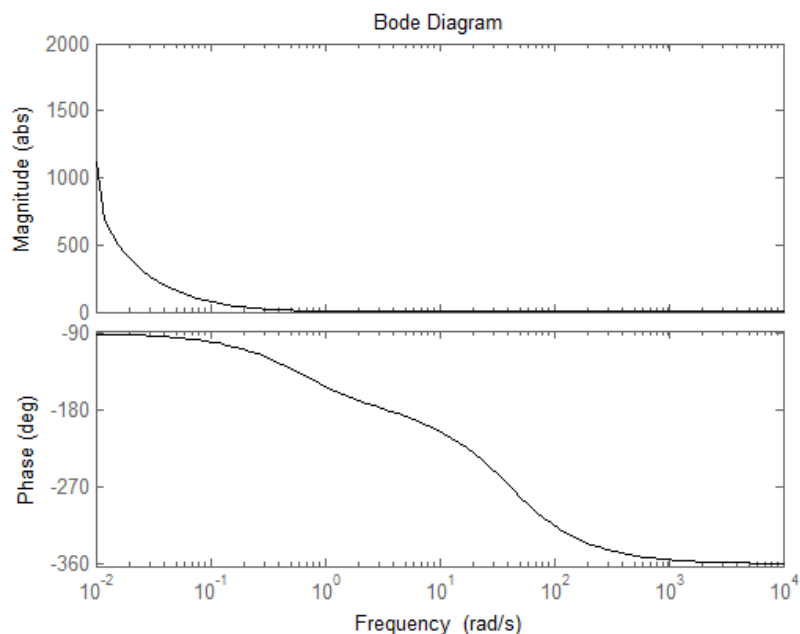


Рисунок 2.5 – АЧХ, ФЧХ разомкнутой системы

Полученные амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики были получены с помощью Matlab оператором Боде.

2.3 Анализ разомкнутой и замкнутой систем управления

Система может быть устойчивой, неустойчивой, либо находиться на границе устойчивости. Главным методом определения устойчивости системы является метод Ляпунова, из которого вытекают два критерия, определяющих устойчивость системы. Это критерий Гурвица и критерий Михайлова. Помимо этих двух критериев существует также критерий Найквиста.

Метод Ляпунова для определения устойчивости системы. Для определения устойчивости находим полюса данной системы. Согласно первому методу Ляпунова для линейных систем:

Система будет устойчивой, если все корни характеристического полинома будут отрицательными.

Система будет неустойчивой, если хотя бы один из корней будет положительным.

И, следовательно, система будет на границе устойчивости, если хотя бы один корень характеристического полинома будет равен нулю, либо иметь мнимое значение [8].

```
>> G=tf([8],[0.00102 0.0856 1.75 1 0])

G =

          8
-----
0.00102 s^4 + 0.0856 s^3 + 1.75 s^2 + s

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

          0
-50.0000
-33.3333
-0.5882
```

Рисунок 2.6 – Полюса разомкнутой системы

В соответствии с I методом Ляпунова, система на границе устойчивости, так как имеется нулевой корень при всех отрицательных полюсах.

Также находим полюса замкнутой системы для проверки устойчивости.

```

>> G=tf([8],[0.00102 0.0856 1.75 1 8])

G =

      8
-----
0.00102 s^4 + 0.0856 s^3 + 1.75 s^2 + s + 8

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

-49.8058 + 0.0000i
-33.7646 + 0.0000i
-0.1756 + 2.1525i
-0.1756 - 2.1525i

```

Рисунок 2.7 – Полюса замкнутой системы

Как видно на рисунке 2.7, замкнутая система устойчива по I методу Ляпунова, так как имеет отрицательные действительные части.

Определение запаса устойчивости. Запас устойчивости является показателем того, насколько система удалена от границы устойчивости. Минимально допустимым запасом устойчивости является запас в 30 градусов по фазе и 6 дБ по амплитуде. На рисунке 2.8 показаны запасы устойчивости по АЧХ и ФЧХ:

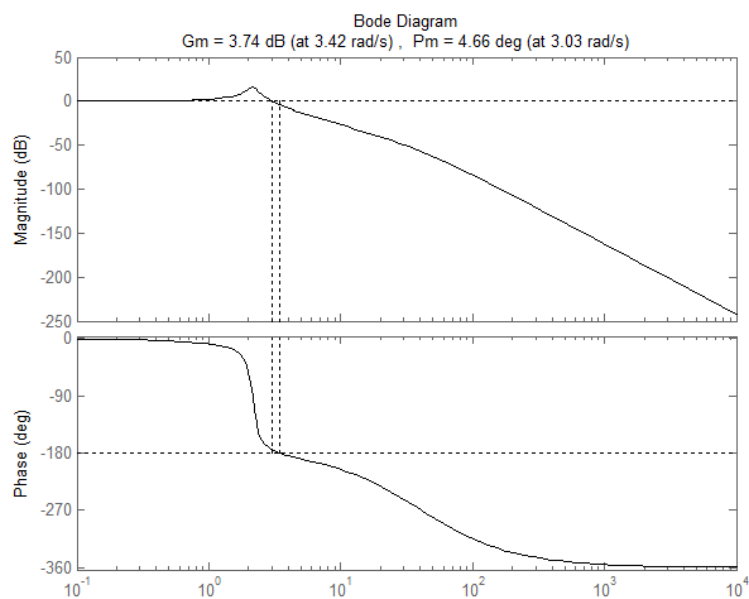


Рисунок 2.8 – Запас устойчивости

Опираясь на данные, показанные на рисунке 2.8 видно, что:
Запас устойчивости по амплитуде = 3,74 dB
Запас устойчивости по фазе = 46,6 grad

Оценки качества. Для того чтобы в дальнейшем убедиться в эффективности синтезируемого управления, запасов устойчивости для данного объекта недостаточно, необходимо сравнить оценки качества системы. Оценки качества системы бывают прямые и косвенные. На рисунке 2.9 показаны прямые оценки качества системы:

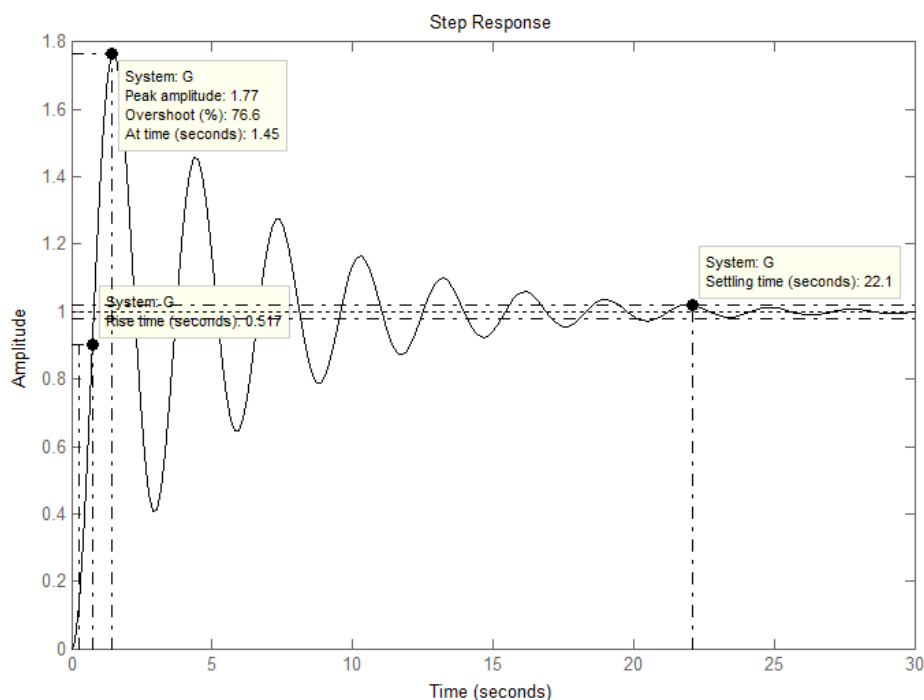


Рисунок 2.9 – Прямые оценки качества системы в Matlab

Исследуемая замкнутая система имеет следующие прямые оценки качества:

- 1) Время регулирования: $T_{set}=22.1$ с
- 2) Перерегулирование: $P_{ov} = 76,6\%$
- 3) Число колебаний: $M = 7$
- 4) Колебательность: $\mu = 82,5\%$
- 5) Период колебаний: $T = 2,93$
- 6) Время достижения первого максимума: $T_p = 1,77$ с
- 7) Время нарастания: $T_R = 0,517$ с
- 8) Декремент затухания: $\chi = 1,67$
- 9) Установившаяся ошибка:

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t);$$

$$e_{ss} = s \cdot \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0,00102s^4 + 0,0856s^3 + 1,75s^2 + s + 8}{0,00102s^4 + 0,0856s^3 + 1,75s^2 + s + 16} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{2}.$$

Косвенные оценки качества. Косвенные оценки качества бывают корневые и частотные, которые высчитываются по полюсам системы.

Частотные:

1) Показатель колебательности:

$$\mu = \frac{M_{\max}(\omega)}{M(0)} = 6,15.$$

2) Полоса пропускания: $[0 - 3,34]$

3) Резонансная частота: $\omega_p = 2,15$

4) Частота среза: $\omega_{CF} = 3,01$

Корневые:

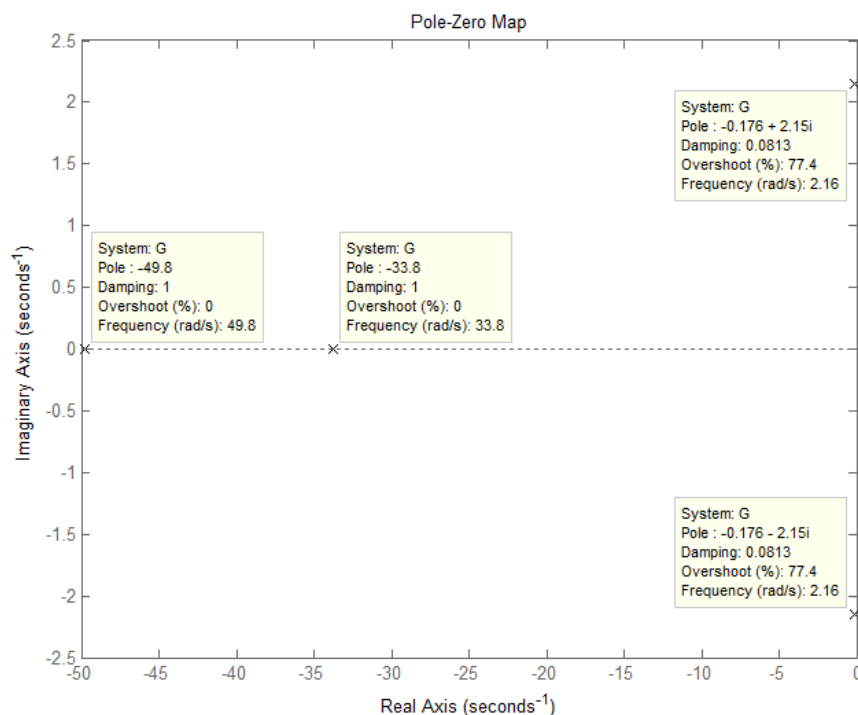


Рисунок 2.9 - Корневые полюса

1) Степень устойчивости: $\eta = |\alpha_{\min}| = 3,38$

2) Колебательность: $\mu = \frac{\beta}{\alpha} = 0,64$

В таблице 2.2 представлены прямые оценки переходного процесса.

Таблица 2.2 - Значения оценок качества системы

№	Оценка качества	Система без регулятора
1	Время регулирования	$T_{set} = 22,1c$
2	Перерегулирование	$P_{ov} = 76,6\%$
3	Число колебаний	$M=7$
4	Колебательность	$\mu = 82,5\%$
5	Период колебаний	$T=2,93$
6	Время достижения первого максимума	$T_p = 1,77 c$
7	Время нарастания	$T_r = 0,517c$
8	Декремент затухания	$x = 1,67$
9	Установившаяся ошибка	$e_{ss} = 1/2$

Исходя из таблицы, требуемый регулятор должен избавить от колебательности, так как процент колебательности, равный 82,5% слишком высокий, необходимо стремиться к минимальному значению.

2.4 Синтез интеллектуальной системы управления на основе перемещения бактерий.

Формула П-регулятора имеет вид:

$$u(t) = k_p e(t). \quad (5)$$

где k_p - коэффициент усиления пропорциональной составляющей.

Нахождение предельного коэффициента. Параметры регулятора будут выступать в качестве бактерий, которые в естественном отборе стремятся устранить животных с плохими стратегиями кормления и благоприятствует тем, кто имеет успешные стратегии кормления.

Дана передаточная функция:

$$G(s) = \frac{8}{0.00102 \cdot s^4 + 0.0856 \cdot s^3 + 1.75 \cdot s^2 + s}.$$

Находим предельный коэффициент усиления для объекта управления с П-регулятором. На рисунке 2.10 представлена функциональная схема с регулятором.

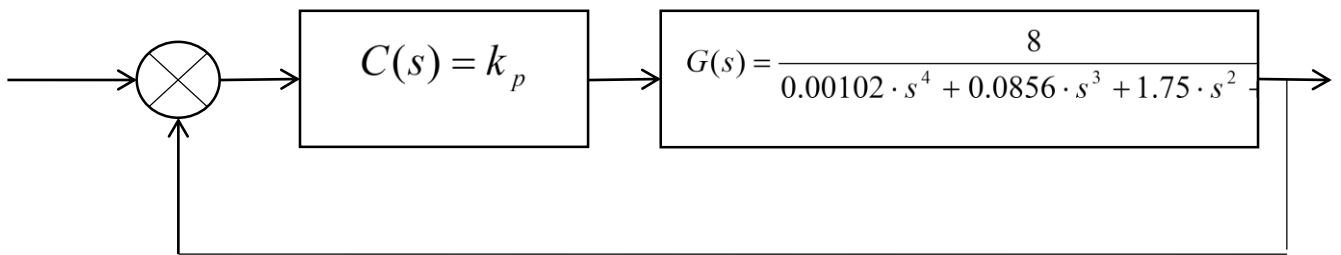


Рисунок 2.10 - Функциональная схема управления

Для этого необходимо создать передаточную функцию относительно ошибки задающего сигнала системы с регулятором:

$$T(s) = \frac{G(s) \cdot C(s)}{1 + G(s) \cdot C(s)}. \quad (6)$$

Ссылаясь на данную формулу, имеем:

$$T(s) = \frac{k \cdot k_p}{0.00102 \cdot s^4 + 0.0856 \cdot s^3 + 1.75 \cdot s^2 + s + k \cdot k_p}. \quad (7)$$

Характеристическое уравнение:

$$0.00102 \cdot s^4 + 0.0856 \cdot s^3 + 1.75 \cdot s^2 + s + k \cdot k_p = 0.$$

Выводим матрицу Гурвица:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0,0856 & 1 & 0 & 0 \\ 0,00102 & 1,75 & 8k_p & 0 \\ 0 & 0,0856 & 1 & 0 \\ 0 & 0,00102 & 1,75 & 8k_p \end{vmatrix}$$

Так как П-регулятор не вносит существенных изменений, достаточно посмотреть на параметры уравнения.

$$a_0 = 0.00102, a_1 = 0.0856, a_2 = 1.75, a_3 = 1, a_4 = k \cdot k_p.$$

Применим критерий Гурвица:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0, a_4 > 0.$$

Выпишем неравенство, в котором присутствует коэффициент k :

$$a_4 = k \cdot k_p > 0;$$
$$k > 0.$$

Предельный коэффициент усиления:

$$k > 0;$$
$$k_p < 2,538.$$

Исходя из этого необходимо, чтобы коэффициент пропорциональности, в котором система устойчива, лежал в пределе $k_p \in (0; 2,538)$.

Постановка задачи синтеза интеллектуального регулятора. При заданной математической модели объекта управления (4) необходимо найти параметры П-регулятора (5), который обеспечивает выполнение критерия качества:

$$I = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min.$$

В таком случае изначально задается преобразование:

$$I = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt = J = \frac{1}{2a_n^2 \Delta} (B_m \Delta_m + B_{m-1} \Delta_{m-1} + \dots + B_1 \Delta_1 + B_0 \Delta_0) - \frac{b_m b_{m-1}}{a_n^2}.$$

В котором параметры a и b находятся из передаточной функции замкнутой системы:

$$G(s) = \frac{8k_p}{0.00102s^4 + 0.0856s^3 + 1.75s^2 + s + 8k_p}.$$

В данном случае в системе $m=0, n=4$:

$$J = \frac{1}{2a_4^2 \Delta} (B_0 \Delta_0) - \frac{b_1 \cdot 0}{a_2^2} = \frac{1}{2a_4^2 \Delta} (B_0 \Delta_0).$$

Находим нужные параметры:

$$\Delta = \left| \begin{array}{cccc|cccc} a_4 & -a_2 & a_0 & 0 & 8k_p & -1.75 & 0.00102 & 0 \\ 0 & a_3 & -a_1 & 0 & 0 & 1 & -0.0856 & 0 \\ 0 & -a_4 & a_2 & -a_0 & 0 & -8k_p & 1.75 & -0.00102 \\ 0 & 0 & -a_3 & a_1 & 0 & 0 & -1 & 0.0856 \end{array} \right|$$

Столбец (m+1-k) заменить на вектор:

$$[a_{n-1} \quad a_n \quad 0 \quad 0\dots]^T.$$

Новая полученная матрица выглядит следующим образом:

$$\Delta_0 = \left| \begin{array}{cccc|cccc} a_4 & a_3 & a_0 & 0 & 8k_p & 1 & 0.00102 & 0 \\ 0 & a_4 & -a_1 & 0 & 0 & 8k_p & -0.0856 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & -a_0 & 0 & 0 & 1.75 & -0.00102 \\ 0 & 0 & -a_3 & a_1 & 0 & 0 & -1 & 0.0856 \end{array} \right|$$

Определитель матриц четвертого порядка были получены в командной строке MATLAB , представлен в Приложении Г.

Остальные параметры находятся по формулам:

$$a_n = 64k_p^2;$$

$$B_0 = 64k_p^2.$$

Подставив все необходимые значения в первоначальную формулу, получаем выражение интегральной квадратичной ошибки:

$$J = \frac{1}{2 \cdot 64k_p^2 \cdot (20.243k_p - 0.0056k_p^2 + 0.14878)} \cdot 64k_p^2 \cdot (1.19024k_p - 0.469k_p^2).$$

Полученное выражение используется в качестве целевой функции в методе оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий, чтобы найти значение предельного коэффициента при котором система имеет минимум.

Начальные данные метода имеют следующий вид: количество бактерий=10; количество хемотаксических стадий =10; количество шагов воспроизведения = 2; вероятность ликвидации и рассеивание = 0,25; количество о ликвидации-рассредоточении события = 2. Данные параметры дают удовлетворительные результаты по проверкам с простыми задачами на поиск экстремума. На рисунке 2.11 показан процесс поиска минимума с помощью Matlab.

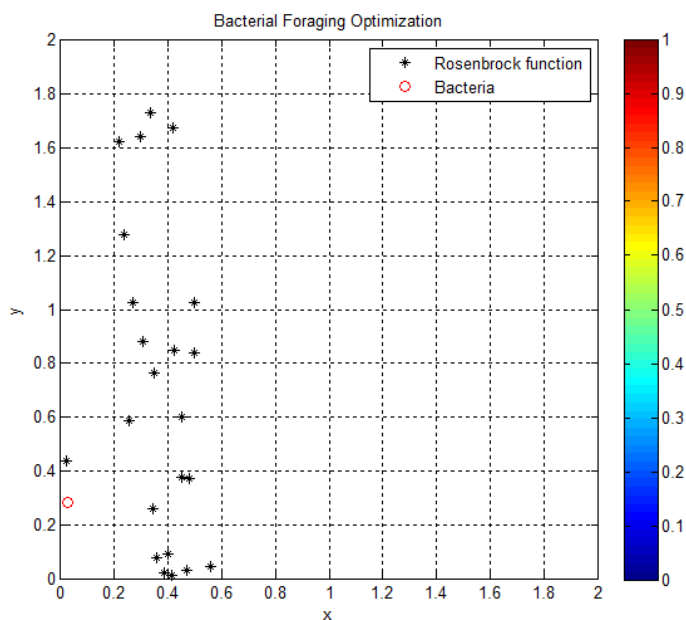


Рисунок 2.11 – Метод оптимизации BFO

Произведем расчет коэффициента пропорциональности П-регулятора для управления процессом горения топлива на основе метода перемещения бактерий. Для этого необходимо в М-файле MATLAB создать скрипт, в котором будет реализовываться критерий качества метода оптимизации настройки П-регулятора BFO в MATLAB для генерации оптимизированного значения коэффициента пропорциональности, представляющий собой k_p . Данный скрипт представлен в Приложении А.

Рассматривается взвешенная сумма целевой функции и в качестве критерия остановки эвристического поиска выбирается максимизация этой функции возмущения. Предлагаемая работа реализована с использованием программного обеспечения Matlab. Имитационное исследование выполнено для операций эталонного слежения и подавления помех. Вследствие этого получаем оптимальный коэффициент и закон управления:

$$u(t) = 0.025 \cdot e(t). \quad (8)$$

Полюса полученной системы показаны на рисунке 2.12. Исходя из данного рисунка можно заметить большую степень устойчивости, так как наименьший по модулю полюс равен -0.291.

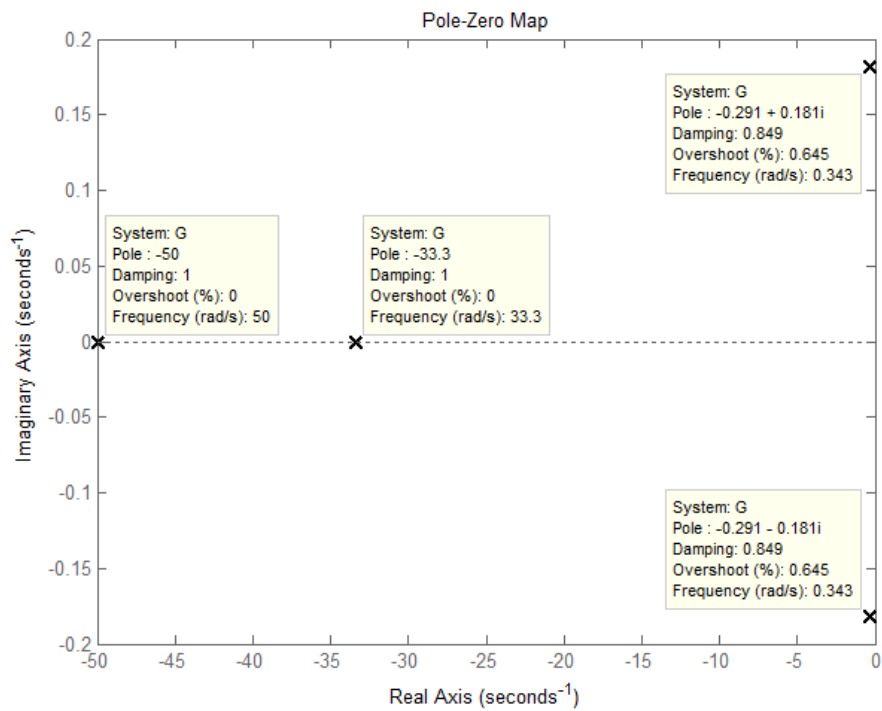


Рисунок 2.12 – Полюса системы, полученные в результате синтеза регулятора

Далее на рисунке 2.13 была получена переходная характеристика с П-регулятором.

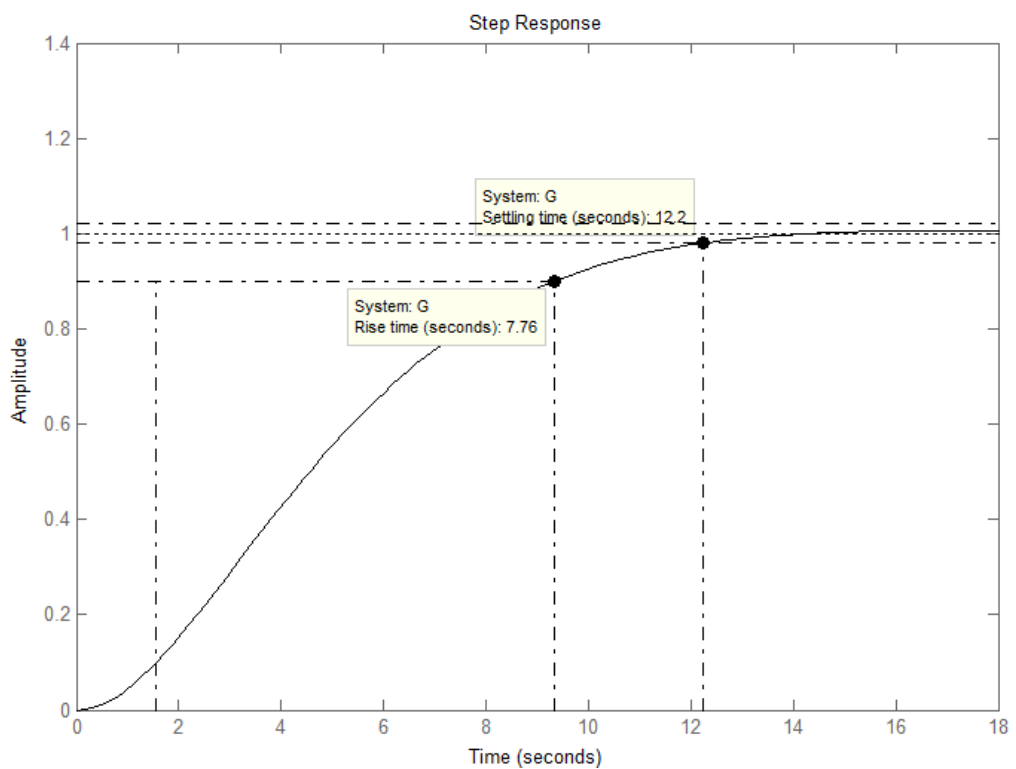


Рисунок 2.13 – Переходная характеристика с П-регулятором (8)

Программное обеспечение Control System Toolbox позволяет анализировать динамику линейных систем. Здесь позволено визуализировать поведение системы во временной и частотной областях. Также извлечь характеристики системы, такие как время нарастания, превышение и время оседания. Можно проанализировать стабильность системы. Используем эти инструменты для анализа поведения моделей установок или проверки работоспособности настроенной системы управления. На рисунке 2.13 показаны АЧХ и ФЧХ системы с регулятором и получены запасы устойчивости:

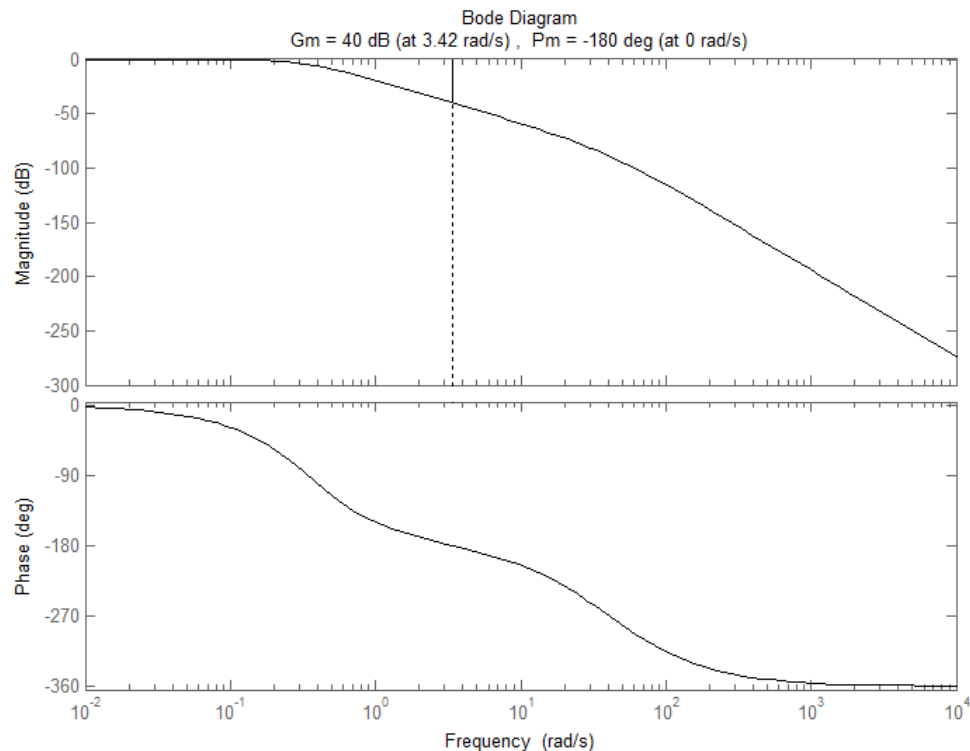


Рисунок 2.14 – АЧХ и ФЧХ системы с П-регулятором (8)

Для сравнения смоделируем в среде Matlab исходную систему, систему с регулятором на основе метода перемещения бактерий и с регулятором, полученным в результате тюнинга в Matlab. Каждый контур замыкается обратной связью через блок сумматора (Sum), на вход подается единичный ступенчатый сигнал (Step).

Выходные сигналы собираются через элемент Mux для отображения на экране осциллографа. В блоке PID Controller задается параметр Proportional (P) представляющий коэффициент k_p , в то время как значения параметров Integral (I) и Derivative (D) равняются нулю. Таким образом реализуется управление объектом по пропорциональному закону регулирования. Полученные результаты показаны на рисунке 2.14.

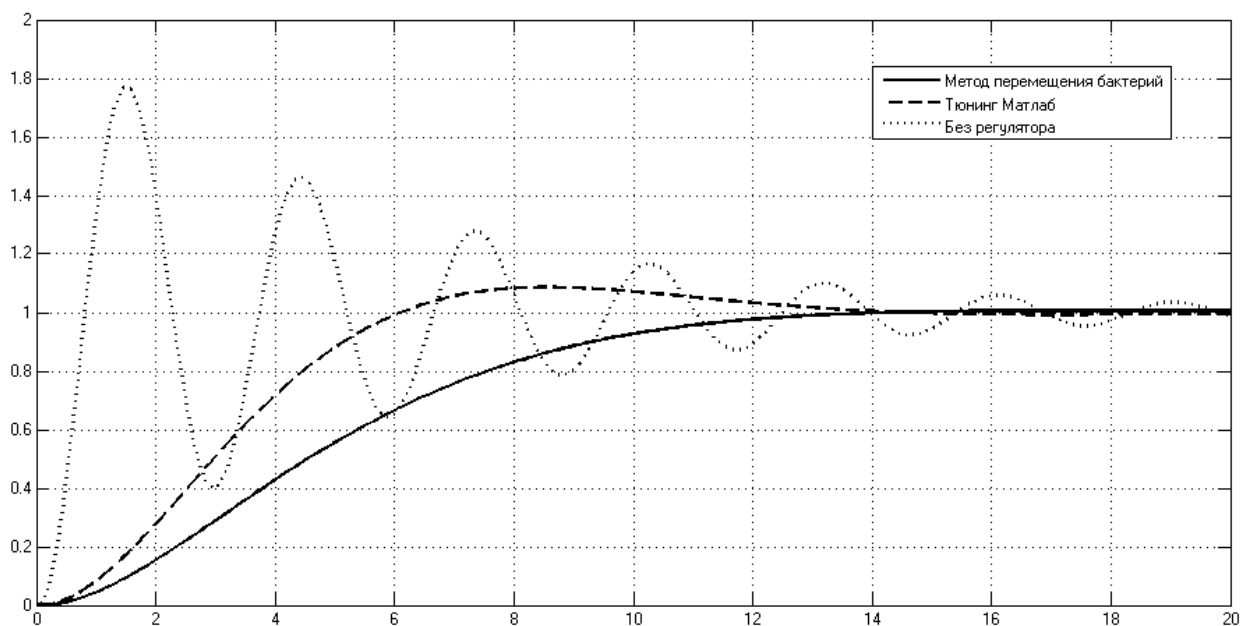


Рисунок 2.15 – Сравнение методов оптимизации

Исходя по характеристикам, можно заметить, что рассматриваемый метод имеет преимущества перед авто-настройкой, так как нет никаких колебаний. Как видно, при добавлении в систему П-регулятор, система значительно улучшается.

Детальное сравнение значения оценок качества систем с регулятором и без, рассмотрим в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Значения оценок качества системы в сравнении

№	Оценка качества	Система без регулятора	Р-регулятор
1	Время регулирования	$T_{set} = 22,1c$	$T_{set} = 12,2c$
2	Перерегулирование	$P_{ov} = 76,6\%$	$P_{ov} = 0\%$
3	Число колебаний	$M=7$	$M=0$
4	Колебательность	$\mu = 82,5\%$	-
5	Период колебаний	$T=2,93$	-
6	Время достижения первого максимума	$T_p = 1,77 c$	$T_p = 0,997 c$
7	Время нарастания	$T_r = 0,517c$	$T_r = 0,33c$

В соответствии с таблицей можно сделать вывод о том, что синтезированная система управления энергетическими объектами ТЭЦ удовлетворяет заданным требованиям и цель достигнута.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения данной дипломной работы были выполнены следующие задания:

- Разработана интеллектуальная система управления энергетическими объектами ТЭЦ, а именно барабанным котлом.

- В процессе выполнения работы были изучены особенности технологического процесса барабанного котла, а также рассмотрены различные методы автоматического управления котлом.

- Был освоен сам объект управления, а именно барабанный котёл. Потому что существует много типов котлоагрегатов, но в принципе было достаточно изучить технологические параметры одного из них. В данной дипломной работе были изучены технологические параметры барабанного котла типа БКЗ 420 – 140.

- Была разработана функциональная схема автоматизации.

- Были проанализированы динамические свойства разомкнутой и замкнутой системы и получены результаты моделирования в временной и частотной областях.

- Для разработки алгоритмов управления, произведено математическое моделирование нескольких процессов на основе данных, полученных в течение реального времени, а именно составлена математическая модель объекта управления и вычислены передаточные функции. На основе того, что колебательность не удовлетворяла, была сформулирована постановка задачи синтеза П-регулятора. Рассмотрен метод оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий. Был получен предельный коэффициент критерием Гурвица, в результате которого настраивали параметр c с помощью оптимального П-регулятора на основе интеллектуального метода.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЗС	–	автомобильная заправочная станция
АРМ	–	автоматизированное рабочее место
АСУ	–	автоматизированная система управления
ВДТ	–	видеодисплейный терминал
ВКР	–	выпускная квалификационная работа
ГОСТ	–	государственный стандарт
ГП	–	газовое пространство
ЖКХ	–	жилищно-коммунальное хозяйство
ЗИП	–	запасные инструменты и принадлежности
ИМ	–	исполнительный механизм
ИП	–	измерительный преобразователь
ИПТ	–	интеллектуальный преобразователь температуры
КЕО	–	коэффициент естественной освещённости
КИПиА	–	контрольно-измерительные приборы и автоматизация
КТС	–	комплекс технических средств
ЛАЧХ	–	логарифмической амплитудно-частотной характеристика
ЛБР	–	люминесцентные лампы с внутренним отражающим слоем
ЛФЧХ	–	логарифмической фазо-частотной характеристика
МЭК	–	международная электротехническая комиссия
НИР	–	научно-исследовательская работа
НК	–	налоговый кодекс
НПЗ	–	нефтеперерабатывающий завод
НУ	–	нормальные условия
ОУ	–	объект управления
ПВЛМ	–	пылевлагозащищенная люминесцентная модернизированная лампа
ПВС	–	паровоздушная смесь
ПК	–	персональный компьютер
ПО	–	пенсионные отчисления
ПП	–	первичный преобразователь
ПП РСЗ	–	подпрограмма расчета среднего значения
ПТ	–	преобразователь температуры
ПЭВМ	–	персональная электронно-вычислительная машина
РВС	–	резервуар вертикальный стальной
РО	–	регулирующий орган
РОЗ	–	расширенная область значений
САР	–	система автоматического регулирования
СНиП	–	строительные нормы и правила
ТЗ	–	техническое задание
ТП	–	технологически процесс

ТР	- транспортные расходы
ТСП	- термопреобразователь сопротивлений платиновый
УЛФ	- улавливание легких фракций
ФОТ	- фонд оплаты труда
ЭВМ	- электронная вычислительная машина
FSK	- frequency shift keying
HART	- highway addressable remote transducer
SCADA	- supervisory control and data acquisition
STL	- statement list
SWOT	- strengths weaknesses opportunities threats

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СО 02-04-АКТНП-007-2006. Правила технической безопасности резервуарных парков. – М.: Изд-во стандартов, 2007.
- 2 Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов / О.С. Вадутов. – Т.: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 10 с.
- 3 Техничко-экономическое обоснование: Методические указания к выполнению экономической части дипломных работ / З.Д. Еркешева. – Алматы: АУЭС, 2017. – 29 с.
- 4 Расчет затрат на разработку программного продукта: Методические указания по выполнению организационно-экономической части дипломного проекта / А.А. Михайлов, П.В. Рузанов. – О: Изд-во ОмГТУ, 2009. – 22 с.
- 5 Липаев В.В. Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных систем. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 284 с.
- 6 Метрология, стандартизация и сертификация: Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности 050702 – Автоматизация и управление) / С.Г. Хан. – Алматы: АИЭС, 2006. – 44 с.
- 7 Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов, М.: Высшая школа, 1977. – 519 с.
- 8 Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – М: Издательство «Наука», 1975. – 759 с.
- 9 Kriesel W., Heimbold T., D. Telschow. Bustechnologien fur die Automation. – Heidelberg: Huthig Verlag, 2000. – 156 с.
- 10 Безопасность жизнедеятельности: Расчет производственного освещения в выпускных работах для всех специальностей / Ж.С. Абдимуратов, С.Е. Мананбаева. – Алматы: АИЭС, 2009. – 20 с.
- 11 Розин В.Е., Коган Л.Б. Автоматизация технологических процессов. – Л.: Химия, 1982. – 235 с.
- 12 Байков Н. М. Сбор, транспорт и подготовка нефти. – М.: Недра, 1975. – 168 с.
- 13 ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
- 14 ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
- 15 Лист технических данных Rosemount 5600 // Электронная версия на сайте <http://www.emerson.com/documents/automation/лист-технических-данных-уровнемер-5600-ru-76468.pdf> .

16 Руководство по эксплуатации ДТМЗ // ALBATROS.RU:
официальный сайт ЗАО «Альбатрос». 2018.
<http://www.albatros.ru/catalog/products/level-pressure-sensors.php>.

17 Паспорт термопреобразователя ТСПУ-205 // ELEMER.RU:
официальный сайт НПП Элемер. 2018.
http://www.elemer.ru/production/temperature/txhu_205n.php.

18 Пантелеев А.В., Метлицкая Д.В., Алешина Е.А. Методы глобальной оптимизации. Метаэвристические стратегии и алгоритмы. – М.: Вузовская книга, 2013. – 244 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Скрипт М-file

```
function J = fitnessBFO(v)
% v is a vector with two elements
% -----
% Rosenbrock function

    k = v(1);
    J = ((6325941*k)/3125000 - (10914*k^2)/1953125 +
7439/50000)/(2*((7439*k)/6250 - (183184*k^2)/390625));
End
```


ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Листинг метода ВФО

```

% (1) Initialization
n = 2;           % Dimension of search space
S = 60;         % Number of bacteria in the colony
Nc = 25;        % Number of chemotactic steps
Ns = 4;         % Number of swim steps
Nre= 4;         % Number of reproductive steps
Ned= 2;         % Number of elimination and dispersal steps
Sr =S/2;        % The number of bacteria reproductions (splits) per generation
Ped=0.5;        % The probability that each bacteria will be eliminated/dispersed
c(:,1)=0.05*ones(S,1); % the run length unit (the size of the step taken in each run or tumble)
% Initial positions
for m=1:S       % the initial positions
    B(1,:,1,1)= 10*rand(S,1)';
    B(2,:,1,1)= 10*rand(S,1)';
end
%% Loops
% (2) Elimination-dispersal loop
for l = 1:Ned
    % (3) Reproduction loop
    for k = 1:Nre
        % (4) Chemotaxis (swim/tumble) loop
        for j=1:Nc
            % (4.1) Chemotactic step
            for i=1:S
                % (4.2) Fitness function
                J(i,j,k,l) = fitnessBFO(B(:,i,j,k,l));
                % (4.3) Jlast
                Jlast=J(i,j,k,l);
                % (4.4) Tumble
                Delta(:,i) = unifrnd(-1,1,n,1);
                % (4.5) Move
                B(:,i,j+1,k,l)=B(:,i,j,k,l)+c(i,k)*Delta(:,i)/sqrt(Delta(:,i)'*Delta(:,i));
                % (4.6) New fitness function
                J(i,j+1,k,l)=fitnessBFO(B(:,i,j+1,k,l));
                % (4.7) Swimming
                m=0; % counter for swim length
                while m < Ns
                    m=m+1;
                    if J(i,j+1,k,l)<Jlast
                        Jlast=J(i,j+1,k,l);
                        B(:,i,j+1,k,l)=B(:,i,j+1,k,l)+c(i,k)*Delta(:,i)/sqrt(Delta(:,i)'*Delta(:,i));
                        J(i,j+1,k,l)=fitnessBFO(B(:,i,j+1,k,l));
                    else
                        m=Ns;
                    end
                end
                J(i,j,k,l)=Jlast; %???
            end % (4.8) Next bacterium
            x = B(1,:,j,k,l);
            y = B(2,:,j,k,l);
            clf % clears figure
            run rose_fungraph.m
            plot(x,y,'*', 'markers',6) % plots figure
            axis([-1.5 1.5 -1 3]), axis square
            xlabel('x'); ylabel('y')
            title('Bacterial Foraging Optimization'); grid on
            legend('Rosenbrock function','Bacteria')
            pause(.01)
            hold on
        end % (5) if j < Nc, chemotaxis
    end % (6) Reproduction
    % (6.1) Health
    Jhealth=sum(J(:, :, k, l), 2); % Set the health of each of the S bacteria
    [Jhealth, sortind]=sort(Jhealth); % Sorts bacteria in order of ascending values
    B(:, :, 1, k+1, l)=B(:, sortind, Nc+1, k, l);
    c(:, k+1)=c(sortind, k); % Keeps the chemotaxis parameters with each bacterium at the next
    % (6.2) Split the bacteria
    for i=1:Sr % Sr??
        B(:, i+Sr, 1, k+1, l)=B(:, i, 1, k+1, l); % The least fit do not reproduce, the most fit ones spl
    end
end

```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Продолжение листинга метода ВФО

```
        c(i+Sr,k+1)=c(i,k+1);
    end
end % (7) Loop to go to the next reproductive step
% (8) Elimination-dispersal
for m=1:S
    if Ped>rand % % Generate random number
        B(1,:,1,1)= 50*rand(S,1)';
        B(2,:,1,1)= .2*rand(S,1)';
    else
        B(:,m,1,1+1)=B(:,m,1,Nre+1,1); % Bacteria that are not dispersed
    end
end
end
end

%% Results
reproduction = J(:,1:Nc,Nre,Ned);
[jlastreproduction,0] = min(reproduction,[],2); % min cost function for each bacterial
[Y,I] = min(jlastreproduction);
pbest = B(:,I,0(I,:),k,1);
display('Best solution:')
display(['x = ' mat2str(pbest(1),2)])
display(['y = ' mat2str(pbest(2),2)])
plot(pbest(1),pbest(2),'ro')
hold off
legend('Rosenbrock function','Bacteria','Best solution')
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Определение матрицы четвертого порядка:

```
Command Window
>> syms k
>> A=[8*k -1.75 0.00102 0;0 1 -0.0856 0;0 -8*k 1.75 -0.00102;0 0 -1 0.0856]

A =

[ 8*k, -7/4, 51/50000, 0]
[ 0, 1, -107/1250, 0]
[ 0, -8*k, 7/4, -51/50000]
[ 0, 0, -1, 107/1250]

>> det(A)

ans =

(7439*k)/6250 - (183184*k^2)/390625

>> M=[1 -1.75 0.00102 0;8*k 1 -0.0856 0;0 -8*k 1.75 -0.00102; 0 0 -1 0.0856]

M =

[ 1, -7/4, 51/50000, 0]
[ 8*k, 1, -107/1250, 0]
[ 0, -8*k, 7/4, -51/50000]
[ 0, 0, -1, 107/1250]

>> det(M)

ans =

(6325941*k)/3125000 - (10914*k^2)/1953125 + 7439/50000
```

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу
Алмашова Нуриля Қазбекқызы
5В070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка интеллектуальной системы управления энергетическими объектами ТЭЦ»

Перед дипломантом ставилась задача разработки интеллектуальной САУ энергетическими объектами ТЭЦ.

В первом разделе дипломной работы рассматривается САУ энергетическим объектом ТЭЦ в виде промышленного котлоагрегата и САР барабанных котлов. Разработана функциональная схема автоматизации и обоснован выбор средств автоматики.

Во втором разделе, на основе математической модели САР в виде передаточной функции сделана постановка задач анализа динамических свойств и синтеза интеллектуального регулятора. В качестве интеллектуальной методологии выбран метод оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий.

Получены алгоритмы синтеза интеллектуального регулятора в среде MATLAB.

В процессе работы автор проекта показала себя дисциплинированной, исполнительской и трудолюбивой с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: Считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломная работа соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам по специальности 5В070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студентка Алмашова Н.К. допускается к защите.

Научный руководитель
ассоциированный профессор, канд.техн.наук


(подпись)

Ширяева О.И.

«15» мая 2020 г.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Алмашева Нуриля

Название: Разработка интеллектуальной системы управления энергетическими объектами ТЭЦ

Координатор: Ольга Ширяева

Коэффициент подобия 1: 8,3

Коэффициент подобия 2: 2,6

Замена букв:1

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:5

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 8.3 и Коэффициент подобия 2: 2.6. Коэффициенты подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления: устойчивость, регулятор и пр. Белые знаки – закрашивание первых номеров страниц, исправлено. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

29.05.2020

Дата



Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Алмашева Нуриля

Название: Разработка интеллектуальной системы управления энергетическими объектами ТЭЦ

Координатор: Ольга Ширяева

Коэффициент подобия 1: 8,3

Коэффициент подобия 2: 2,6

Замена букв: 1

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 5

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;

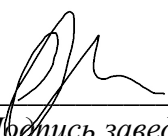
обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;

обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 8.3 и Коэффициент подобия 2: 2.6. Коэффициенты подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления: устойчивость, регулятор и пр. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

29.05.2020

Дата



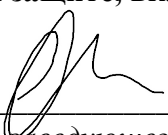
Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Дипломная работа допускается к защите.

29.05.2020

Дата



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения