

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

Турсынкулова Айгерим Мадияр кизи

«Разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе
Smart-технологий»

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.

«31» мая 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Турсынкулова А.М.

Научный руководитель

канд.техн.наук,

ассоциированный профессор

Ширяева О. И.

«25» мая 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

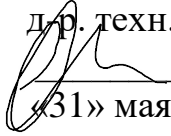
Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизации и управления

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ

д-р. техн. наук, профессор

 Сулейменов Б.А.

«31» мая 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Турсынкулова Айгерим Мадияр кизи

Тема «Разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий».

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

Срок сдачи законченной работы: «31» мая 2020 г.

Исходные данные к дипломной работе: Математическая модель технологического процесса.

Краткое содержание дипломной работы: а) описание технологического процесса электроплавки; б) анализ динамических свойств замкнутой АСУ ТП печи; в) применение Smart-технологии (генетического алгоритма) настройки типового регулятора АСУ ТП печи.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): технологическая схема автоматизации; структурная схема.

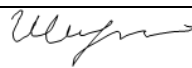
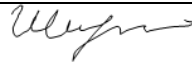

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по автоматизации технологических процессов в металлургии из 9 наименований.

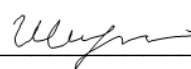
ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	20 марта 2020г.	
Специальный раздел	30 апреля 2020г.	

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.	25.05.2020	
Специальный раздел	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И.	25.05.2020	
Нормоконтролер	канд.техн.наук, ассистент профессор Сарсенбаев Н.С.	31.05.2020	

Научный руководитель  Ширяева О.И.

Задание приняла к исполнению обучающаяся  Турсынкулова А.М.

Дата "30" января 2020 г

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста Smart- технология негізінде металлургиялық өндірістің доғалы пешінің автоматты басқару жүйесін әзірлеу міндеті қарастырылады. Дипломдық жұмыс екі бөлімнен тұрады: технологиялық бөлім және есептеу бөлімі.

Бірінші тарауда технологиялық процестің сипаттамасы, заманауи доғалы болат балқыту пешінің конструкциясы және болат өндірісінің кезеңдері зерттелген және тиімді техникалық шешімдері қарастырылған.

Екінші тарауда пеш ТП АБЖ үлгілеу жүреді. Matlab ортасында ашық және тұйықталған пешті басқару жүйесін модельдеу нәтижелері анықталды. Пештің ТП АБЖ динамикалық қасиеттерін талдау нәтижесінде Ляпуновтың бірінші әдісі бойынша және найквист критерийі бойынша орнықтылық анықталды. Өтпелі процесс сапасының алынған бағаларының қажеті талаптарға сәйкес келмеуі Smart- технология негізінде, атап айтқанда генетикалық алгоритм негізінде реттеуіш синтезінің міндетіне алып келді.

Генетикалық алгоритм – бұл табиғаттағы табиғі іріктеуге ұқсас кездейсоқ таңдау, іздестірілетін параметрлерді біріктіру механизмдерін пайдаланатын эволюциялық есептеулер негізіндегі оңтайландыру әдісі. Генетикалық алгоритм организмдердің табиғи жасанды популяцияларындағы белгілерді тұқым құалаудың микробиологиялық механизмдерін ескеретін эволюцияның синтетикалық теориясын жетістіктерине, жануарлар мен өсімдіктер селекциясындағы жинақталған тәжірибеге негізіледі.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассматривается задача разработки АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий. Дипломная работа состоит из двух глав: технологическая часть и расчетная часть.

В первой главе идет анализ технологического процесса электроплавки, описана конструкция современной дуговой сталеплавильной печи, изучены этапы производства стали и рассмотрены наиболее выгодные технические решения и технологические приемы производства стали.

Во второй главе идет моделирование АСУ ТП печи. В среде Matlab были получены результаты моделирования разомкнутой и замкнутой системы управления печью. В результате анализа динамических свойств АСУ ТП печи определена устойчивость по первому методу Ляпунова и по критериям Найквиста. Несоответствие полученных оценок качества переходного процесса желаемым требованиям приводит к задаче синтеза регулятора на основе Smart-технологий, в частности на основе генетического алгоритма.

Генетический алгоритм - это метод оптимизации на основе эволюционных вычислений, использующий механизмы случайного подбора, комбинирования искомым параметров, аналогичные естественному отбору в природе. Генетический алгоритм базируется на достижениях синтетической теории эволюции, учитывающей микробиологические механизмы наследования признаков в природных искусственных популяциях организмов, а также на накопленном опыте в селекции животных и растений. На первом этапе генерируется исходная популяция хромосом. При помощи математической модели определяется индекс приспособленности каждого решения. И для каждой особи, обладающей приспособленностью выше среднего, определяется вероятность стать родителем. При этом для каждого родителя есть две возможности - либо быть скопированным в следующее поколение, либо подвергнуться воздействию генетических операторов в процессе генерирования хромосомы потомка. Далее оценивается приспособленность потомков, постепенно заполняя популяцию следующего поколения. Работа алгоритма прекращается при достижении популяцией состояния адаптации.

На основе генетического алгоритма выполнен синтез интеллектуального П-регулятора, с целью минимизации интегрального критерия качества. С использованием пакета GATOOOL входящий в состав среды MatLab, был вычислен коэффициент пропорциональности П-регулятора. Анализ оценок качества переходного процесса с использованием П-регулятора на основе генетического алгоритма показал, что оценки качества удовлетворяют желаемым требованиям.

ANNOTATION

This thesis considers the problem of developing an automated control system for an arc furnace of metallurgical production based on Smart technologies. The thesis consists of two chapters: the technological part and the calculation part.

The first Chapter analyzes the technological process of electric melting, describes the design of a modern arc steel furnace, examines the stages of steel production and considers the most profitable technical solutions and technological techniques for steel production.

In the second Chapter, there is a simulation of the automatic control system of the furnace. In the Matlab environment, the results of simulation of an open and closed furnace control system were obtained. As a result of the analysis of the dynamic properties of the furnace APCS, stability was determined using the first Lyapunov method and the Nyquist criteria. The discrepancy between the obtained estimates of the quality of the transition process and the desired requirements leads to the task of synthesizing a regulator based on Smart technologies, in particular, on the basis of a genetic algorithm.

The genetic algorithm is an optimization method based on evolutionary calculations that uses mechanisms of random selection, combining the desired parameters, similar to natural selection in nature. The genetic algorithm is based on the achievements of the synthetic theory of evolution, which takes into account the microbiological mechanisms of inheritance of traits in natural artificial populations of organisms, as well as on the accumulated experience in the selection of animals and plants. At the first stage, the initial population of chromosomes is generated. A mathematical model is used to determine the fitness index of each solution. And for each individual with above-average fitness, the probability of becoming a parent is determined. In this case, each parent has two possibilities - either to be copied to the next generation, or to be exposed to genetic operators in the process of generating the descendant's chromosome. Then the fitness of the descendants is assessed, gradually filling the population of the next generation. The algorithm stops working when the population reaches the adaptation state.

On the basis of a genetic algorithm, the synthesis of an intelligent P-controller was performed in order to minimize the integral quality criterion. Using the GATOOL package, which is part of the MatLab environment, the P-controller proportionality coefficient was calculated. Analysis of the transition process quality estimates using a PI-controller based on a genetic algorithm showed that all quality estimates meet the desired requirements.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 АСУ ТП дуговой печи металлургического производства	10
1.1 Технологического процесса электроплавки	10
1.2 Конструкция современной дуговой сталеплавильной печи	11
2 Расчетная часть	15
2.1 Разработка структурной схемы и моделирование АСУ ТП печи	15
2.2 Получение результатов моделирования разомкнутой системы	19
2.3 Анализ динамических свойств АСУ ТП печи	24
2.4 Оценки качества переходного процесса АСУ ТП печи	27
2.6 Генетический алгоритм настройки типового регулятора	32
Заключение	38
Список использованной литературы	40

ВВЕДЕНИЕ

Металлургия - отрасль тяжелой промышленности, охватывающая процессы получения металлов из руд и других материалов, производства сплавов. Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами металлургии обуславливается ростом потребности в высококачественной металлопродукции, соответствующей мировым стандартам.

Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологическим процессом способствует повышению эффективности производства. Современные тенденции развития промышленной автоматизации в металлургии характеризуется широким применением информационных технологий. Среди них особо выявлены экспертные системы поддержки принятия решений, разработка и использование аппарата искусственного интеллекта в системах автоматизации металлургических процессов.

Целью данной дипломной работы является разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий.

В первой главе приводится полное описание технологического процесса: устройство современной дуговой сталеплавильной печи и технология выплавки стали, а также принцип работы дуговой сталеплавильной печи.

Во второй главе будут получены структурные и функциональные схемы и получение математической модели АСУ ТП печи, анализ динамических свойств АСУ ТП печи, в результате которого будет определена устойчивость системы первым методом Ляпунова и критериями Найквиста и будет выполнена задача синтеза регулятора на основе Smart- технологий, в частности генетического алгоритма.

Применение Smart-технологий для синтеза регулятора имеет ряд преимуществ над другими методами синтеза: параметрической настройкой типовых регуляторов, настройкой на основе математического анализа, модальном управлении и т.д. При модальном управлении трудность заключается в выборе и определении желаемой динамики замкнутой системы, а при настройке параметров на основе математического анализа увеличивается порядок системы.

На основе генетического алгоритма выполнен синтез П-регулятора, с целью минимизации интегрального критерия качества. С использованием пакета GATOOL входящий в состав среды MatLab, был вычислен коэффициент пропорциональности П-регулятора.

В заключении производятся полученные результаты моделирования, выполняется анализ выполненной работы.

1 АСУ ТП дугой печи металлургического производства

1.1 Технологический процесс электроплавки

Дуговая сталеплавильная печь - электрическая плавильная печь, в которой используется тепловой эффект электрической дуги для плавки металлов и других материалов. Применение дуговых печей обуславливается рядом преимуществ над другими плавильными агрегатами:

- устранение вредных примесей в плавильном пространстве при температуре 1800° С;
- получение разнообразных сортов стали с наличием установленной концентрации химических элементов;
- обеспечение точности контроля температур;
- снижение угара сырья и свободное окисление химических элементов.

Автоматическое регулирование температурного режима, уровня температуры в печи определяет уровень теплопередачи к металлу, быстроту нагрева и распределение температуры вдоль поверхности металла и устанавливает индекс интенсивности образования окалины. Все вышеперечисленные параметры характеризуют технологический процесс термической обработки материала и функционирование дуговой печи.

Исходным материалом для электроплавки является гранулированная шихта, представляющая собой смесь с содержанием меди, железа, окиси кальция, двуокиси кремния и серы. Высушенную шихту загружают в бункера печи, из них по течкам материал поступает в ванну печи, образуя откосы шихты вокруг электродов. В ванну печи сливается конвертерный шлак, который применяется в качестве оборотного материала и оказывает влияние на процесс шлакообразования. Результатом процесса плавки в печи являются штейн, и отвальной шлак. Выпуск штейна выполняется через шпурсы печи, отвальные шлаки выпускаются в шлаковозные чаши [1].

Работа дуговой печи происходит при высокой мощности и экстремальных условиях колебаний температуры. В процессе плавления металла поверхность шихты налагается пленкой, целью которой является защита поверхности металла от вредных газов. За счет чего происходит проникновение различных отрицательно воздействующих элементов.

В процессе окисления идет повышение температуры в агрегате, способствуя равномерному корректированию вредных элементов на поверхности металла.

Результатом процесса восстановления является полное устранение с поверхности металла вредных веществ, и химическое содержание металла достигает стандартных индексов. Конструктивные и функциональные особенности печного механизма оказывают на технологический процесс производства.

Процесс электроплавки способствует снижению затрат на энергопотребление, уменьшению неблагоприятных воздействий на

окружающую среду и обладает свойством адаптации в различных условиях. Безвозвратность потерь металла со шлаками, энергоемкость оказывают отрицательное влияние на экономические показатели производства.

Рассматривая процесс электроплавки, как объект управления выявлены следующие особенности:

- 1) Входными материальными потоками процесса являются электроэнергия и шихта, выходными характеристиками являются штейн и шлак.
- 2) Большой объем ванны печи способствует инерционности процесса плавки.
- 3) На процесс плавки оказывает ряд возмущающих факторов – износ кладки, дрейф состава сырья, обгорание электродов, изменения сопротивления дугового разряда, полученных колебаниями температурных значений в пространстве дугового разряда.

Общеустановленным решением является использование соблюдающих производственных решений и технологических режимов сталелитейного выпуска в дуговой печи:

- процесс плавления лома начинается с остаточной порции предшествующей плавки;
- основной причиной использования топливо-кислородных горелок является форсированный уровень плавки остаточного материала в нижних зонах рабочего пространства печи;
- способность использовать длинную дугу, которая предельно глубоко размещена на уровне пенистого печного шлака;
- обширное употребление технического кислорода;
- эркерный выпуск стали без содержания шлакообразующих материалов [2].

1.2 Конструкция дуговой сталеплавильной печи

Устройство корпуса модернизированной электропечи способствует выполнению соблюдающихся технологических требований к производству стали:

- обширное употребление охлаждаемых составных частей;
- целесообразная установка технологического оборудования;
- наименьшую длительность останова печи при замене кожуха;
- разделение конструкции печи для снижения грузоподъемности мостового крана;
- наименьшее использование огнеупорных материалов и качественный холодный ремонт футеровки.

На рисунке 2.1 показана схема автоматизации дуговой печи.

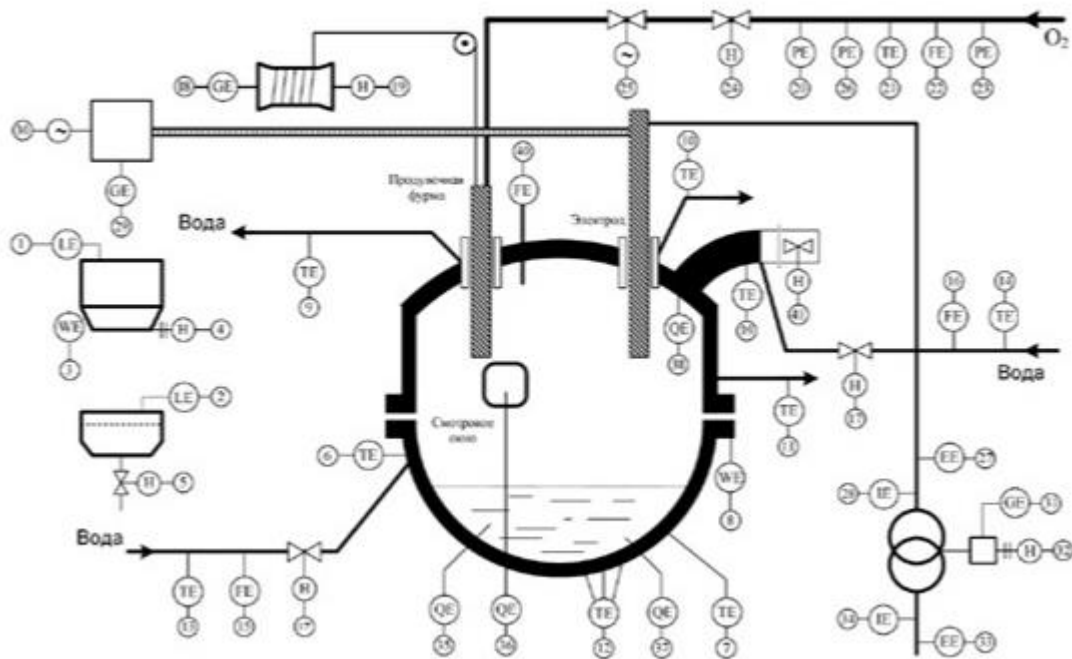


Рисунок 1.1 – Функциональная схема автоматизации печи

Корпус ДСП имеет две разъединительные части по рубежу тугоплавкой облицовки и охлаждаемых рам - днища и кожуха печи.

Днище кожуха печи воспроизводит форму ванны печи и облицовано тугоплавкими элементами. Шамотная фанеровка ванны печи содержит подину и боковые стены, функционирует в экстремальных режимах падений и роста температуры, значительных термических загрузок, химического приема шихтовых материалов. Для тепловой заполненной части тугоплавкой облицовки стен над остаточным поясом проектируют равномерное использование высокоогнеупорного углеродистого кирпича на синтетической аспидной связке с наличием сохранившегося углерода. В подине наблюдаются, как правило, несколько закруглений с крепежом для установления продувочных пробок.

Кожух печи создает незамещенное пространство и выступает в роли охлаждаемого трубчатого каркас-наполнитель, выполненный сваркой из нескольких горизонтальных поясов и вертикальных стоек. Внутреннее пространство кожуха выполнено с использованием настенной охлаждаемой обшивки. Неоспоримым преимуществом охлаждаемой обшивки является беспрепятственная замена составных частей конструкции разъемными соединениями. Трубчатый каркас поддерживает значительную твердость конструкции, а также используется в качестве наполнителя охлаждающей воды в системе. Снижение массы и размеров деталей каркаса обеспечивается охлаждением каркаса печи. Продолжительность использования каркаса обеспечивается значительной выносливостью к термическому воздействию. Для демонтажа динамичных стеновых топливо-кислородных горелок по

верхней и нижней поверхности кожуха размещают несколько технологических окон. Для подачи дробленых и пылеобразных материалов размещен инжектор стандартного размера. Для обеспечения рационального объема выпуска стали в выполнено отверстие в крышке эркера.

Свод дуговой печи отделяет сверху рабочее пространство печи и устанавливается на кожухе. Свод ДСП имеет главную и периферийную части. Главная огнестойкая часть изготавливается из высокоглиноземистого кирпича или жаропрочного бетона и может иметь округленную форму. Огнестойкая главная часть на основании упирается на кольцо малого свода. Конструкция кольца малого свода выполнена в виде трубчатой конструкции, которая способствует быстрой замене огнестойкой центральной части. Впуск шлакообразующих материалов и отверстия для патрубка отсасывания газа размещаются в периферийной части свода. Каркас - коллектор изготавливается из металла в виде опорной рамы посредством сварки, является основной составной частью для крепления охлаждаемые водой, панелей. Внутренняя и наружная поверхность каркаса представляет собой кольца, соединенные между собой трубчатыми спицами.

Основание дуговой сталеплавильной печи выполняется в виде стальной сварной конструкции, на верхней горизонтальной платформе которой размещен корпус печи и роликовый венец механизма для поворота свода и электродов. Наполнение остаточным материалом в основание рабочего окна и выпуск стали в отверстие в эркере печи обеспечивается наклоном корпуса печи в обе стороны. Наклон корпуса в обе стороны обеспечивают два опорных сегмента, которые являются основанием для платформы печи. Функцию механизма для подъема свода и электродов устанавливает опора электродержателей современных печей. В поперечном сечении опора имеет цилиндрическую форму, и движется вдоль по направлению вертикальной оси.

Сваливание шихты бадьями для раскрытия рабочего пространства ДСП выполняется путем подъема и поворота свода с электродами. Поворот электродержателей, обеспечиваемый разъемной конструкцией ДСП, способствует замедленному устранению критического закручивания узла короткой сети. Электродержатели печи изготавливают из токопроводящих материалов. На нижней поверхности выделяется изотермическая зона, возникающая в следствие неравномерности плотности расплава. На подушке колонны электродержателя устанавливается электрическая обособленность.

Система электроснабжения ДСП состоит из электропечного трансформатора и реактивное сопротивление, контролирующее суммарное электрическое сопротивление контура печи, что способствует в процессе плавки снижению работы силы тока и возрастанию вторичного напряжения. Подвод электроэнергии в печь осуществляется через электроды, погруженные в шлаковый слой. Доля мощности выделяемой в электродной зоне, в зависимости от различных условий, может колебаться от 50% до 80%. Ток в ванне печи протекает в двух направлениях – между электродами, а также между электродами и подоной печи. Доля протекания тока в первом

направлении невелика, так как электрическое сопротивление между электродами намного выше, чем сопротивление электрод-под. Зона главного тепловыделения находится на расстоянии двух диаметров электрода от его оси, что служит неравномерному распределению температуры в печи.

2 Расчетная часть

2.1 Разработка структурной схемы и получение математической модели АСУ ТП печи

На рисунке 2.1 показана функциональная схема системы управления дуговой печью.

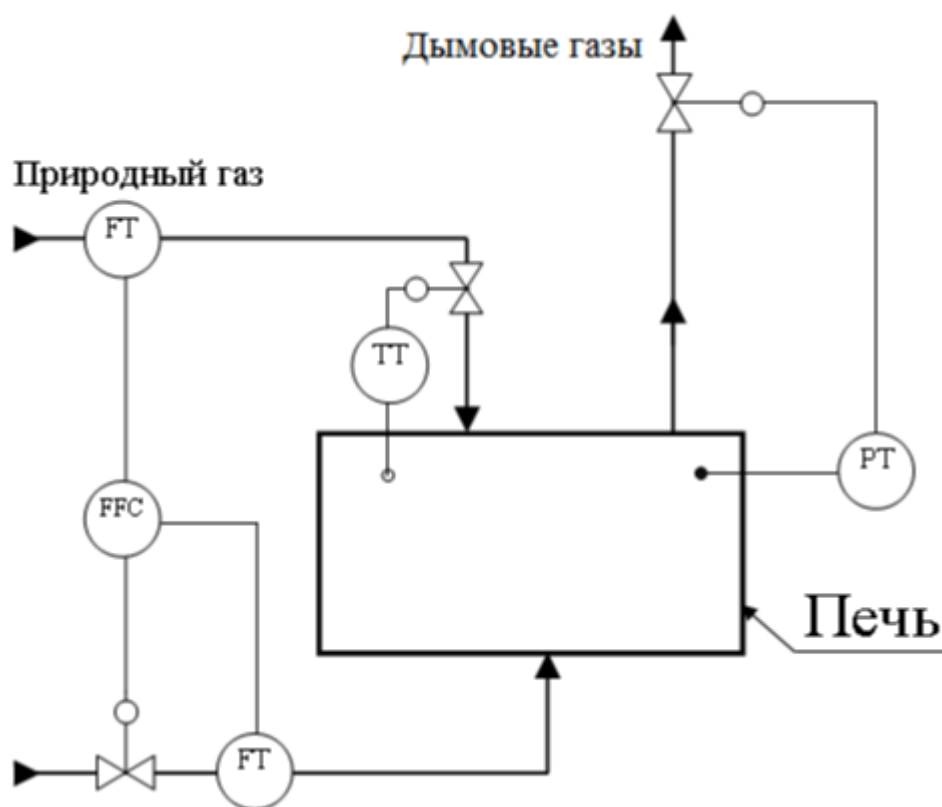


Рисунок 2.1 – Функциональная схема системы управления дуговой печью

Описание АСУ ТП печи и построение ее функциональной схемы.

Дуговая сталеплавильная печь (П)- электрическая плавильная печь, в которой используется тепловой эффект электрической дуги для плавки металлов и других материалов.

Усилитель (У) - это элемент системы автоматического регулирования основным назначением которого, является повышения входного сигнала до начала функционирования исполнительного двигателя.

Исполнительный двигатель (ИД) – это механизм, который оказывает влияние на регулирующей орган посредством изменения электрического сигнала в угловое перемещение вала.

Термометр сопротивления (ТС) - это датчик, предназначенный для измерения температуры. В них используется зависимость сопротивления

металлов от температуры измеряемой среды.

Редуктор – устройство, основной функцией которого является передача мощности вращением вала для снижения усилия, используемого приводом.

На рисунке 2.2 изображена функциональная схема системы управления печью, согласно ее принципиальной схеме.

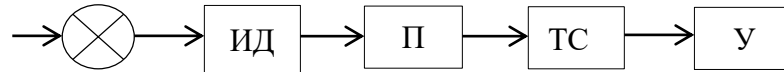


Рисунок 2.2 - Функциональная схема системы управления печью

Уравнения и передаточные функции АСУ ТП печи.

Печь

$$\Delta\theta = \theta_3 - \theta, \quad (2.1)$$

$$T_0 \frac{d}{dt} \Delta\theta + \Delta\theta = k_0 \cdot \mu - k \cdot f. \quad (2.2)$$

Потенциометрический мост:

$$u_m = k_d \cdot \theta. \quad (2.3)$$

Усилитель:

$$T_m \cdot \frac{d}{dt} u_u + u_u = k_m \cdot u_m. \quad (2.4)$$

Двигатель с редуктором:

$$T_{\partial\theta} \cdot \frac{d^2}{dt^2} \mu + \frac{d}{dt} \mu = k_{\partial\theta} \cdot u_u. \quad (2.5)$$

Здесь:

θ - температура печи (регулируемая величина);

θ_3 - заданное значение температуры печи;

$\Delta\theta$ - отклонение температуры;

u_0 - напряжение питания моста;

u_m - выходное напряжение моста;

μ - перемещение клапана;

f - возмущение.

В таблице 2.1 приведены данные для схемы.

Таблица 2.1 - Таблица данных

№	T_0	k_0	k_1	k_d	T_m	k_m	$T_{\text{дв}}$	$k_{\text{дв}}$	F
	С	см	см	См			С	$\frac{\text{см}}{\text{Вс}}$	См
1	2,0	5,0	1,2	0,8	0,01	20	0,05	0,10	1+0,5t

Получаем следующие передаточные функции элементов АСУ ТП печи:

Потенциальный мост:

$$G_m(s) = \frac{u_m}{\theta} = K_d = 0.8 \quad (\text{пропорциональное звено}). \quad (2.6)$$

Усилитель:

$$G_y(s) = \frac{k_m}{T_m s + 1} = \frac{20}{0.01s + 1} \quad (\text{апериодическое звено 1-го порядка}). \quad (2.7)$$

Двигатель с редуктором:

$$G_{\text{ид}}(s) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}} s + s} = \frac{0.1}{0.05s^2 + s} \quad (\text{звено интегрирования}). \quad (2.8)$$

Печь:

$$G_n(s) = \frac{k_o}{T_o s + 1} = \frac{5}{2s + 1} \quad (\text{апериодическое звено 1-го порядка}). \quad (2.9)$$

Получение структурной схемы для разомкнутой и замкнутой системы управления печью.

На рисунке 2.3 изображена структурная схема разомкнутой системы управления печью.

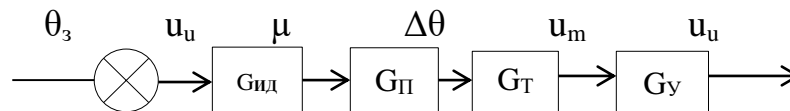


Рисунок 2.3 - Структурная схема разомкнутой системы управления печью

Согласно структурной схеме получим передаточную функцию для разомкнутой системы:

$$G_{pc}(s) = G_m(s) \cdot G_y(s) \cdot G_{\text{ид}}(s) \cdot G_n(s). \quad (2.10)$$

$$G_{pc}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s} \quad (2.11)$$

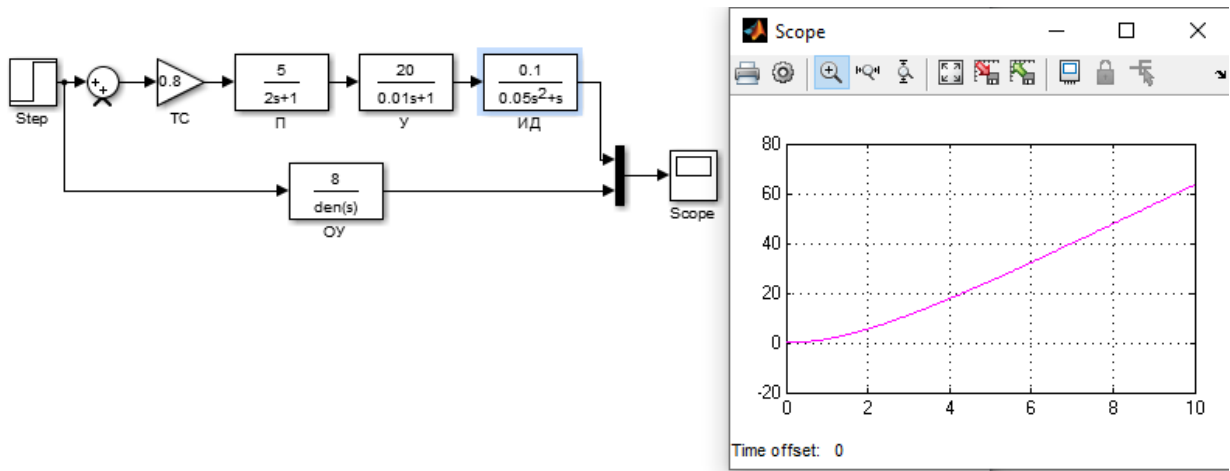


Рисунок 2.4 – Переходной процесс разомкнутой системы

На рисунке 2.5 изображена структурная схема замкнутой системы управления печью.

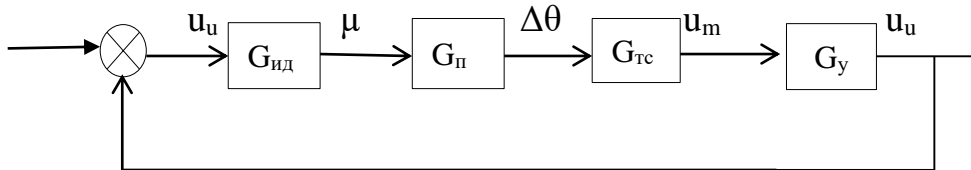


Рисунок 2.5 - Структурная схема замкнутой системы управления печью.

Передаточная функция для замкнутой системы:

$$G_{зс}(s) = \frac{G_{PC}(s)}{1 + G_{PC}(s)} \quad (2.12)$$

$$G_{зс}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8} \quad (2.13)$$

На рисунке 2.6 получен переходной процесс замкнутой системы.

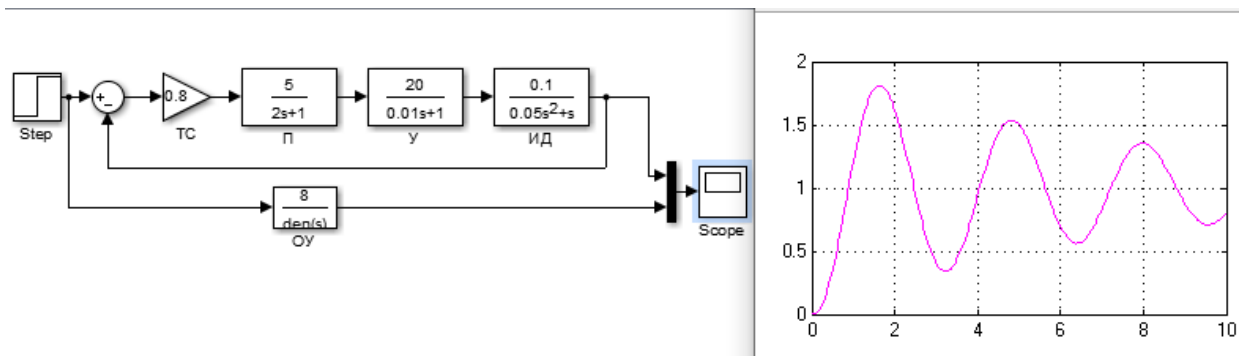


Рисунок 2.6 – Переходной процесс замкнутой системы

Из рисунка 2.6 видно, что в замкнутой системе изменился переходной процесс: увеличилось число колебаний.

2.2 Получение результатов моделирования разомкнутой системы управления печью

Переход от операторного вида передаточной функции разомкнутой системы управления печью к частотному виду.

Используем преобразование Лапласа для того, чтобы получить действительную и мнимую части разомкнутой системы:

$$G_p(jw) = \frac{8}{0.001w^4 - 0.1205jw^3 - 2.06jw^2 + jw}. \quad (2.14)$$

Умножаем дробь на сопряженное число:

$$G_p(jw) = \frac{8 \cdot (0.001w^4 + 0.1205jw^3 - 2.06w^2 - jw)}{(0.001w^4 - 0.1205jw^3 - 2.06w^2 + jw) \cdot (0.001w^4 + 0.1205jw^3 - 2.06w^2 - jw)}. \quad (2.15)$$

$$G_p(jw) = \frac{(0.008w^4 + 0.964jw^3 - 16.48w^2 - 8jw)}{(0.000001w^8 + 0.00186w^6 + 4.0026w^4 + w^2)}.$$

Отделяем действительную и мнимую часть по формуле:

$$G_p(jw) = \text{Re}(jw) + \text{Im}(jw),$$

$$\text{Re}(w) = \frac{0.008w^4 - 16.48w^2}{(0.000001w^8 + 0.00186w^6 + 4.0026w^4 + w^2)}. \quad (2.16)$$

$$\text{Im}(w) = \frac{0.964w^3 - 8w}{0.000001w^8 + 0.00186w^6 + 4.0026w^4 + w^2}. \quad (2.17)$$

В выражении (2.17) получена действительная часть разомкнутой системы и в выражении (2.18) получена мнимая часть.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы управления печью.

Чтобы построить АФЧХ изменяем значения частоты и рассчитываем действительную и мнимую части разомкнутой системы [4]. В таблице 2.2 указаны полученные результаты.

Таблица 2.2 – Таблица результатов действительной и мнимой частей разомкнутой системы.

ω	2	1	0.5	0.2
Re	-1.06	-3.14	-7.7	-12.7
Im	-0.153	-1.33	-6.8	-20.4

Амплитудно-фазовая частотная характеристика указана на рисунке 2.7.

Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики разомкнутой системы управления печью.

Амплитудно-частотная характеристика:

$$M(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)}.$$

Используя значения действительной и мнимой частей разомкнутой системы, находим:

$$M(\omega) = \frac{\sqrt{0.000064\omega^8 + 271.59\omega^4 + 0.929\omega^6 + 64\omega^2}}{(0.000001\omega^8 + 0.00186\omega^6 + 4.0026\omega^4 + \omega^2)}.$$

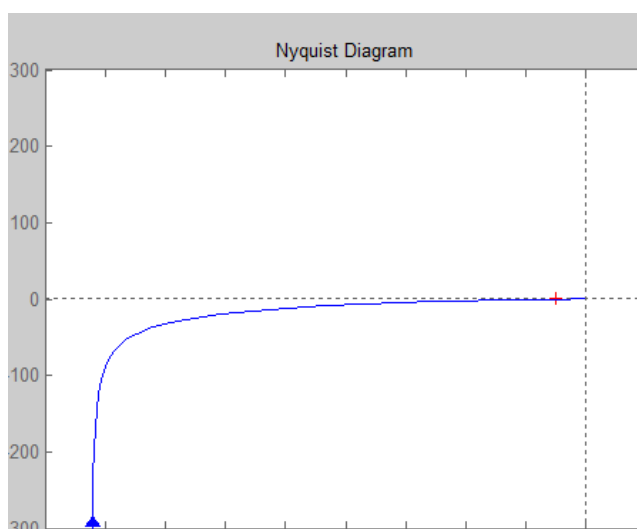


Рисунок 2.7 - Амплитудно-фазовая частотная характеристика

Рассчитываем значения амплитудно-частотной характеристики в зависимости от изменения частоты. Значения амплитудно-частотной характеристики найдены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Таблица значений амплитудно-частотной характеристики

ω	0	2.5	10	∞
$M(\omega)$	∞	-3.81	-30.2	0

Амплитудно-частотная характеристика разомкнутой системы управления печью показана на рисунке 2.8.

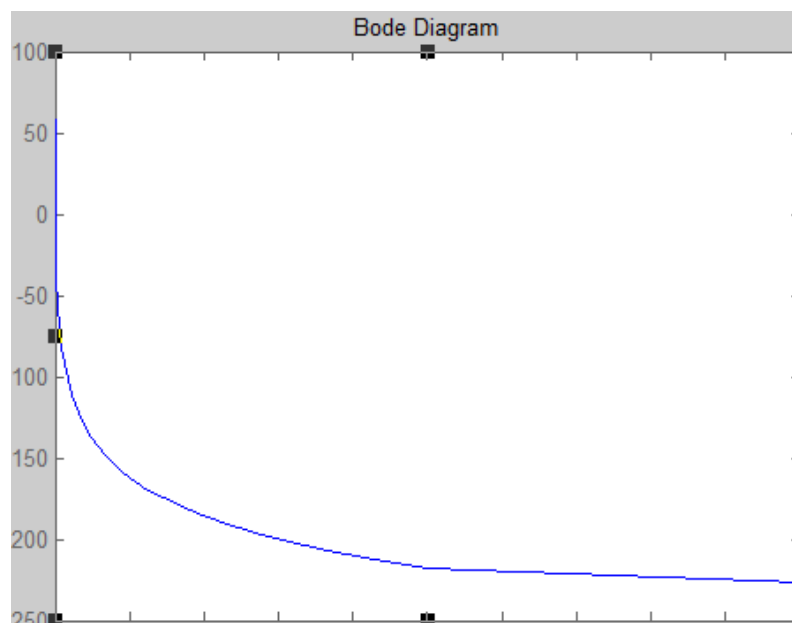


Рисунок 2.8 - Амплитудно- частотная характеристика разомкнутой системы

Фазо-частотная характеристика:

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re}(w)}{\operatorname{Im}(w)},$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{-0.964\omega^3 - 8\omega}{0.008\omega^4 - 16.48\omega^2}.$$

Аналогичным образом, рассчитываем значения фазо-частотной характеристики разомкнутой системы управления печью. Полученные результаты приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Таблица значений фазо-частотной характеристики

ω	1	10	100	1000	∞
$\Phi(\omega)$	-154	-210	-298	-353	360

Фазо-частотная характеристика разомкнутой системы управления печью изображена на рисунке 2.9.

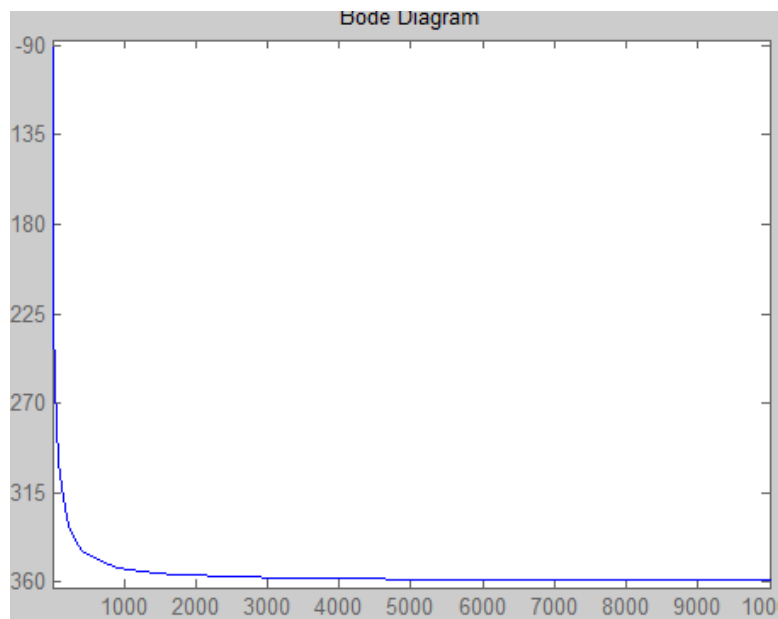


Рисунок 2.9 Фазо-частотная характеристика разомкнутой системы

Логарифмическая амплитудно-частотная и логарифмическая фазо-частотная характеристики разомкнутой системы управления печью.

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика:

$$L(\omega) = \lg(M(\omega)).$$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика разомкнутой системы управления печью изображена на рисунке 2.10.

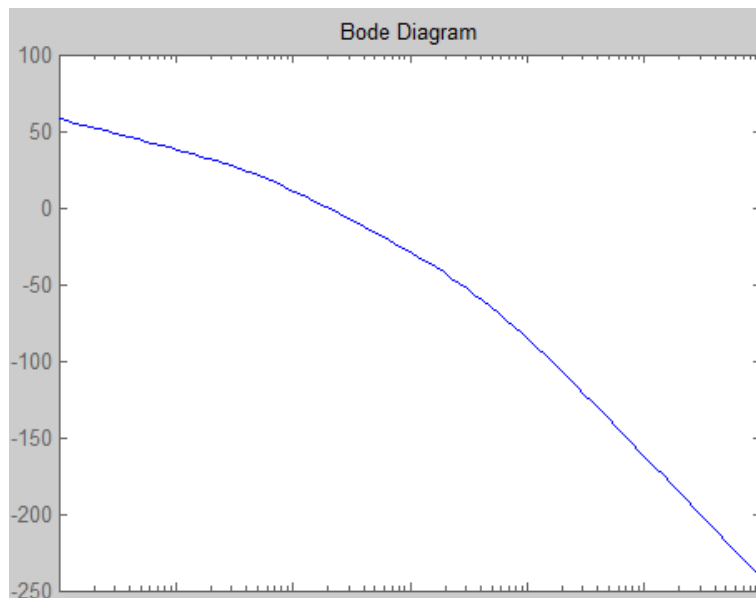


Рисунок 2.10 - Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика

Логарифмическая фазо-частотная характеристика:

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re}(w)}{\operatorname{Im}(w)}.$$

На рисунке 2.11 изображена логарифмическая фазо-частотная характеристика разомкнутой системы управления печью.

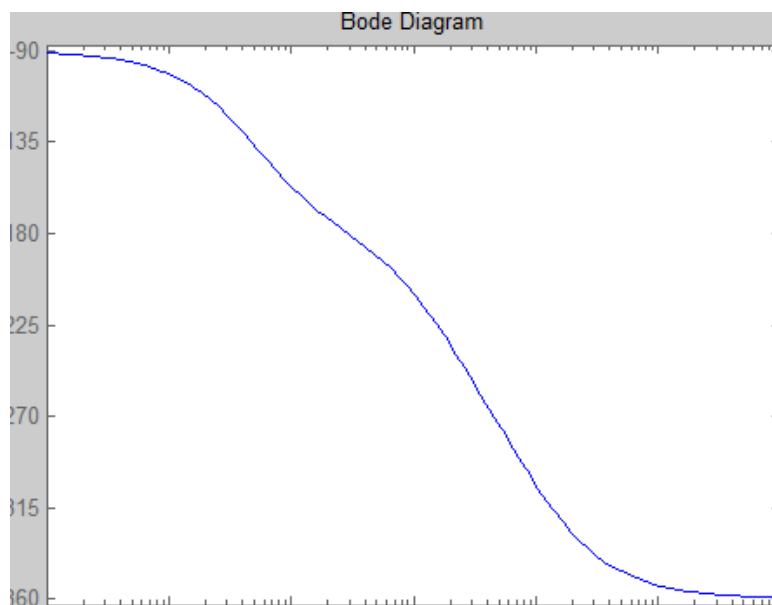


Рисунок 2.11 - Логарифмическая фазо-частотная характеристика

Использование логарифмических масштабов в частотных характеристиках устраняет проблему представления значений амплитуд и частот при рассмотрении и сравнении частотных характеристик [5].

2.3 Анализ динамических свойств АСУ ТП печи

Анализ устойчивости по первому методу Ляпунова.

Передаточная функция разомкнутой системы управления:

$$G_{pc}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s},$$

где характеристическое уравнение:

$$0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s = 0. \quad (2.18)$$

Корни характеристического уравнения равны:

$$s_1 = 0;$$

$$s_2 = -100;$$

$$s_3 = -20;$$

$$s_4 = -0.5$$

По первому методу Ляпунова разомкнутая система находится на границе устойчивости, так как один полюс передаточной функции равен нулю, а остальные отрицательные.

Устойчивость замкнутой системы.

Передаточная функция замкнутой системы:

$$G_{pc}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8},$$

где характеристическое уравнение:

$$0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8 = 0. \quad (2.19)$$

Корни характеристического уравнения равны:

$$s_1 = -99.98;$$

$$s_2 = -20.25;$$

$$s_3 = -0.12196 + 1.9834i;$$

$$s_4 = -0.12196 - 1.9834i$$

По первому методу Ляпунова замкнутая система является устойчивой, так два полюса отрицательные, а остальные имеют отрицательные действительные части.

Устойчивость разомкнутой АСУ ТП печи по критерию Гурвица.

Характеристическое уравнение разомкнутой системы (2.19):

$$0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s = 0,$$

Параметры характеристического уравнения:

$$a_0 = 0.001;$$

$$a_1 = 0.1205;$$

$$a_2 = 2.06;$$

$$a_3 = 1;$$

$$a_4 = 0$$

Строим матрицу Гурвица по найденным параметрам:

$$\begin{array}{cccc} 0.1205 & 1 & 0 & 0 \\ 0.001 & 2.06 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1205 & 1 & 0 \\ 0 & 0.001 & 2.06 & 0 \end{array}$$

Найдем определители всех главных миноров матрицы Гурвица:

$$\Delta_1 = 0.1205;$$

$$\Delta_2 = 0.2472;$$

$$\Delta_3 = 1.03e + 0.2;$$

$$\Delta_4 = 0$$

Согласно критерию Гурвица разомкнутая система находится на границе устойчивости: $\Delta_4 = 0$, а остальные определители больше нуля.

Устойчивость замкнутой АСУ ТП печи по критерию Найквиста.

По критерию устойчивости Найквиста замкнутая система находится на границе устойчивости, так как по теореме Ляпунова разомкнутая система находится на границе устойчивости, а АФЧХ разомкнутой системы (рисунок 2.12) проходит через точку $(-1, 0j)$.

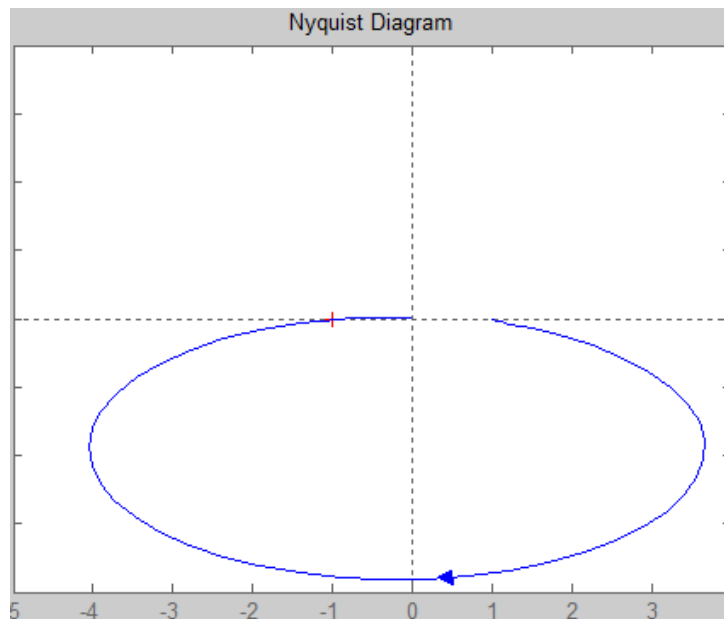


Рисунок 2.12 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы

Устойчивость замкнутой АСУ ТП печи по логарифмическому критерию Найквиста.

Замкнутая система управления дуговой печи является устойчивой, так как ЛАЧХ разомкнутой системы проходит через точку частоты среза раньше, чем ЛФЧХ проходит точку частоты равной -180° . Данный график изображен на рисунке 2.13.

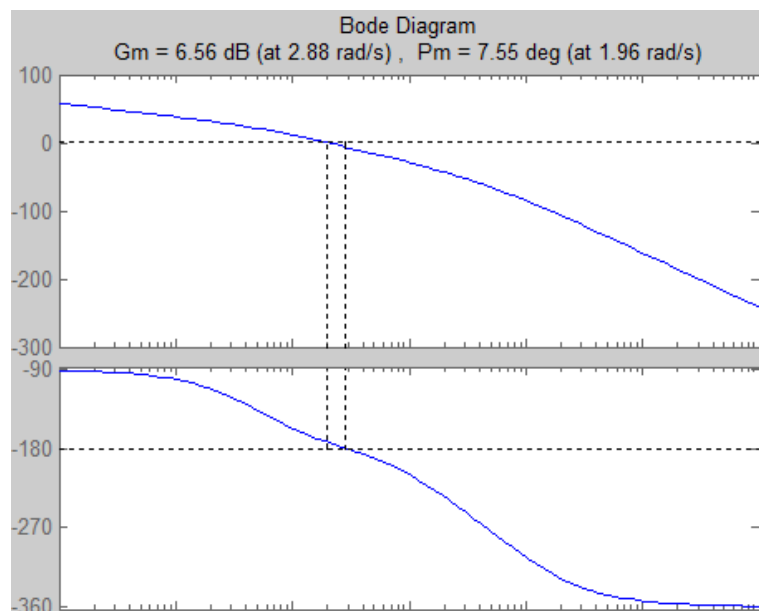


Рисунок 2.13 - Логарифмическая амплитудно-частотная и логарифмическая фазо-частотная характеристики разомкнутой системы

Анализ запасов устойчивости системы по логарифмическим характеристикам.

Запас устойчивости по амплитуде показан на рисунке 2.13 и равно 6.56 дБ.
 Запаса устойчивости по фазе показан на рисунке 2.13 и равно -7.55° .

2.4 Оценка качества переходного процесса АСУ ТП печи

Прямые оценки качества переходного процесса замкнутой системы управления печью.

На рисунке 2.14 получены прямые оценки качества переходного процесса замкнутой АСУ ТП печи.

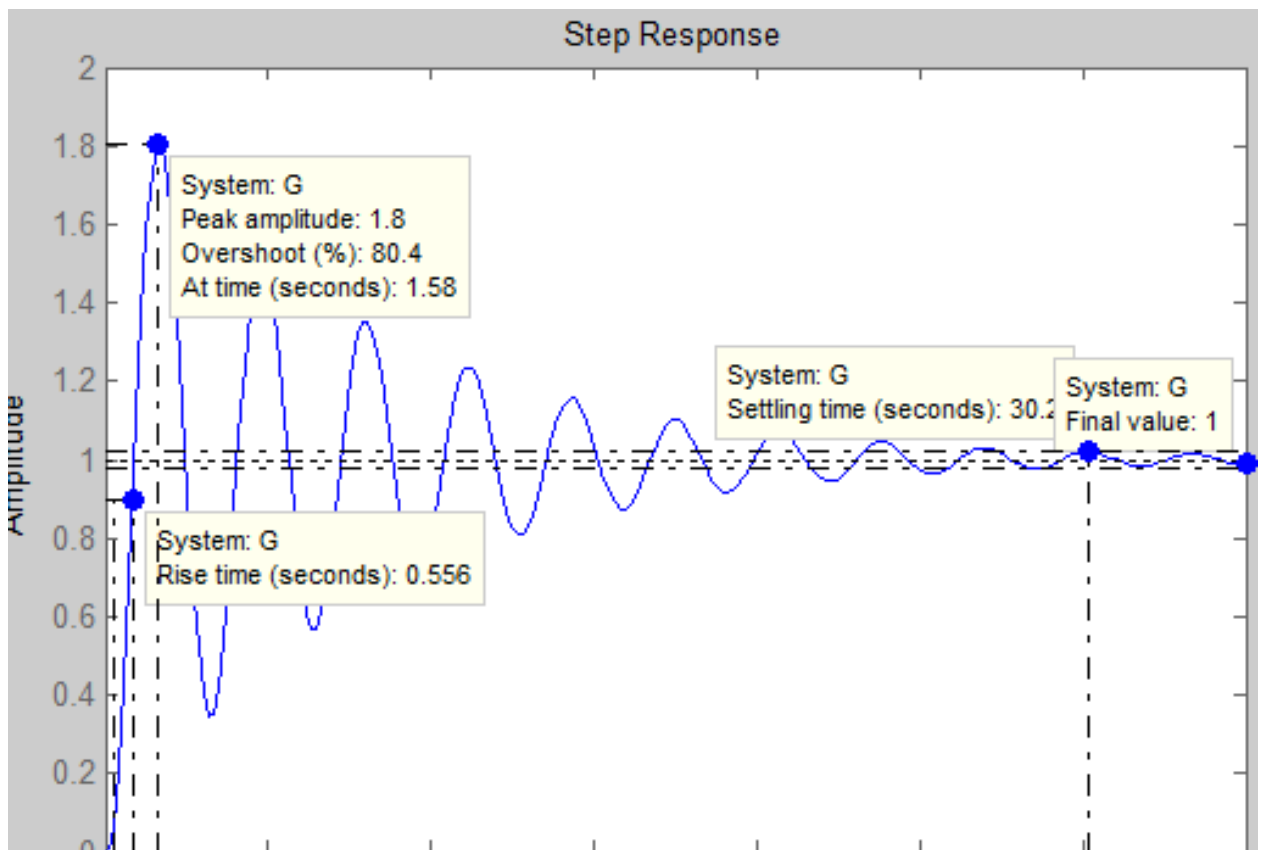


Рисунок 2.14 – Переходной процесс замкнутой АСУ ТП печи

Прямые оценки качества переходного процесса :

1) Время регулирования, $T_{set} = 30.2c$;

2) Перерегулирование, $P_{ov} = 80.4\%$;

3) Число колебаний – 8;

4) Колебательность: $\mu = \frac{\Delta y_{\max 2}}{\Delta y_{\max 1}} \cdot 100\% = 66.25\%$;

5) Частота колебаний: $\omega_{osc} = \frac{2\pi}{T} = 2$;

6) Время достижения первого максимума, $T_{\max} = 1.58c$;

7) Время нарастания, $T_R = 0.55c$;

8) Декремент затухания: $\chi = \frac{|y_{\max 1} - y_{ss}|}{|y_{\max 2} - y_{ss}|} = \frac{1.88 - 1}{1.69 - 1} = 1.275$;

Косвенные оценки качества переходного процесса замкнутой системы управления печью.

С помощью графика АЧХ (рисунок 2.15) получаем косвенные оценки качества замкнутой АСУ ТП печи:

- Амплитуда $M(0) = 0.36$, при частоте $\omega=0$ определяет полосу пропускания:
 $0.707 \cdot M(0) = 0.707 \cdot 0.36 = 0.2545$

$$\omega_{bandwith} = [0; 0.336].$$

- Амплитуда $M = 1$, $\omega_{cf} = 2.88$.

- Амплитуда $M_{\max} = 17.7$, $\omega_p = 1.98$.

Косвенные оценки качества:

1) Показатель колебательности,

$$\mu = \frac{M_{\max}(0)}{M(0)} = \frac{17.7}{0.36} = 49.1.$$

2) Резонансная частота, $\omega_p = 1.98$.

3) Полоса пропускания системы, $\omega_{bandwith} = [0; 0.336]$.

4) Частота среза, $\omega_{cf} = 2.88$.

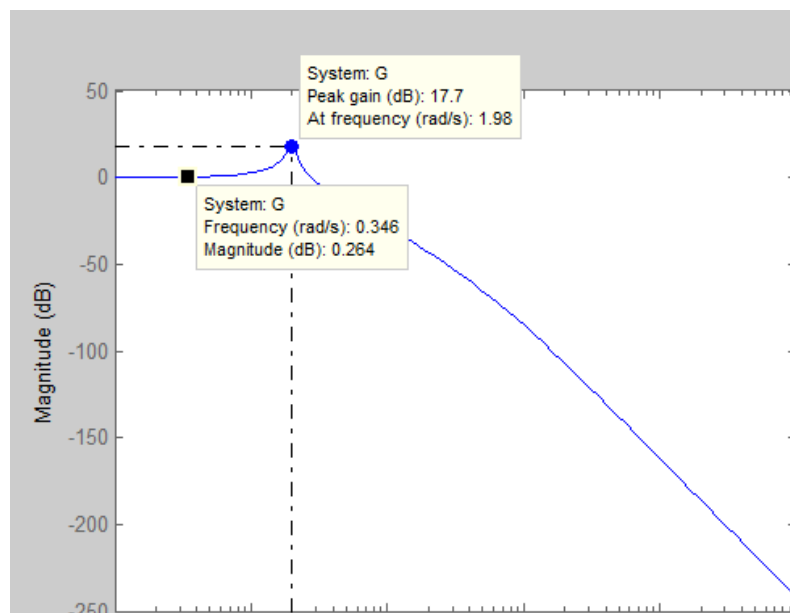


Рисунок 2.15 – Косвенные оценки качества по АЧХ

Используя корневые методы находим косвенные оценки качества системы. С помощью команды `pzmap` получаем полюса передаточной функции, которые показаны на рисунке 2.16.

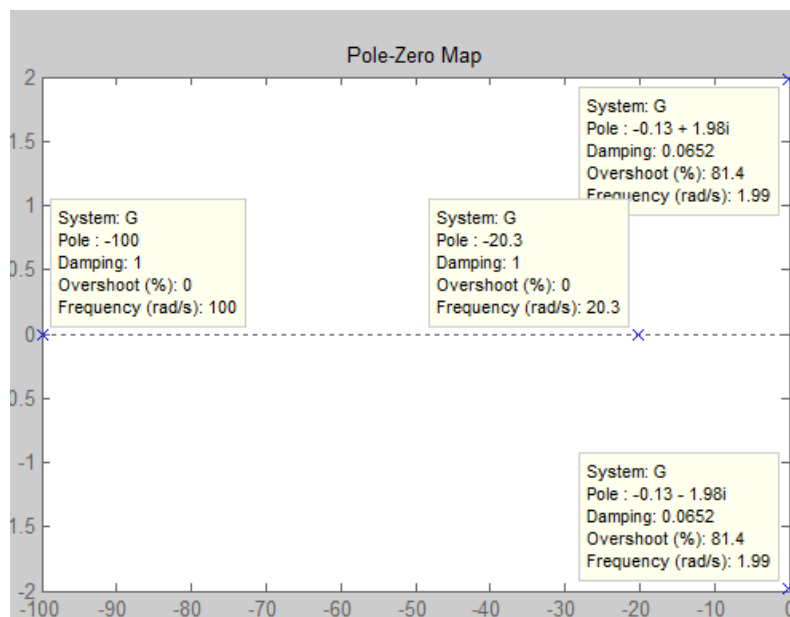


Рисунок 2.16 – Полюса передаточной функции на комплексной плоскости

Набираем команду `damp` для получения собственных значений (eigenvalues), собственной частоты (natural frequencies), и коэффициента демпфирования (damping factors) передаточной функции, которые показаны на рисунке 2.17.

Pole	Damping	Frequency (rad/seconds)	Time Constar (seconds)
-1.30e-01 + 1.98e+00i	6.52e-02	1.99e+00	7.71e+00
-1.30e-01 - 1.98e+00i	6.52e-02	1.99e+00	7.71e+00
-2.03e+01	1.00e+00	2.03e+01	4.94e-02
-1.00e+02	1.00e+00	1.00e+02	1.00e-02

Рисунок 2.17 – Данные, полученные с помощью `damp`

Полюса передаточной функции:

$$s_1 = -99.98;$$

$$s_2 = -20.25;$$

$$s_3 = -0.12196 + 1.9834i;$$

$$s_4 = -0.12196 - 1.9834i$$

Используя корневые оценки находим следующие оценки качества системы управления печью:

1) Время регулирования,

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma|} = \frac{4}{0.130} = 30.76 .$$

2) Перерегулирование,

$$P_{ov} = e^{\frac{-\varepsilon\pi}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}} \cdot 100\% = e^{-0.637} \cdot 100\% = 52\% .$$

3) Максимальное значение, y_{max} , используя y_{ss} и ε :

$$y_{max} = y_{ss} \cdot \left(1 + \frac{P_{ov}}{100}\right) = 1.8 .$$

4) Степень колебательности,

$$\mu = \frac{\omega_d}{\sigma} = \frac{0.198}{0.13} = 1.52\% .$$

5) Частота колебаний,

$$\omega_{osc} = \omega_n \cdot \sqrt{1-\varepsilon^2} = 0.199\sqrt{1-0.42} = 0.15c .$$

6) Время достижения первого максимума,

$$T = \frac{\pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1-\varepsilon^2}} .$$

7) Быстродействие и степень устойчивости,

$$\eta = |\sigma_{min}| = 20.3 .$$

В таблицу 2.5 заносим полученные результаты :

Таблица 2.5 – Оценки качества замкнутой системы

	№	Оценка качества		Прямые	Косвенные	Соответствие требованиям
Основные	1	Время регулирования (Settling time)	T_{set}	30.2	30.76 с	Соответствует
	2	Перерегулирование (Overshoot)	P_{ov}	80.4%	52.8 %	Не соответствует
	3	Число колебаний	M	8	1	Не соответствует
	4	Колебательность (Oscillation)	M	66.25	49.1	Не соответствует
	5	Частота колебаний (oscillation frequencies)	ω_{osc}	2 с	0.15 с	Не соответствует
Дополнительные	6	Время достижения первого максимума (peak time)	T_p	1.58 с	20.8 с	Не соответствует
	7	Время нарастания (rise time)	T_R	0.55 с	0.527 с	Соответствует
	8	Декремент затухания	X	1.275		

Вывод: Анализ оценок качества представленных в таблице 2.5 показывает, что в системе не соответствуют перерегулирование, колебательность, число колебаний, частота колебаний и время достижения первого максимума. Поэтому необходимо использовать П-регулятор.

2.5 Применение Smart-технологии (генетического алгоритма) настройки типового регулятора АСУ ТП печи

Генетический алгоритм – это метод оптимизации на основе эволюционных вычислений, применяющий механизмы случайного подбора, комбинирования искомым параметров, схожих естественному отбору в природе [5].

Генетические алгоритмы обладают рядом преимуществ над другими разновидностями эволюционных исчислений:

- обладают свойством устойчивости в моменты попадания в локальные оптимумы;
- обеспечивают решение задач многоцелевой оптимизации;
- неограниченная поверхность функции выбора: разрывы, существующие на этой поверхности, незначительно влияют на эффективность оптимизации.

Наряду с рядом преимуществ генетические алгоритмы обладают существенными недостатками. Например, процесс создания начальной популяции, критерии их отбора и используемые процедуры является эвристическими и не способны полностью обеспечить нахождение глобального экстремума. В то время как при решении задач значительной размерности

было выявлены две худшие родительские особи, исключенные из эволюции генетическим алгоритмом, оказываются способными через несколько итераций произвести высокоэффективного потомка [6].

Появление новой популяции потомков от родительской популяции, сформированной на предыдущем шаге, обуславливается использованием генетических операторов в хромосомах, выбранным посредством селекции. В генетическом алгоритме применяются в основном два основных генетических оператора: оператор скрещивания (кроссинговер) и оператор мутации.

Результативность генетического алгоритма определяется степенью исполнения намеченных целей алгоритма и достижением установленных значений функции приспособленности. Результативность обуславливается строением и содержанием начальной популяции.

При основании начального множества решений вытекает создание популяции на основе важнейших принципов:

- на первом этапе происходит генерация полной популяции, включающей все допустимые решения в заданной области;
- на втором этапе формируется случайный выбор второстепенных решений из всей допустимой области решения данной задачи;
- на третьем этапе осуществляется закономерный выбор возможных альтернатив из заданной области решения данной задачи.

С использованием инструментального средства для создания генетических алгоритмов из набора Global Optimization Toolbox пакета MatLab R2014 осуществлен поиск решения задачи функции приспособленности J , отражающей критерий качества (2.22).

Постановка задачи: Для передаточной функции замкнутой системы:

$$G_{pc}(s) = \frac{8}{0.001s^4 + 0.1205s^3 + 2.06s^2 + s + 8}, \quad (2.20)$$

необходимо синтезировать П-регулятор:

$$u(t) = k_p e(t), \quad (2.21)$$

на основе генетического алгоритма с целью минимизации критерия качества:

$$J = \int_0^{\infty} |e| dt. \quad (2.22)$$

В среде MatLab создаем m-файл для поиска параметра регулятора (рисунок 2.18).


```

function [J] = pid_optim (x)
    s=tf('s');
    plant=8 / (0.001*s^4+0.1205*s^3+2.05*s^2+s+8)

    Kp = x(1);
    cont= Kp ;
    step(feedback(plant*cont,1));
    |
    dt =0.01;
    t = 0:dt:1;

    e = 1-step(feedback(plant*cont,1),t);
    J = sum(t'.*abs(e)*dt);

```

Рисунок 2.18 – Поиск параметра П-регулятора

Генетический алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1 Выбор начальной популяции. Коэффициент K_p равен 0.01. Размер популяции равен 100. Тип математического объекта – двойной вектор;

Шаг 2 Оценка функции приспособленности в популяции – расчет функции приспособленности для каждой хромосомы. На рисунке 2.19 показаны значения функций приспособленности (fitness value) для каждой хромосомы;

Шаг 3 Применение генетических операторов – селекция хромосом: отбираются две особи с высокой пригодностью согласно функции приспособленности. В окне Option –Selection выбирается тип tournament. На рисунке 2.19 (amplitude) показан отбор особей для воспроизводства потомков;

Шаг 4 Применение кроссинговера для выбранных особей и мутации для устранения попадания в локальный экстремум;

Шаг 5 Оценивание приспособленности потомков;

Шаг 6 Формирование новой популяции.

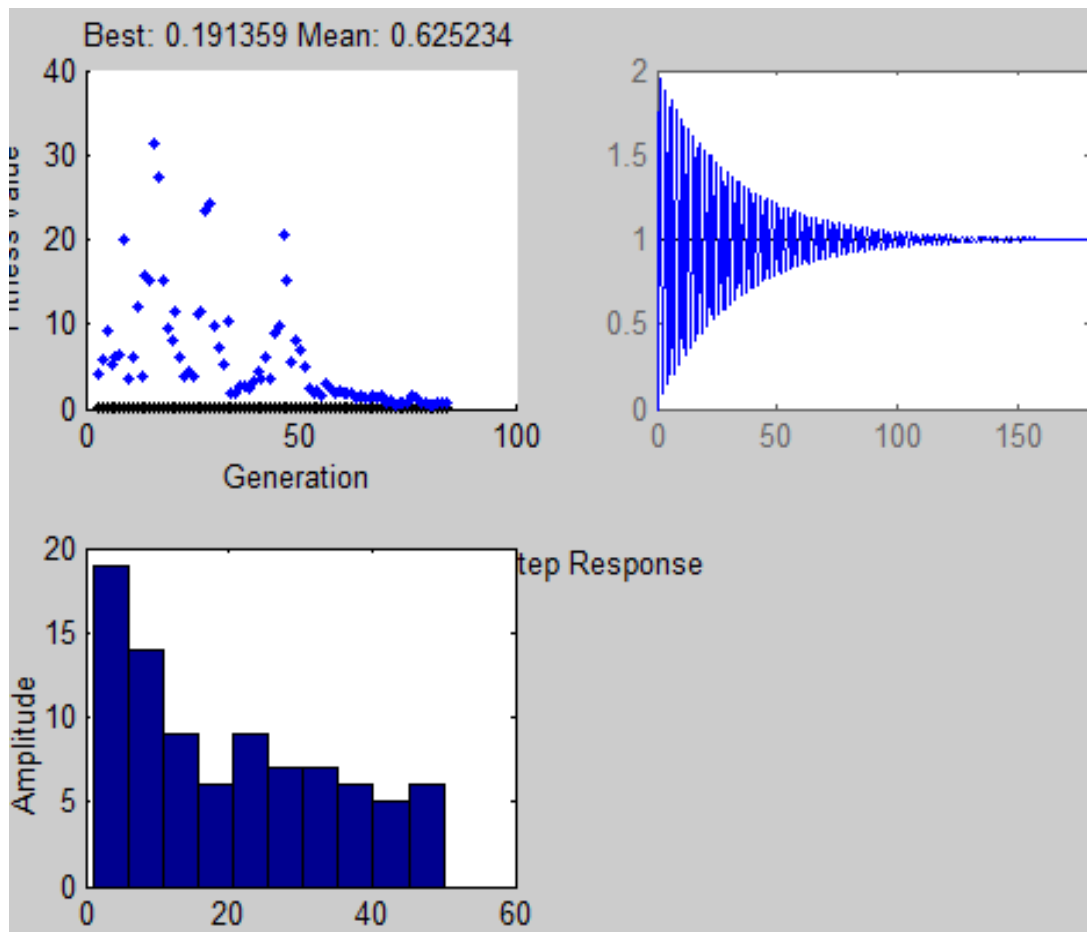


Рисунок 2.19 - Поиск параметра регулятора в окне Option

В соответствии с шагами алгоритма, получен П-регулятор:

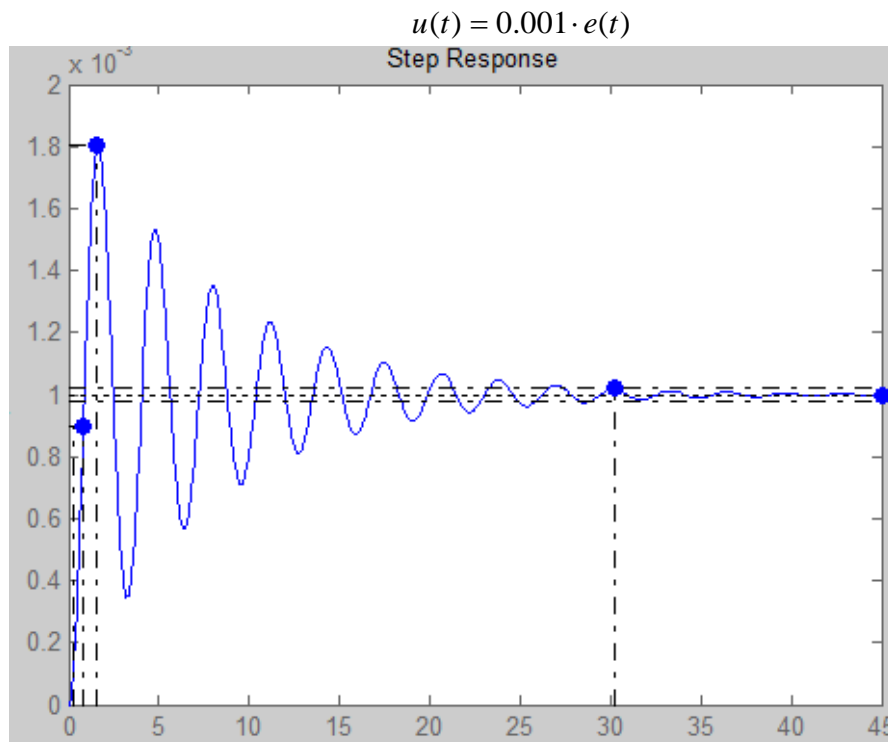


Рисунок 2.20- График переходной функции замкнутой системы

В таблице 2.6 представлены оценки качества замкнутой системы с регулятором и без регулятора.

Таблица 2.6 – Сравнение оценок качества замкнутой системы

	№	Оценка качества		Без регулятора	С регулятором
Основные	1	Время регулирования (Settling time)	T_{set}	30.2 с	32.5 с
	2	Перерегулирование (Overshoot)	P_{ov}	80.4%	82.3 %
	3	Число колебаний	M	8	9
	4	Колебательность (Oscillation)	M	66.25%	78.1%
	5	Частота колебаний (oscillation frequencies)	ω_{osc}	2	$0.17c^{-1}$
Дополнительные	6	Время достижения первого максимума (peak time)	T_p	1.58 с	1.51 с
	7	Время нарастания (rise time)	T_R	0.556 с	0.527 с
	8	Запас устойчивости		6.56 dB	20.24 dB
				7.55 deg	Inf

Вывод: Сравнительный анализ результатов, представленных в таблице 2.6 , показывает, что: увеличилось время регулирования, перерегулирование, число колебаний, колебательность; частота колебаний и время нарастания уменьшились, увеличились запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Сравнение переходных процессов замкнутой системы с применением типового регулятора и замкнутой системы с интеллектуальным регулятором на основе генетического алгоритма

В среде MatLab выполним моделирование замкнутой системы, замкнутой системы с использованием интеллектуального регулятора на основе генетического алгоритма и замкнутой системы с использованием ПИ-регулятора. При помощи параметрической настройки типового регулятора в редакторе PID tuner получим коэффициент пропорциональности K_p равный 0.02, а K_i равный 8.

На рисунке 2.21 получаем переходные процессы замкнутых систем.

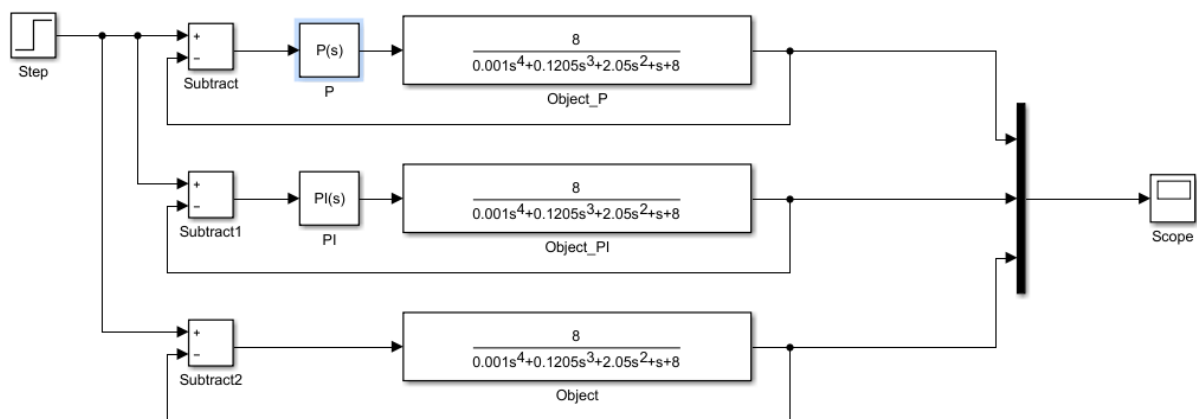


Рисунок 2.21 Получение переходных процессов замкнутых систем

Результаты моделирования замкнутых систем показаны на рисунке 2.22.

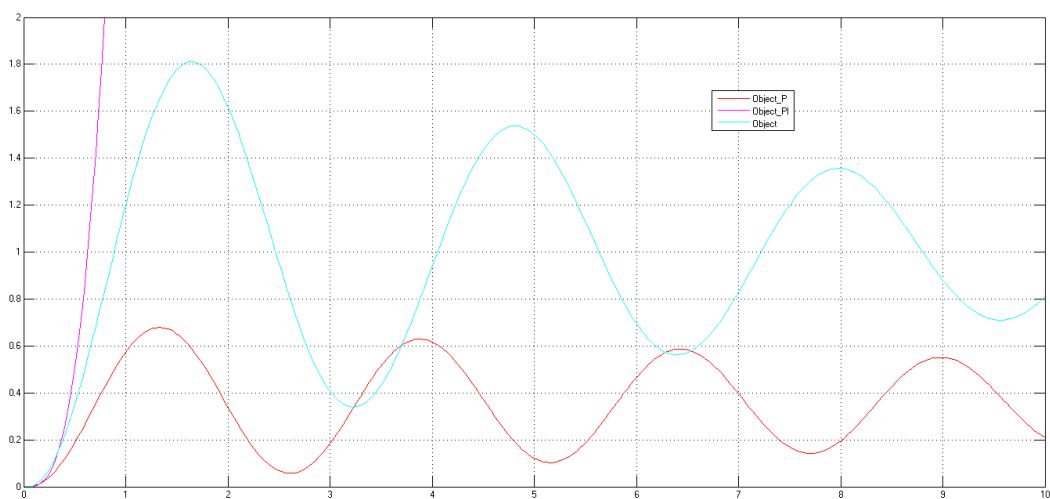


Рисунок 2.22 – Результаты моделирования замкнутых систем

Анализ результатов, представленных на рисунке 2.22, позволяет сделать вывод о том, что применение П-регулятора на основе генетического алгоритма помогло улучшить показатели качества процесса, а с применением ПИ-регулятора система оказалась неустойчивой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе был описан анализ технологического процесса электроплавки, изучены этапы производства стали и рассмотрены технические решения и технологические приемы производства стали. Была описана конструкция современной дуговой сталеплавильной печи.

Во второй главе разработана структурная схема и получена математическая модель печи в виде апериодического звена четвертого порядка. В результате анализа динамических свойств АСУ ТП печи была определена устойчивость по первому методу Ляпунова, по критерию устойчивости Гурвица и по критериям Найквиста. Исследование замкнутой системы по первому методу Ляпунова показало, что замкнутая система устойчива, так как все полюса имеют отрицательные действительные части. Согласно критерию Гурвица, разомкнутая система находится на границе устойчивости, так как один определитель равен нулю. По критерию устойчивости Найквиста замкнутая система находится на границе устойчивости, так как по теореме Ляпунова разомкнутая система находится на границе устойчивости, а АФЧХ разомкнутой системы проходит через особую точку $(-1,0j)$.

В результате моделирования были получены оценки качества переходного процесса АСУ ТП печи. Анализ оценок качества процесса показал: перерегулирование, колебательности, числа колебаний, частоты колебаний и времени достижения первого максимума не удовлетворяют желаемым требованиям, что привело к задаче синтеза регулятора на основе Smart-технологий, в частности на основе генетического алгоритма.

На основе генетического алгоритма выполнен синтез интеллектуального П-регулятора, с целью минимизации интегрального критерия качества. С использованием пакета GATOOOL входящий в состав среды MatLab, был вычислен коэффициент пропорциональности П-регулятора. Анализ оценок качества переходного процесса с использованием П-регулятора на основе генетического алгоритма показал, что применение П-регулятора позволило улучшить показатели качества процесса: уменьшилось время регулирования, перерегулирование, число колебаний, колебательность, частота колебаний, увеличились запасы устойчивости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Каганов В.Ю., Блинов О.М., Беленький А.М. Автоматизация управления металлургическими процессами: Учебник. – М.: Металлургия, 1974. - 416с.
- 2 Глинков Г.М., Климовицкий М.Д. Теоритические основы автоматического управления металлургическими процессами: Учеб. пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1985. - 304с.
- 3 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. С - П.: Профессия., 2004. - 752с.
- 4 Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. - 712с.
- 5 Воронов А.А. Теория автоматического управления Часть первая "Высшая школа",1986. – 377с
- 6 Мусаев А.А. Интеллектуальный анализ данных: учебное пособие. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2018. - 56с.
- 7 Вороновский Г.К., Михатило К.В., Петрашев С.Н. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. - Х.: ОСНОВА, 1997. - 112с.
- 8 Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. – Астрахань: Астраханский университет, 2007.– 87с.
- 9 Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А.П.Карпенко.-2-е изд. - Москва: Издательство МГГУ им. Н.Э. Баумана, 2017. - 446с.
- 10 Dorf R.C., Bishop R.H. Modern Control Systems. 12th Edition, Prentice Hall, 2008.
- 11 Zhang M., Zhang B., Zhang Y. Bio-Inspired Meta –Heuristics for Emergency Transportation Problems // Algorithms. – 2014. – 7. – pp. 15-31.
- 12 Al-Enezi J.R., Abbod M.F., Alsharhan S. Artificial immune systems – Models, algorithms and applications // IJRRAS. – 3(2). -2010. –pp. 118-131.
- 13 Castro L., Zuben F. Learning and Optimization Using the Clonal selection Principle // IEEE Transactions on evolutionary computation. – 2002. – Vol.6. –N 3. -239 p.
- 14 Саймон Д. Алгоритмы эволюционной оптимизации. – М.: - ДМК Пресс, 2019. – 940с.
- 15 Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: Физматлит, 2003. – 432с.
- 16 Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М.: Физматлит, 2006 – 272с.
- 17 Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. – 320с.
- 18 Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений. – Д.: ДонНТУ, 2008. – 326с.
- 19 Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Биоинспирированные методы в оптимизации: монография. – М.: Физмалит,2009. – 384с.

20 Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – 2-е изд. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 452с.

21 Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 520с.

22 Смирнов А.Н. Металлургические мини-заводы / Смирнов А.Н., В.М. Сафонов., Л.В. Дорохова., А.Ю. Цупрун. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. - 449с.

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу
Турсынкулова Айгерим Мадияркизи
5B070200 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий»

Перед дипломантом ставилась задача разработки АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий.

В первом разделе дипломной работы рассматривается АСУ ТП дуговой печи металлургического производства: приведён технологический процесс электроплавки, конструкция современной дуговой сталеплавильной печи.

Во втором разделе, разработана структурная схема и получены результаты моделирования АСУ ТП печи. На основе полученных результатов моделирования проведён анализ динамических свойств системы, получены оценки качества переходного процесса системы.


Сформулирована постановка задачи синтеза интеллектуальной системы управления дуговой печи металлургического производства на основе такой Smart-технологии, как генетический алгоритм.

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 5B070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студентка Турсынкулова А.М. к защите.

Научный руководитель
ассоциированный профессор, канд.техн.наук

 Ширяева О.И.
(подпись)

«25» 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: Турсынкулова Айгерим

Название: Разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий

Координатор: Ольга Ширяева

Коэффициент подобия 1: 15,26

Коэффициент подобия 2: 1,53

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

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: 15,26 (норма до 50) и Коэффициент подобия 2: 1.53 (норма до 5). Коэффициенты подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления. 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.

31.05.2020

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: Турсынкулова Айгерим

Название: Разработка АСУ ТП дуговой печи металлургического производства на основе Smart-технологий

Координатор: Ольга Ширяева

Коэффициент подобия 1: 15,26

Коэффициент подобия 2: 1,53

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0


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: 15,26 (норма до 50) и Коэффициент подобия 2: 1.53 (норма до 5). Коэффициенты подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, работа признается самостоятельной и допускается к защите.

31.05.2020

Дата



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Дипломная работа допускается к защите.

31.05.2020

Дата


Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения