

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

Даулбаев Ильяс Қайнарұлы

Автоматизированная система энергодиспетчеризации обогатительной фабрики

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2021

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
—  — Алдияров Н.У.
« » мая 2021 г.

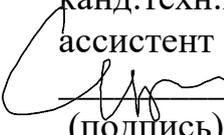
ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Автоматизированная система энергодиспетчеризации
обогащительной фабрики»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Даулбаев И.К.

Научный руководитель
канд. техн. наук,
ассистент профессор
 Сарсенбаев Н.С.
(подпись)
« » мая 2021 г.

Алматы 2021

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

 Алдияров Н.У.

«__» мая 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Даулбаев Ильяс Қайнарұлы

Тема: «Автоматизированная система энергодиспетчеризации обогатительной фабрики».

Утвержден приказом ректора Университета № 2131-б от «24» ноября 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: "5" мая 2021 г.

Исходные данные дипломного проекта: математическая модель системы управления курсом корабля.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломного проекта: а) описать технологический процесс; б) разработать функциональную схему автоматизации системы, структурную схему системы управления; в) анализировать систему г) синтезировать оптимальный регулятор.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная и структурная схемы автоматического управления курсом корабля.

Рекомендуемая основная литература: техническая литература по автоматизации технологических процессов и математическому моделированию системы, решению задач анализа и синтеза системы.

ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологический раздел	1 марта 2021 г.	
Специальный раздел	28 апреля 2021 г.	

Подписи

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

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

Научный руководитель _____  Сарсенбаев Н.С.

Задание принял к исполнению обучающийся



Даулбаев И.К.

Дата

"26" января 2021 г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жоба байыту фабриканың энергодиспетчерлік басқару жүйесін талдайды және реттеушінің оңтайлы шешімін табады. Дипломдық жоба екі бөлімнен тұрады.

Бірінші бөлімде байыту фабриканың энергодиспетчерлік бөлім туралы техникалық ақпарат жазылған: жұмыс принципі, негізгі ұғымдар, анықтамалар және классификация.

Екінші бөлімде — басқару жүйесін талдау және осы жүйе үшін оңтайлы реттегішті синтездеу. Құрылымдық схемаларды құруды және модельдеу нәтижелерін алуды қамтиды.

Байыту фабриканың энерго-диспетчерлік басқару жүйесін талдау, табыстама функциялары мен олардың ауыспалы үдерісіналу, амплитуда-фазалық-жиілік, амплитудалық жиілік және фазалық жиілік сипаттамаларын құру, сапаны бағалауды анықтау және есептеу, типтік реттегіштердің ықпалын зерттеу, реттегіш синтезі жасалады.

Бастапқы жүйені реттегішсіз және реттегіші бар жүйені SimulinkMatLab ортасында синтезделген модельдеу нәтижесі алынады. Осының негізінде салыстыру жасалынады.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте проводится анализ автоматизированной системы энергодиспетчеризации обогатительной фабрики и разработка оптимального регулятора. Дипломный проект состоит из двух разделов.

В первом разделе заключена общая и техническая информация о энергодиспетчеризации в обогатительных фабриках: основные понятия и определения, области применения и разного рода классификации.

Второй раздел представляет собой задачу анализа системы управления и задачу синтеза оптимального регулятора для этой системы. Включает в себя построение структурных схем и получение результатов моделирования.

Будет сделан анализ автоматизированной системы энергодиспетчеризации обогатительного завода, получение передаточных функций и их переходных процессов, построение амплитудно-фазно-частотных, амплитудно-частотных и фазно-частотных характеристик, определение и вычисление оценок качества, исследование влияния типовых регуляторов, синтез регулятора.

Будет получен результат моделирования изначальной системы без регулятора и системы с синтезированным регулятором в среде SimulinkMatLab. На основе этого будет сделано сравнение.

ANNOTATION

In this diploma project, the analysis of the automated control system of energodispersive concentrator and the development of the optimal controller are carried out. The diploma project consists of two sections.

The first section contains general and technical information about energodispersive concentrator: basic concepts and definitions, applications, and various classifications.

The second section presents the tasks of analyzing the control system and synthesizing the optimal controller for this system. It includes building structural diagrams and obtaining simulation results.

Will be made: the analysis of the automated control system of energodispersive concentrator, the acquisition of transfer functions and their transients, the construction of amplitude-phase-frequency, amplitude-frequency and phase-frequency characteristics, the definition and calculation of quality ratings, the study of the influence of standard regulators, the synthesis of the controller.

The result of simulating the initial system without a controller and the system with a synthesized controller in the Simulink MatLab environment will be obtained. Based on this, a comparison will be made.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1. Технологическая часть	10
1.1 Основные понятия и определения диспетчеризации	10
1.2 Основные понятия, классификация и технологический процесс обогатительной фабрики	11
1.3 Дробильное отделение	13
1.4 Процесс грохочения	15
1.5 Процесс измельчения	15
1.6 Процесс флотации	17
2. Расчетная часть	18
2.1 Схмотехническое проектирование и анализ системы управления	18
2.2 Анализ устойчивости системы управления	20
2.3 Прямые оценки качества	22
2.4 Запас устойчивости	24
2.5 Влияние типовых регуляторов на систему управления	26
2.6 Синтез оптимального регулятора методом Циглера-Никольса №2	33
2.7 Выбор оптимального регулятора и сравнение оценок качества с исходной системой.	37
Заключение	39
Список использованной литературы	40

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день автоматизированные технологии не стоят на месте, а стремительно развиваются, тем самым увеличивая места использования. Такие сферы как производство и промышленность, остро в них нуждаются. Участие человека в технологических процессах несет за собой риск аварии на предприятии. Применение автоматизированных систем минимизирует риски аварий и имеет преимущества над человеком в таких характеристиках как: быстрдействие, точность, повторяемость и так далее.

Внедрение автоматизированных систем в технологический процесс позволяет автоматизировать любого рода операции, ранее выполняемые человеком. Также большим преимуществом является контроль за процессом в реальном времени. То есть, полный контроль входных и выходных данных и всесторонний учет с предоставлением достоверной информации.

В моем случае, это полный контроль ресурсопотребления и оперативная информация для следующих лиц: для работников обогатительной фабрики и для служб инженерного контроля. Внедрение автоматизированной системы обеспечивает безопасность работы сотрудников.

Сегодняшний день промышленных предприятий в области энергодиспетчеризации, нуждается в внедрении автоматизированной системы. В которых используются, для обеспечения жизнедеятельности предприятия, современные информационные технологии: это микропроцессорные системы, регуляторы и сетевые телекоммуникационные устройства.

Целью данной дипломной работы является синтез оптимального регулятора для энергодиспетчеризации обогатительной фабрики. То есть повышение эффективности предотвращения аварий и непредвиденных ситуаций.

1 Технологическая часть

1.1 Основные понятия и определения диспетчеризации

Диспетчеризация – автоматизированный централизованный оперативный контроль и управление технологическими процессами в жилых зданиях, на энергетических, промышленных и других предприятиях. Диспетчеризация базируется на удаленной или локальной передаче информации в генеральный диспетчерский отдел. Система диспетчеризации проводит наблюдение в настоящем времени над многоквартирными зданиями, удаленными друг от друга комплексами зданий промышленного типа.

Диспетчеризация обеспечивает цельную работу разных отделов управляемого предприятия, для повышения технических и материальных показателей, качественного употребления фабрикативных мощностей.

Система диспетчеризации – это комплект приборных и программных средств для узлового контроля за технологическими процессами, системами энергоснабжения и снабжения сырьевыми ресурсами. Информация о всех оборудованных, подключенных к системе диспетчеризации, выводится на экран компьютера диспетчерского пункта в режиме настоящего времени.

Диспетчеризация делится, по системе инженерных объектов, на локальные и удаленные.

Локальная диспетчеризация позволяет доносить технологические данные как от одного, так и от нескольких отделов инженерной конструкции, на компьютер пункта диспетчеризации. При локальной диспетчеризации мы имеем изолированную систему, оборудование и пульт управления находятся в одном здании. Принято называть локальную диспетчеризацию автоматизацией.

Удаленная диспетчеризация осуществляет передачу данных от двух или нескольких замкнутых систем с территориально отдаленных объектов на главную станцию диспетчеризации. Удаленная диспетчеризация позволяет объединить нескольких зданий или объектов, имеющих местную диспетчеризацию.

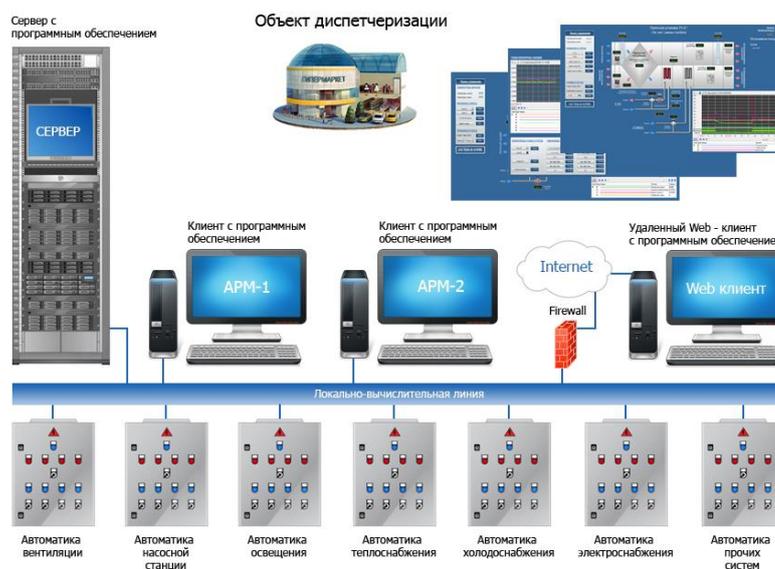


Рисунок 1.1 – Структурная схема системы диспетчеризации

Система диспетчеризации дает возможность создать плотное воздействие между различными подсистемами оборудования предприятий, а так же осуществляет автоматизированный контроль и управление. Чем больше инженерного оборудования, тем использование диспетчеризации оправданнее

Эффективность внедрения систем диспетчеризации будет моментальным:

- 1 Уменьшение энергоресурсных затрат;
- 2 Моментальное предупреждение при аварийной ситуации;
- 3 Мгновенное реагирование на аварию с точным определением места и причины аварии, что позволяет уменьшить убытки;
- 4 Ощутимое повышение качества труда сотрудников предприятия при помощи создания высокого уровня комфортных условий;

Диспетчеризация предоставляет возможность учета расхода ресурсов, слаженную работу автономных систем, входящие в инфраструктуру предприятия, а так же производит оповещение при аварийной ситуации.

1.2 Основные понятия, классификация и технологический процесс обогатительной фабрики

1.2.1 Основные понятия

Обогатительная фабрика – горное предприятие для первичной переработки твердых полезных ископаемых с целью получения ценных продуктов, подходящих для промышленного использования. В основном обогатительная фабрика входит в состав горно-обогатительного комбината.

При помощи разных способов (флотация, магнитная сепарация и других) на обогатительных фабриках из добытого сырья получают концентрат, в составе которого содержание полезного составляющего намного выше, чем в исходном сырье.

На обогатительных фабриках обогащаются руды цветных металлов, черных, неметаллических полезных ископаемых и угля.

1.2.2 Классификация

Обогатительные фабрики различают в зависимости от расположения самой фабрики и добывающего предприятия:

- 1 Индивидуальные – для переработки полезных ископаемых, вступающие только с одного предприятия, которое располагается на одной промышленной точке.
- 2 Групповые и центральные – для переработки полезных ископаемых нескольких предприятий, расположенных отдельно от добывающих предприятий.

В зависимости от употребляемых процессов переработки, обогатительные фабрики делят на:

- 1 Дробильно-сортировочные;
- 2 Промывные;
- 3 Гравитационные;
- 4 Флотационные;
- 5 Магнитного обогащения;
- 6 С комбинированной технологией;

В зависимости от комплектации различают фабрики вертикального, горизонтального и ступенчатого расположения. Для вертикального размещения характерна самотёчная система внутрифабричного перемещения шихты. Для горизонтального – разветвленно-механизированная система транспорта. Для ступенчатого – самотечно-механизированная система транспорта.

1.2.3 Технологический процесс обогатительной фабрики

Процесс переработки

Процесс переработки полезных ископаемых на обогатительных фабриках, в основном делится на несколько этапов: подготовка (дробление, грохочение, измельчение, сортировка, обжиг), основная часть (флотация магнитная сепарация, гравитационная переработка) и дополнительные процессы (обезвоживание, сушка и осветление вод)

Состав обогатительного завода

Обогатительная фабрика, в основном, имеет в своем составе:

- 1 Дробильное отделение;
- 2 Отделение измельчения и флотации (главный корпус, реагентное отделение);
- 3 Фильтровальное отделение (участок сгущения, участок фильтрации);
- 4 Отделение хвостового хозяйства;
- 5 Реагентное отделение;

6 Воспомогательные службы.

Технологический процесс

Сырье проходит процессы дробления, грохочения, классификации, основной переработки полезного ископаемого с выделением обогащенных руд и отходов, обезвоживания и сгущения. Концентрат отправляют на склады или в бункеры, откуда он проходит на следующую переработку или доставляется потребителю, а отходы в виде водно-песчаной взвеси направляются в отвалы.

1.3 Дробильное отделение

1.3.1 Основное понятие

Дробилка – механическое воздействие на твердые материалы с целью их разрушения.

В основном, дробилками называют приборы, разрушающие материалы до размера 5-6 мм. Разрушение до более маленьких размеров именуют измельчением и производят в барабанно-шаровой мельнице.

1.3.2 Классификация

В зависимости от размера дробленного сырья дробилки разделяют на дробилки крупного, среднего и маленького дробления.

Таблица 1 – Классификация дробилок

Тип дробилки	Крупность исходного материала, мм	Крупность готового материала, мм
Крупного дробления	1500	100 — 350
Среднего дробления	100 — 250	40 — 50
Мелкого дробления	40 — 50	5

1.3.3 Принцип действия

Исходя из назначения и технологических задач применяют сооружения, осуществляющие разные типы дробления:

1 Раздавливание;

- 2 Разрывание;
- 3 Разрезание или разрыхление;
- 4 Ударные воздействия (отбойные плиты, «свободный удар»);

В основном, на обогатительных фабриках дробилки работают по принципу раздавливания кусков руды между двумя стальными сближающимися поверхностями.

1.3.4 Конструктивное исполнение

По принципу действия и конструктивному исполнению дробилки делятся на:

- 1 Щёковые;
- 2 Конусные;
- 3 Молотковые;
- 4 Роторные;
- 5 Валковые;

Указанные виды дробилок делятся на типы исходя из конструктивных особенностей. Например, щековые делятся на дробилки с элементарным и трудным вижением щеки, конусные – с консольным и подвесным валом, валковые делятся на одно-, двух-, трех- и четырехвалковые дробилки и так далее.

Вдобавок имеются дробилки состоящие из аппаратов двух видов, соединенных в одном корпусе.

В зависимости от технологической задачи выбирается тип дробилки. Конусные и щековые дробилки, в основном, используют для дробления прочных и средней прочности материалов с малой твердостью, а валковые, в свою очередь, для сырья средней прочности, ударные- для мягких и средней прочности сырья с малой твердостью.

1.3.5 Способы установки

Дробилки различают по способу установки и возможности передвижения:

- 1 Стационарные;
- 2 Мобильные на колённом шасси;
- 3 Мобильные на гусеничном шасси;

1.4 Процесс грохочения

1.4.1 Основные понятия

Грохочение – процедура распределения согласно масштабам фрагментов использованного материала на классы крупности через одно или несколько сит или решёт.

Материал который не проходит первое сито называется надрешетным, прошедший материал через сито называется подрешетным продуктом. Выделяются продукты грохочения от большого класса к мелкому, от мелкого класса к большому или по комбинированной схеме.

1.4.2 Классификация процессов

По назначению операции грохочения делятся:

- 1 Воспомогательное грохочение – используется на горно-обогатительных комбинатах с целью сортирования крупного материала перед дробилкой или после операций дробления.
- 2 Процесс называют совместным грохочением, если две операции грохочения совмещены
- 3 Самостоятельное грохочение – применяется на обогатительных фабриках, перерабатывающие железные руды, с целью сортирования классов, которые являются готовые по содержанию железа продукты.

В зависимости от размера исходного материала, применяют операции по размерам отверстия сит:

- 1 Крупного (размер отверстий 300-60 мм);
- 2 Среднего (60-25 мм);
- 3 Мелкого (25-0,2 мм);
- 4 Тонкого (менее 0,2 мм);

1.5 Процесс измельчения

1.5.1 Основные понятия

Измельчение – процесс крушения фрагментов твёрдого материала для преобразования их размера до требуемой величины (от 5 мм до десятков микрон).

1.5.2 Классификация процессов измельчения

Измельчение реализовывают способами раздавливания, излома, раскалывания и истирания. По виду неконвертируемой деформации кусков акцентируют внимание на измельчении, основанным на сжатии, растяжении, изгибе и сдвиге, по методу измельчения делится на мокрое и сухое. При действии не статических усилий, а динамических нагрузок, то измельчение именуется ударным. По виду исполнения методов измельчения их различают механическое, пневмомеханическое аэродинамическое.

Процесс измельчения является преимущественно динамическим.

Механическое измельчение исполняют в барабанной мельнице – шаровой, стержневой, галечной, рудно-галечной, рудного самоизмельчения,

барабанно роликовой, помимо этого в роликово-кольцевой, чашевой и дисковой.

Пневмомеханическое и аэродинамическое измельчение реализовывают в струйных размольных аппаратах, разрушение частиц которых происходит при разгоне материала струёй газа и следующего удара о статическую броню или обоюдных ударов.

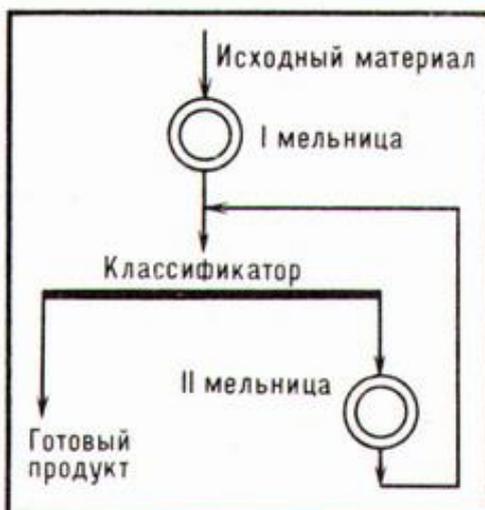


Рисунок 1.2 – Механическое двухстадийное измельчение в барабанной мельнице

1.6 Процесс флотации

Флотация – процесс сепарации маленьких твёрдых компонентов в водной пульпе или растворе, основанный на селективной концентрации компонентов на границах раздела фаз, с их смачиваемостью и активностью. Плохо смачиваемые водой компоненты селективно крепятся на границе раздела фаз и отделяются от гидрофильных компонентов.

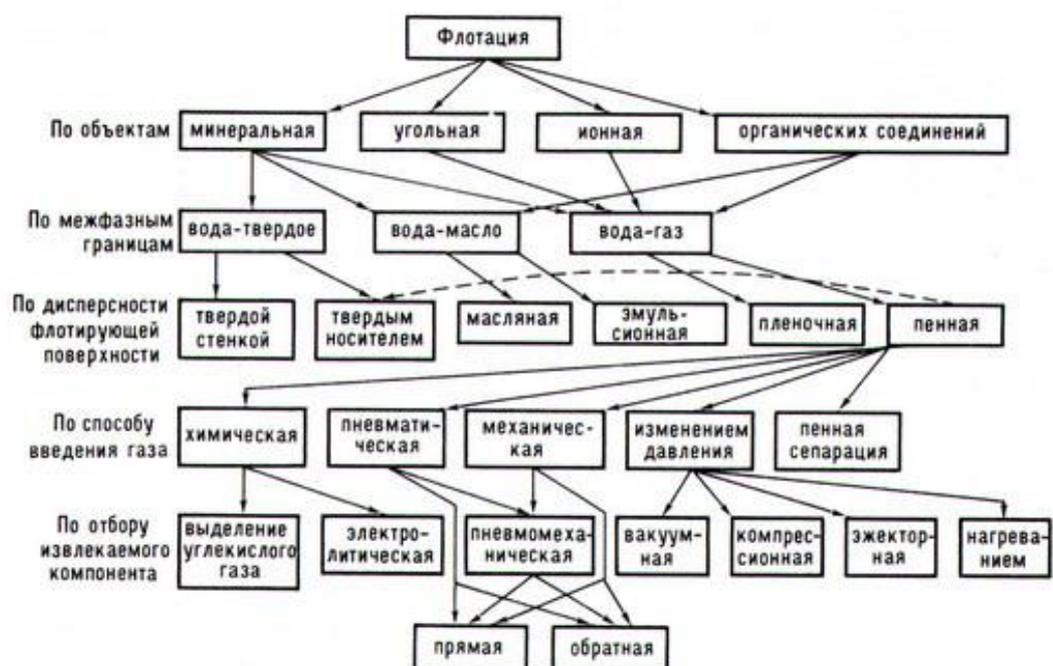


Рисунок 1.3 – Модификация процесса флотации по различным признакам

Флотация – один из главных способов обогащения полезных ископаемых, используется также для фильтрации воды от органических веществ, бактерий и так далее. Флотация так же используется в пищевой, химической и других отраслях для очистки.

2 Расчетная часть

2.1 Анализ системы управления и схмотехническое управление

Рассмотрим следующую схему системы автоматического регулирования:

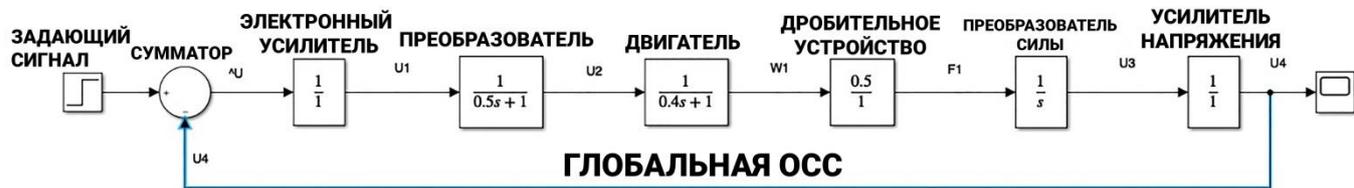


Рисунок 2.1 – Функциональная схема системы контроля энергодиспетчеризации дробительного отдела.

Имеются:

- 1 Задающий сигнал;
- 2 Сумматор;
- 3 Электронный усилитель;
- 4 Преобразователь;
- 5 Двигатель;
- 6 Дробильное устройство;
- 7 Преобразователь силы;
- 8 Усилитель напряжения;

Линеаризованные уравнения элементов системы имеют вид:

- 1 Усилитель

$$U_1 = k_1 \Delta U$$

Передаточная функция усилителя:

$$G = \frac{U_1}{\Delta U} = k_1$$

- 2 Преобразователь:

$$k_2 U_2 = k_2 \frac{\partial U_1}{\partial t} + k_2 U_2$$

Передаточная функция преобразователя:

$$G = \frac{k_2}{k_2 \times S + k_2}$$

- 3 Двигатель:

$$k_3\omega = k_3 \frac{\partial U_2}{\partial t} + k_3$$

Передаточная функция двигателя:

$$G = \frac{k_1}{k_3s + k_3}$$

4 Дробильное устройство:

$$k_4P = k_4 \frac{\partial \omega}{\partial t}$$

Передаточная функция преобразователя:

$$G = \frac{k_4}{k_4s}$$

5 Преобразователь силы:

$$k_5U_3 = k_5 \frac{\partial P}{\partial t}$$

Передаточная функция преобразователя:

$$G = \frac{k_5}{k_5s}$$

6 Сравнивающее устройство:

$$\Delta U = U_3 - U_4$$

В функциональной схеме (рисунок 2) задающий сигнал - желаемое напряжение U_0 сравнивается с выходным сигналом – напряжением U_4 , с помощью обратной отрицательной связи, разница (входного напряжения и выходного напряжения (ошибка рассогласования)) которая осуществляется в сравнивающем устройстве (потенциометр) преобразуется в электрический сигнал U_1 , переходит в усилитель. Усиленный сигнал U_2 , переходит в преобразователь, который конвертирует переменный ток в постоянный, далее поступает в двигатель. Двигатель преобразует электрический сигнал U_2 в частоту вращения ω , которая поступает в преобразователь силы, который конвертирует силу F в электрический сигнал U_3 . Преобразованный сигнал U_3 усиливается за счет усилителя напряжения и поступает в потенциометр.



Рисунок 2.2 – Структурная схема замкнутой системы контроля энергодиспетчеризации дробительного отдела

Эквивалентная передаточная функция для замкнутой системы (рисунок 2.1) будет равна:

$$G_{equivalent} = \frac{0.5}{0.2s^3 + 0.9s^2 + s + 0.5}$$

Разомкнутая система – это система, в которой нет глобальная обратная связь, то есть выходной сигнал не сравнивается с задающим сигналом.

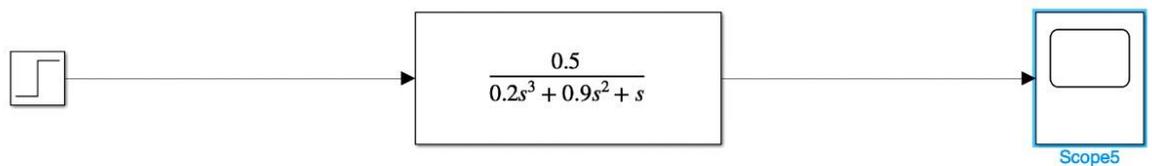


Рисунок 2.3 – Структурная схема разомкнутой системы контроля энергодиспетчеризации дробительного отдела.

$$G_{equivalent} = \frac{0.5}{0.2s^3 + 0.9s^2 + s}$$

Переходной процесс – это реакция системы на единичное ступенчатое воздействие $1(t)$, при нулевых начальных условиях:

$$a_0 \times \frac{\partial^n \times y(t)}{\partial t^n} + a_1 \times \frac{\partial^{n-1} \times y(t)}{\partial t^{n-1}} + \dots + a_n \times y(t) = b \times u(t),$$

$$u(t) = 1(t), \quad y(0) = 0$$

2.2 Анализ устойчивости системы управления с помощью первого метода Ляпунова

Свойство устойчивости – способность системы возвращаться в исходное положение после прекращения внешних возмущений.

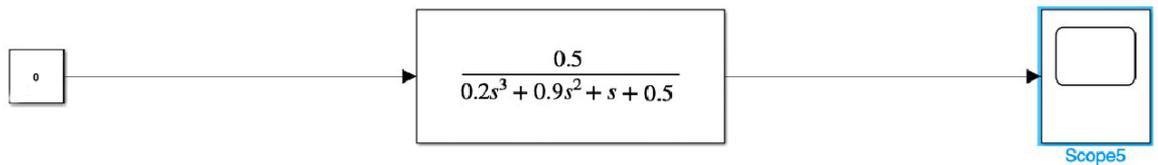


Рисунок 2.4 – Структурная схема системы с невозмущенным движением.

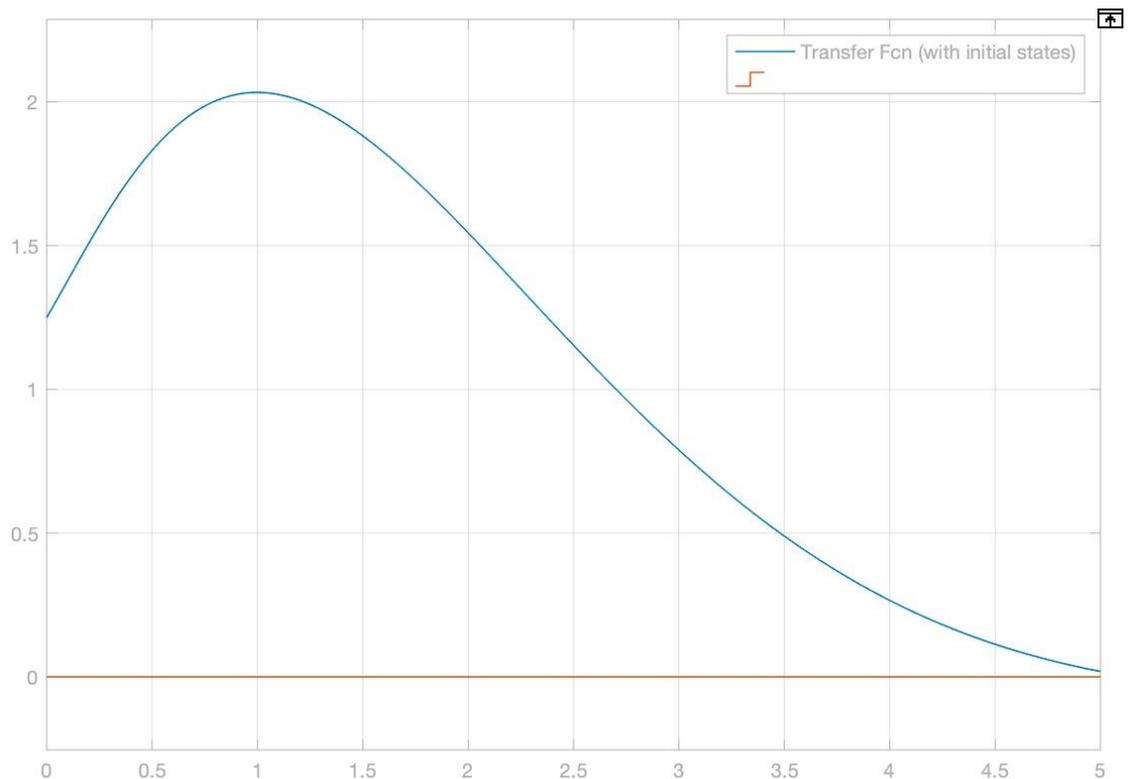


Рисунок 2.5 – Невозмущенное движение системы с невозмущенным движением.

На рисунке 2.5, можно увидеть, что движение стремится к нулю, при ненулевых начальных условиях, то есть система устойчива исходя из свойства устойчивости

Первый метод Ляпунова:

Шаг 1. Анализ параметров характеристического уравнения эквивалентной передаточной функции замкнутой системы (1):

$$0.2s^3 + 0.9s^2 + s + 0.5 = 0 \text{ — характеристическое уравнение}$$

$$a_0 = 0.2 > 0, \quad a_1 = 0.9 > 0, \quad a_2 = 1 > 0, \quad a_3 = 0.5 > 0$$

Шаг 2. Нахождение полюсов эквивалентной передаточной функции замкнутой системы (1):

$0.2s^3 + 0.9s^2 + s + 0.5 = 0$ — характеристическое уравнение

```
>> pole(G)
```

```
ans =
```

```
-3.1723 + 0.0000i  
-0.6639 + 0.5894i  
-0.6639 - 0.5894i
```

$S_1, S_2, S_3 < 0$

Система управления, согласно первой теореме Ляпунова, устойчива. Параметры характеристического уравнения a_0, a_1, a_2, a_3 положительны и все ее полюса S_1, S_2, S_3 имеют отрицательные действительные части.

2.3 Прямые оценки качества

Оценки качества – параметры по которым описывают любой переходной процесс. С помощью данных полученных с графика переходного процесса, мы вычисляем прямые оценки качества.

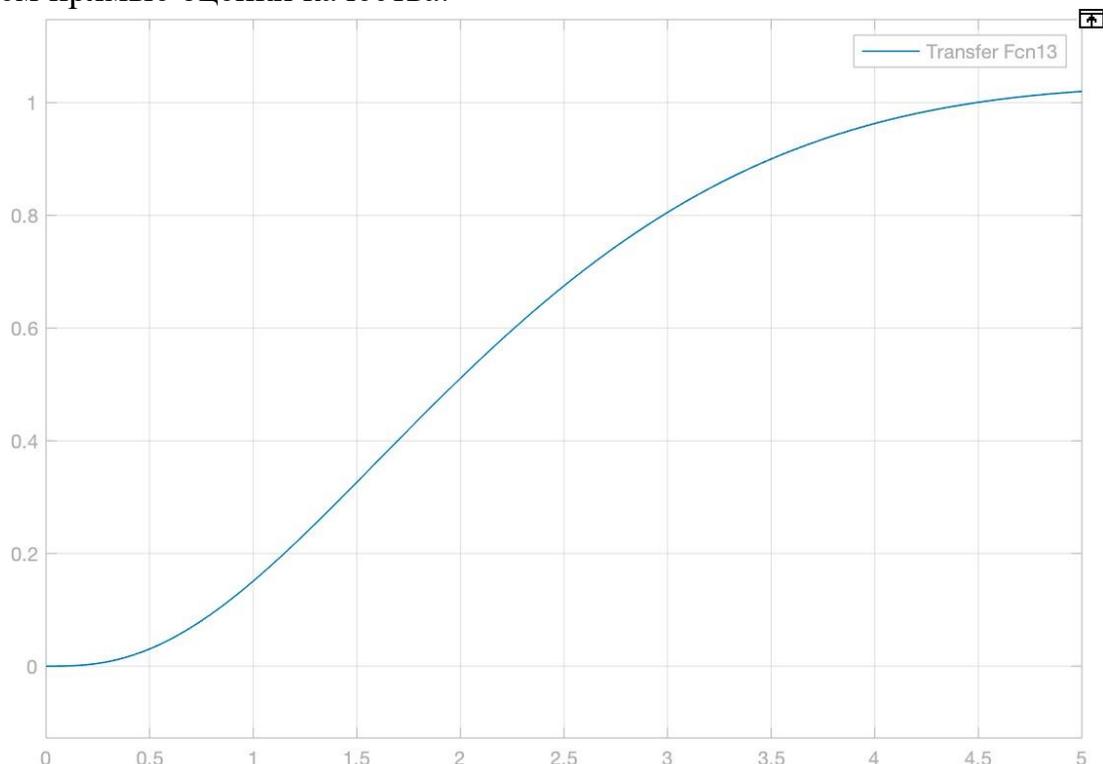


Рисунок 2.6 – Переходный процесс системы управления

Прямые оценки качества:

1. Время регулирования — это минимальное время, за которое выходной сигнал будет равен задающему, с точностью в 1-5%:

$$T_{set} = 9c$$

2. Перерегулирование — максимальное отклонение выходного сигнала от задающего, выраженное в процентах: %; $P_{ov} = 0\%$

3. Число колебаний — количество колебаний, которое имеет переходной процесс за время регулирования:

$$M = 9c$$

4. Колебательность — частота колебаний за период колебаний, рассчитывается для колебательных переходных процессов:

$$\mu = NaN;$$

5. Период колебаний:

$$T_{osc} = 9c$$

6. Установившаяся ошибка — разница между задающим и установившимся выходным сигналами:

$$e_{ss} = y_r - y_{ss} = 0$$

7. Время достижения первого максимума:

$$T_p = 6c;$$

8. Время нарастания — время, за которое выходной сигнал будет равен задающему:

$$T_R = 4.5 c ;$$

9. Декремент затухания — отношение модулей двух смежных перерегулирований:

$$\gamma = 1 .$$

Таблица 2 – Оценки качества системы управления

Время регулирования, с	9
Перерегулирование, %	3
Число колебаний	1,2

Колебательность, %	NaN
Период колебаний, с	0.837
Установившаяся ошибка	0
Время достижения первого максимума, с	6
Время нарастания	4.5
Декремент затухания, с	1

Анализируя данные, полученные в таблице 1, я хотел бы отметить, для того чтобы улучшить характеристику переходного процесса требуется воздействие регулятором на оценки качества: время регулирования, время достижения первого максимума и время нарастания.

2.4 Запас устойчивости

Объекты управления – это комплекс механизмов, который состоит из большого количества элементов различных размеров, где у каждого подобного элемента имеется люфт, зависимость от не идеальности установки и производства, но нужно иметь в виду человеческое составляющее. Запас устойчивости – это наибольшее значение отклонения, или дрейфа, параметров объекта управления, учитывая которые система оставалась бы устойчивой. Относительная устойчивость – понятие, которое указывает, на каком расстоянии находится система от «точки неустойчивости». Характеризуется такими параметрами, как запас устойчивости по фазе и амплитуде. Выявляются они следующим образом:

Запас устойчивости по амплитуде:

Эквивалентная передаточная функция:

$$G_{equivalent} = \frac{0.5}{0.2s^3 + 0.9s^2 + s}$$

Шаг 1. Нахождения $Re(\omega)$ и $Im(\omega)$, с заменой $s = j\omega$.

$$Re(\omega) = \frac{0.45\omega}{0.04\omega^5 - 0.13\omega^3 - \omega}$$

$$Im(\omega) = \frac{0.5(1 - \omega^2)}{0.04\omega^5 - 0.13\omega^3 - \omega}$$

Шаг 2. Нахождение частоты ω^* при $\alpha(\omega^*) = -180^\circ$:

$$\alpha(\omega) = \arctg \frac{Im(\omega)}{Re(\omega)} = \arctg \frac{0.5 \cdot (1 - \omega^2)}{0.45\omega}$$

$$\arctg \frac{0.5 \cdot (1 - \omega^2)}{0.45\omega} = -180^\circ$$

$$\frac{0.5 \cdot (1 - \omega^2)}{0.45\omega} = 0$$

ОДЗ: $\omega = (-inf; 0) \cup (0; +inf)$

$$0.5 \cdot (1 - \omega^2) = 0$$

$$1 - \omega^2 = 0$$

$$\omega^* = 1 \text{ рад/с}$$

Шаг 3. Определение амплитуды $M(\omega^*)$, при частоте $\omega = \omega^* = 1 \text{ рад/с}$

$$M(\omega) = \sqrt{Re(\omega)^2 + Im(\omega)^2} = \sqrt{\frac{(0.45)^2 + (0.5(1 - \omega^2))^2}{(0.04\omega^5 - 0.13\omega^3 - \omega)^2}}$$

$$M(\omega) = \sqrt{\frac{(0.45)^2 + (0.5(1 - \omega^{*2}))^2}{(0.04\omega^{*5} - 0.13\omega^{*3} - \omega^*)^2}} = 0$$

$$\Delta M = 1 - |M(\omega^*)| = 1 - 0 = 1$$

Запас устойчивости по фазе:

Эквивалентная передаточная функция:

$$G_{equivalent} = \frac{0.5}{0.2s^3 + 0.9s^2 + s}$$

Шаг 1. Нахождения $Re(\omega)$ и $Im(\omega)$, с заменой $s = j\omega$.

$$Re(\omega) = \frac{0.45\omega}{0.04\omega^5 - 0.13\omega^3 - \omega}$$

$$Im(\omega) = \frac{0.5(1 - \omega^2)}{0.04\omega^5 - 0.13\omega^3 - \omega}$$

Шаг 2. Нахождение частоты среза ω_{CF} , при $M(\omega_{CF}) = 1$:

$$M(\omega) = \sqrt{Re(\omega)^2 + Im(\omega)^2} = \sqrt{\frac{(0.45)^2 + (0.5(1-\omega^2))^2}{(0.04\omega^5 - 0.13\omega^3 - \omega)^2}}$$

$$M(\omega) = \sqrt{\frac{(0.45)^2 + (0.5(1-\omega_{CF}^2))^2}{(0.04\omega_{CF}^5 - 0.13\omega_{CF}^3 - \omega_{CF}^*)^2}}$$

$$\sqrt{\frac{(0.45)^2 + (0.5(1-\omega_{CF}^2))^2}{(0.04\omega_{CF}^5 - 0.13\omega_{CF}^3 - \omega_{CF}^*)^2}} = 1$$

$$\omega_{CF} = 0.54$$

Шаг 2. Определение фазы при частоте среза ω_{CF} :

$$\alpha(\omega) = \arctg \frac{Im(\omega)}{Re(\omega)} = \arctg \frac{0.5 \cdot (1 - \omega^2)}{0.45\omega} \quad \alpha(\omega) = \arctg \frac{0.5 \cdot (1 - \omega_{CF}^2)}{0.45\omega_{CF}} = 71^\circ$$

$$\Delta\alpha = \alpha(\omega_{CF}) - (-180^\circ) = 251^\circ$$

Запас устойчивости по амплитуде ΔM равен 1; запас устойчивости по фазе $\Delta\alpha$ равен 251°

2.5 Влияние типовых регуляторов на систему управления

Регулятор, в структурной схеме, имеет следующее расположение:

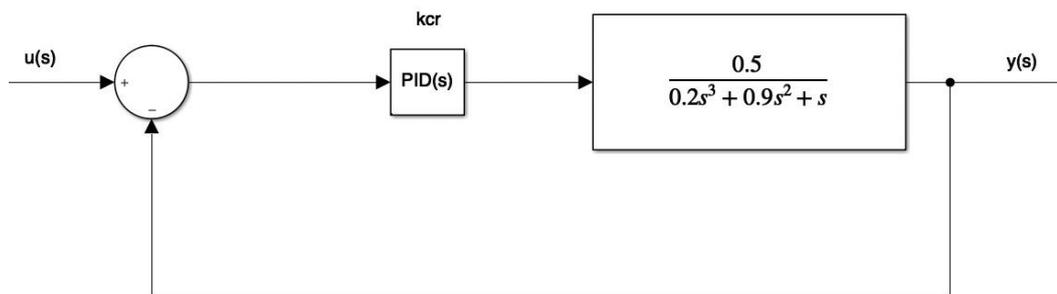


Рисунок 2.7 – Структурная схема типового регулятора с передаточной функцией с обратной связью

Исследование Р-регулятора:

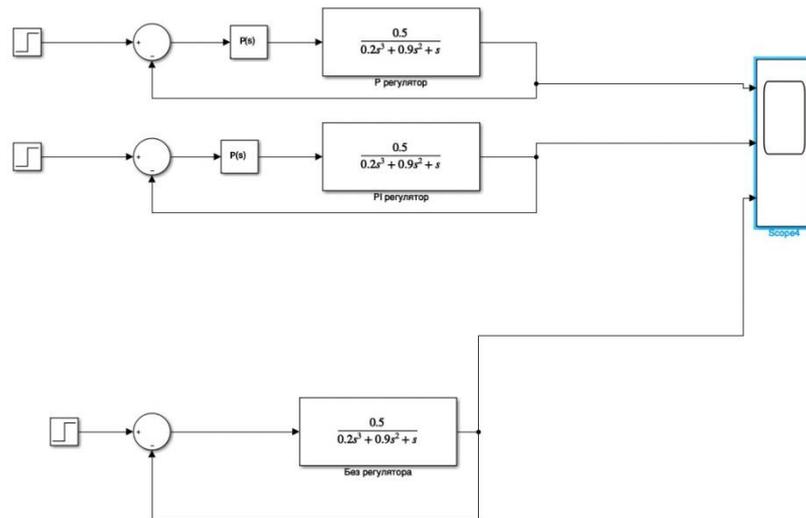


Рисунок 2.8 – Структурная схема системы без регулятора и с P-регулятором

Согласно результатам моделирования (рисунок 2.), мы видим что р-регулятор влияет на оценку качества системы – время регулирования. Рассмотрим 2 варианта, с разным значением P- регулятора:

- 1 Коэффициент регулятора при $P > 1$ (на рисунке 2. обозначено желтой кривой), уменьшает время регулирования, но растет перерегулирование.
- 2 Коэффициент регулятора при $1 < P > 0$ (на рисунке 2. обозначено красной кривой), не имеет перерегулирования, но увеличивает время регулирования.

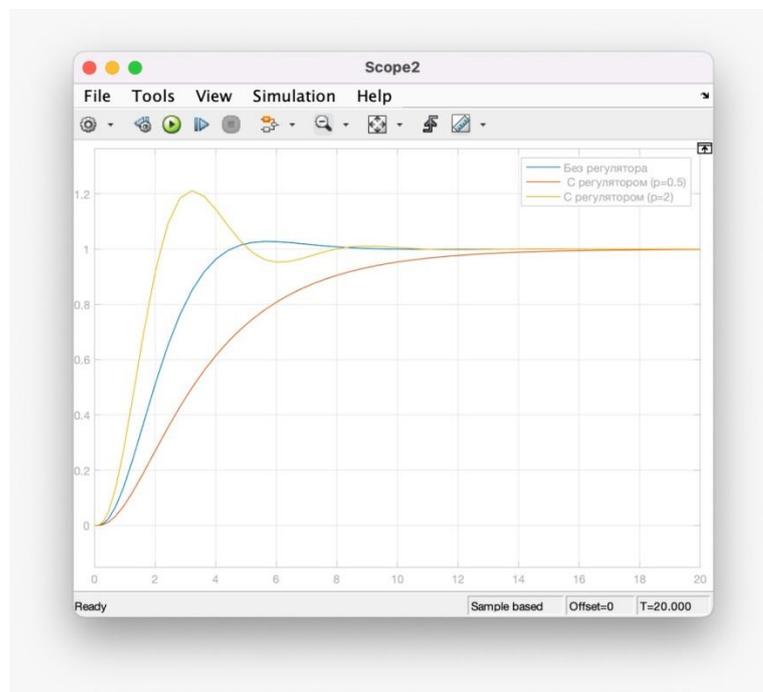


Рисунок 2.9 – Результаты моделирования систем управления с P-регулятором.

Исследование I-регулятора:

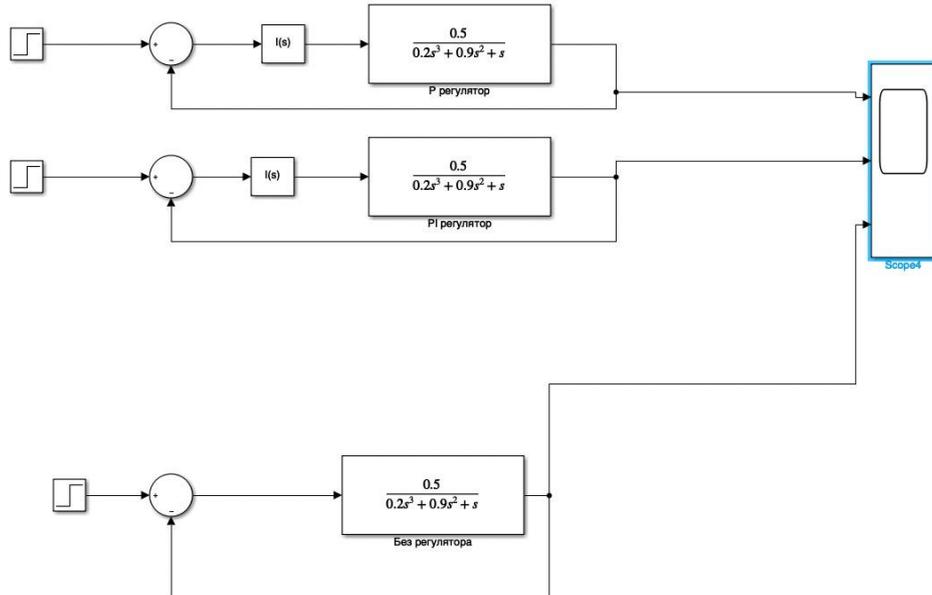


Рисунок 2.10 – Структурная схема системы без регулятора и с I-регулятором

Согласно результатам моделирования (рисунок 2.), мы видим что I-регулятор создает расходящиеся колебания, и чем больше значение I, тем больше количество колебаний.

Системы с I – регуляторами неустойчивые и неточные.

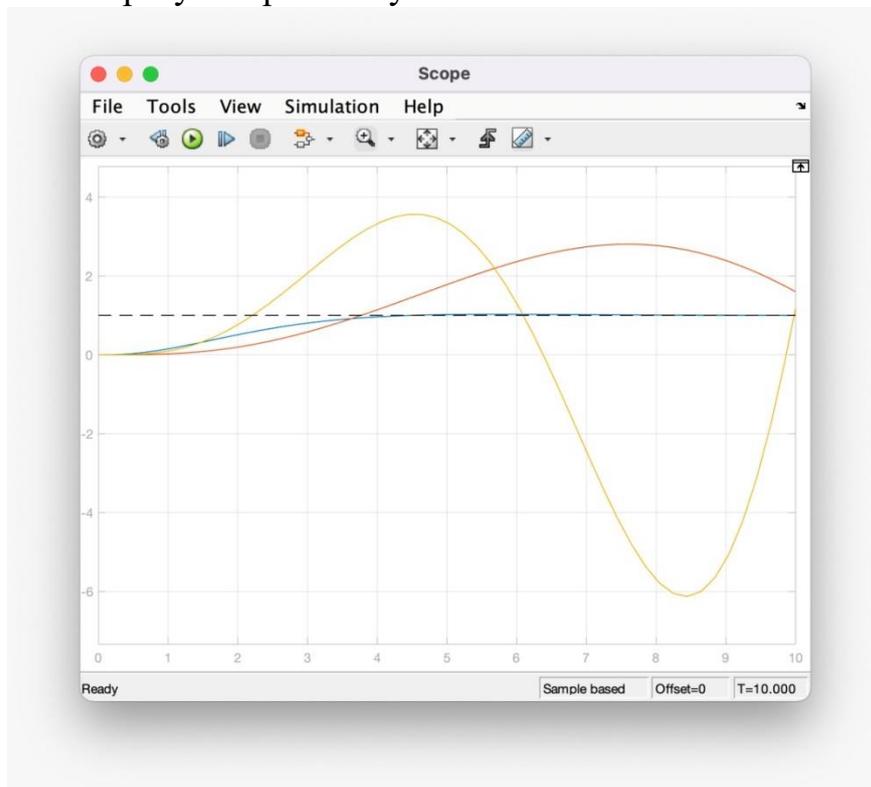


Рисунок 2.11 – Результаты моделирования систем управления с I-регулятором.

Исследование PI-регулятора:

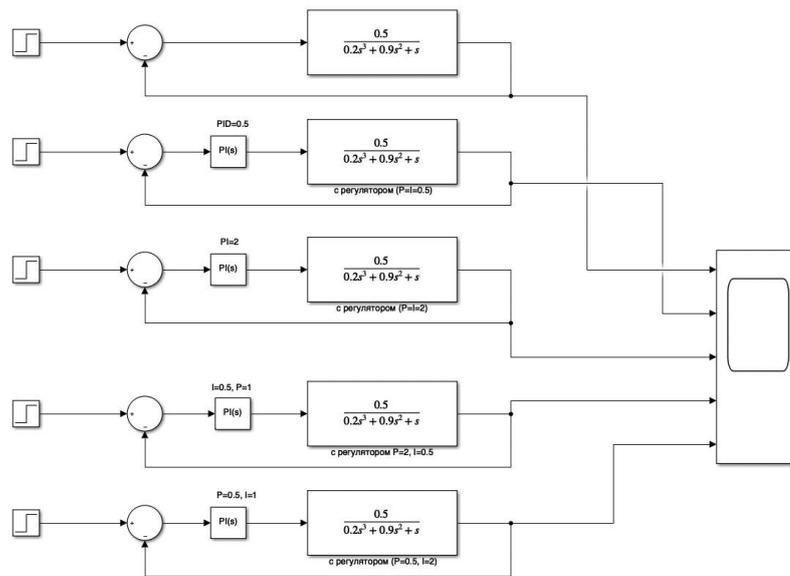


Рисунок 2.12 – Структурная схема системы без регулятора и с PI-регулятором

Согласно результатам моделирования (рисунок 2.), мы видим что PI-регулятор влияет на время регулирования и на колебательность. Рассмотрим 4 варианта с разными значениями PI-регулятора.

1 Значение регулятора при $P = I > 1$ (на рисунке 2. обозначено желтой кривой), I параметр увеличивает колебательность, система неустойчива.

2 Значение регулятора при $1 < I = P > 0$ (на рисунке 2. обозначено красной кривой), увеличивает время регулирования из-за параметра P и увеличивает перерегулирование из-за параметра I.

3 Значение регулятора при $P > 1$ и $1 < I > 0$ (на рисунке 2. обозначено фиолетовой кривой) уменьшает время регулирования из-за параметра P, но увеличивает перерегулирование из-за параметра I.

4 Значение регулятора при $I > 1$ и $1 < P > 0$ (на рисунке 2. обозначено зеленой кривой) приводит к расходящейся системе. Регулятор PI уменьшает время регулирования, но из-за параметра I увеличивается колебательность до неустойчивости.

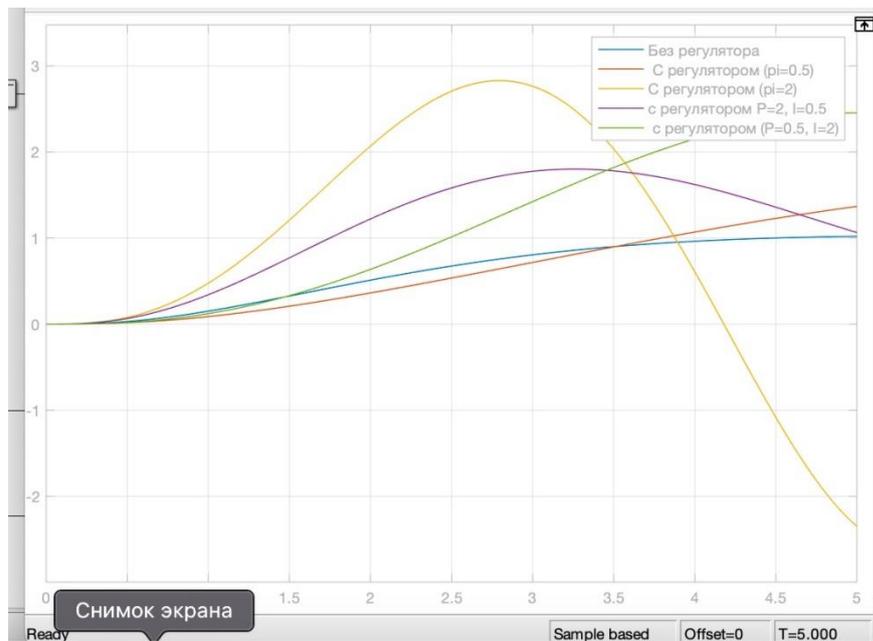


Рисунок 2.13 – Результаты моделирования систем управления с PI-регулятором.

Исследование PD регулятора:

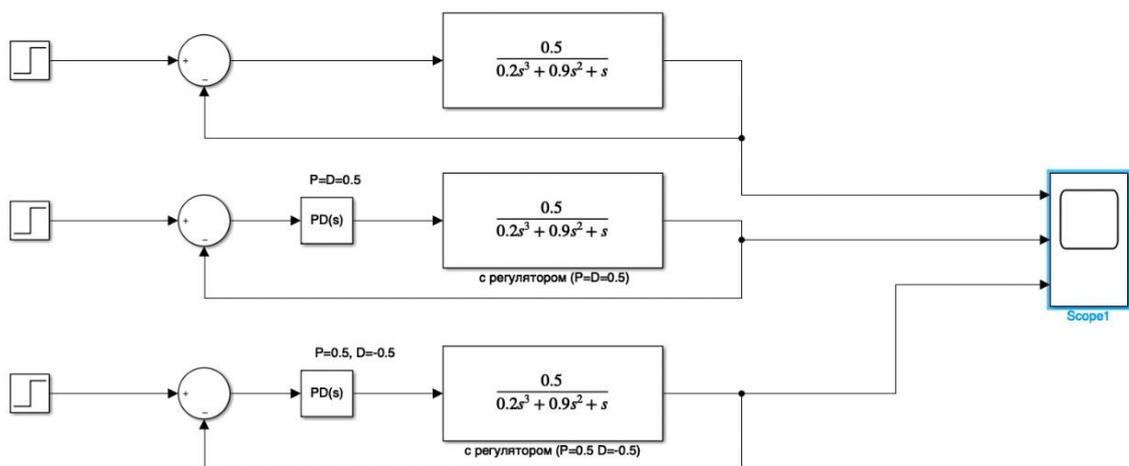


Рисунок 2.14 – Структурная схема системы без регулятора и с PD-регулятором

Согласно результатам моделирования (рисунок 2.), мы видим что PD-регулятор влияет на время регулирования и на колебательность. Рассмотрим 2 варианта, с разным значением P- регулятора:

1 Коэффициент регулятора при $PD > 1$ (на рисунке 2. обозначено желтой кривой), увеличивает время регулирования.

2 Коэффициент регулятора при $1 < PD > 0$ (на рисунке 2. обозначено красной кривой), увеличивает время регулирования.

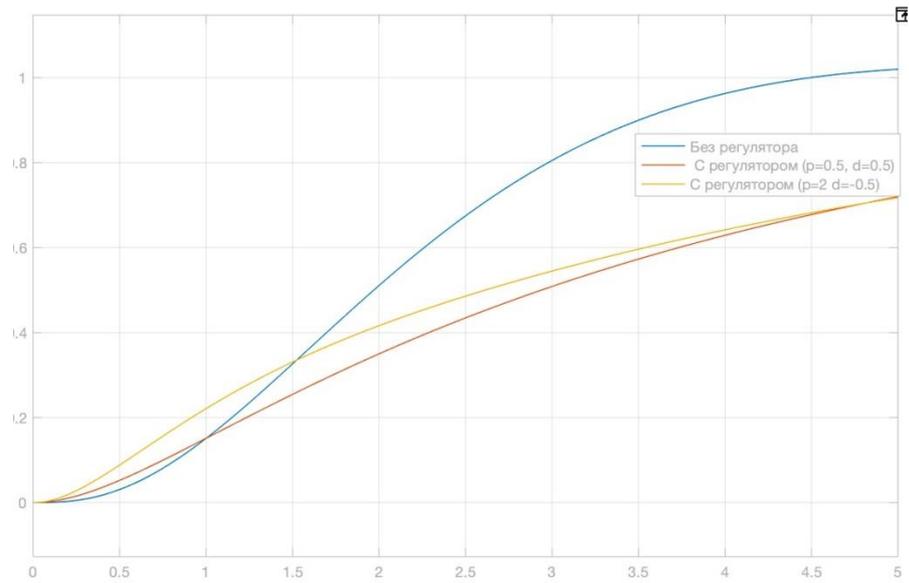


Рисунок 2.15 – Результаты моделирования систем управления с PD-регулятором.

Исследование PID-регулятора:

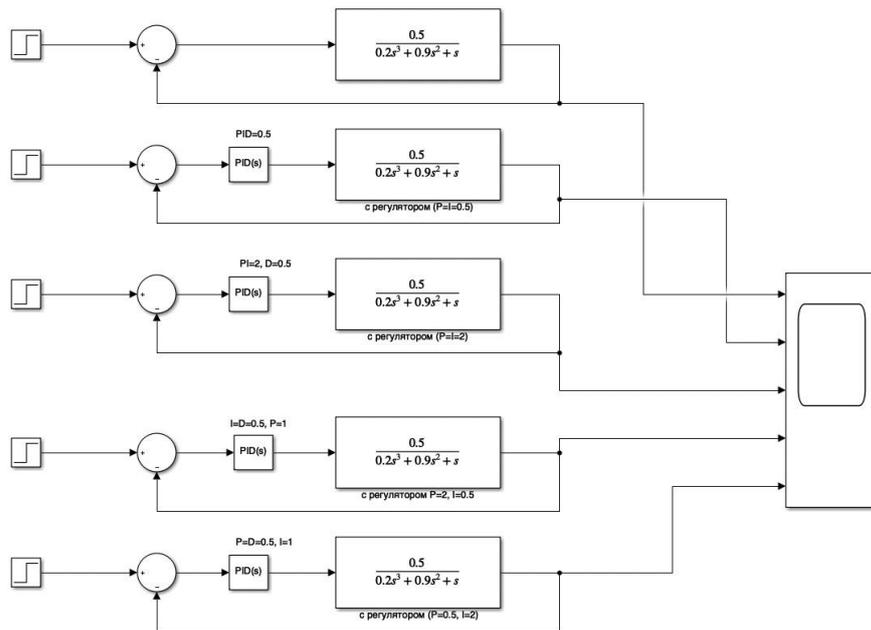
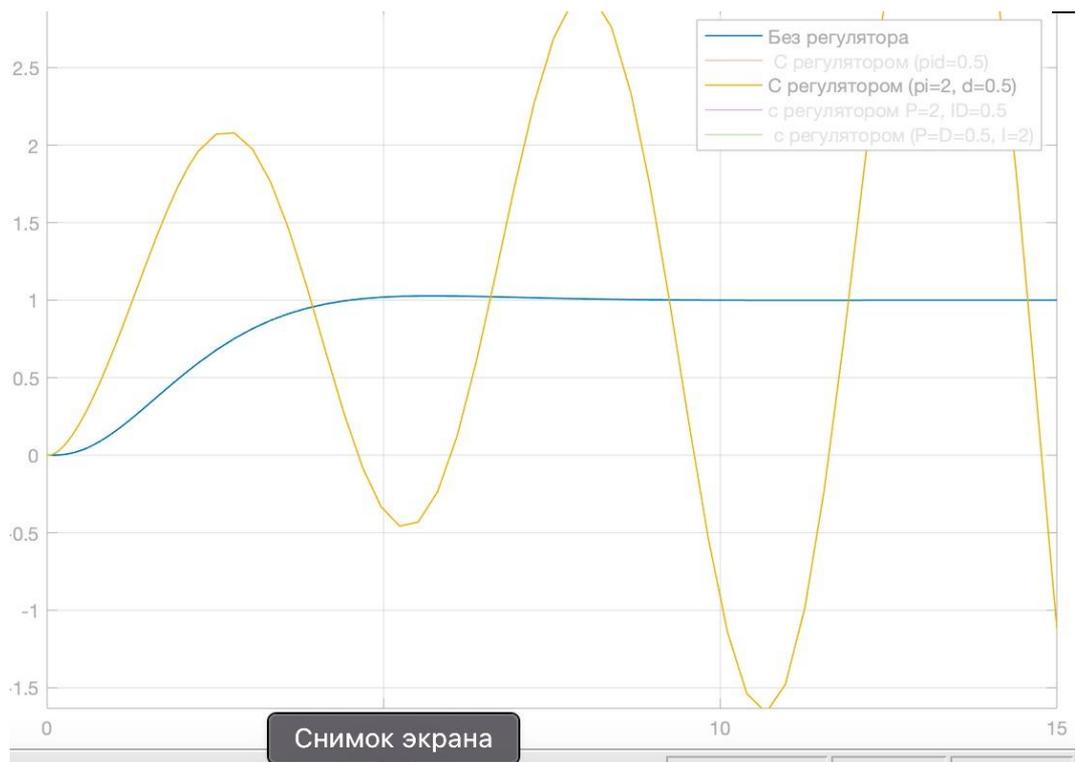
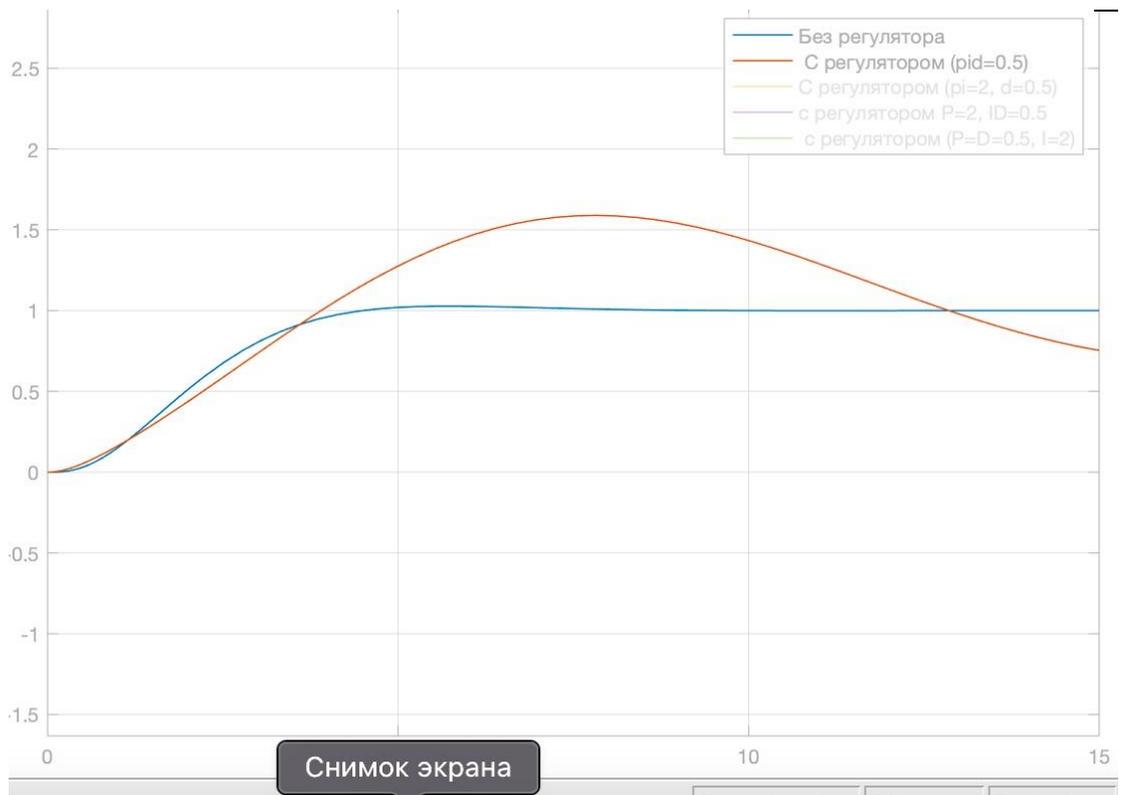


Рисунок 2.16 - Структурная схема системы без регулятора и с PID-регулятором



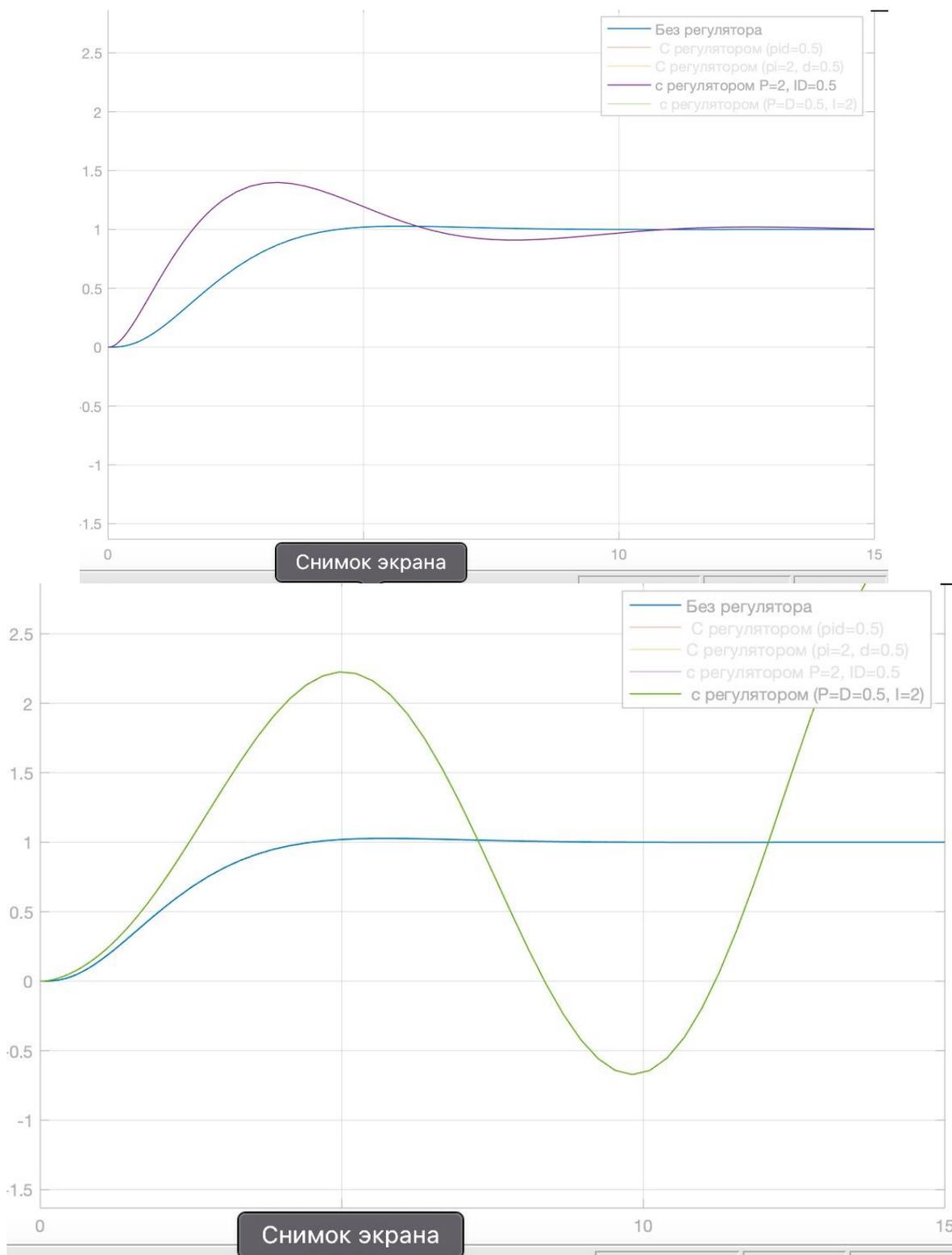


Рисунок 2.17-21 - Результаты моделирования систем управления с PID-регулятором.

Согласно результатам моделирования(рисунок 2.), мы видим что PID-регулятор влияет на время регулирования и на колебательность. Рассмотрим 4 варианта с разными значениями PID- регулятора.

$k_{cr} = 9$ - предельный коэффициент усиления, соответствующий колебательной границе устойчивости.

Шаг 3. Построить переходной процесс с P-регулятором с параметром k_{cr} :

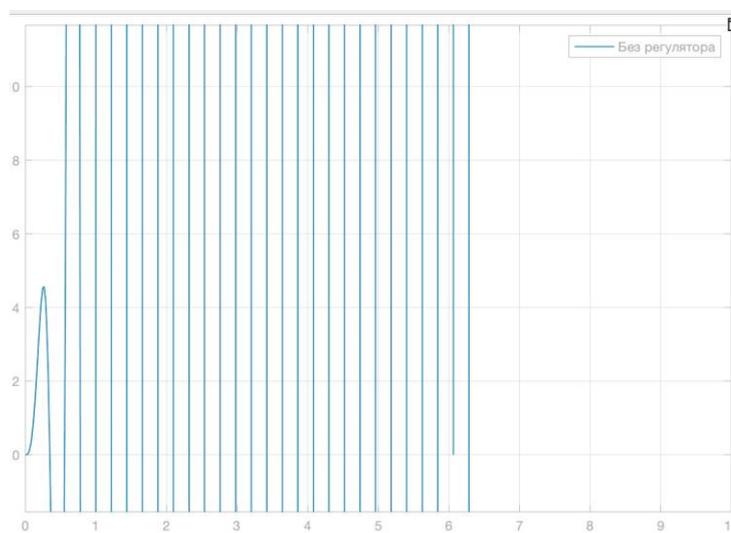


Рисунок 2.23- Результаты моделирования систем управления

Шаг 4. Необходимо найти P_{cr} по колебательному процессу:

$$k_{cr} = 0.5$$

Шаг 5. Посчитать параметры типового регулятора по таблице :

Таблица 2 – Параметры типового регулятора

Регуляторы	P	$\frac{1}{I}$	D
P	$0.5k_{cr}$	—	—
PI	$0.45k_{cr}$:	$P_{cr}/1.2$	—
PID	$0.6k_{cr}$:	$P_{cr}/2$	$P_{cr}/8$

P-регулятор:

$$P = 0.5k_{cr} = 0.5 * 9 = 4.5$$

PI-регулятор:

$$P = 0.45k_{cr} = 0.45 * 9 = 4.05$$

$$I = \frac{P_{cr}}{1.2} = \frac{0.5}{1.2} = 0.4166$$

PID-регулятор:

$$P = 0.6k_{cr} = 0.6 * 9 = 5.4$$

$$I = \frac{P_{cr}}{2} = \frac{0.5}{2} = 0.25$$

$$D = \frac{P_{cr}}{8} = \frac{0.5}{8} = 0.0625$$

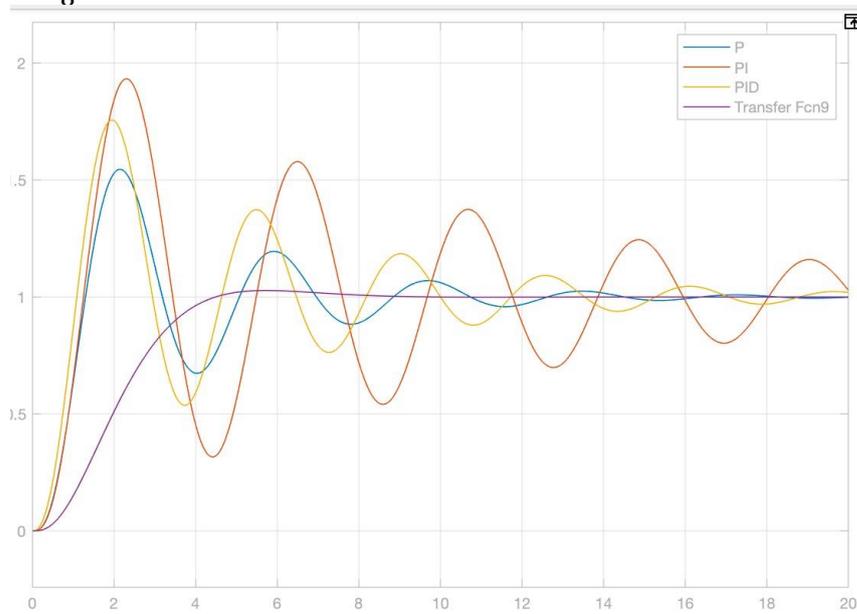


Рисунок 2.24 – Результаты моделирования систем с рассчитанными регуляторами

Подставив полученные значения в регуляторы систем, получим переходные процессы (рисунок 2.25). Синяя кривая - замкнутая система с P-регулятором, красная кривая – замкнутая система с PI –регулятором, зеленая кривая – замкнутая система с PID-регулятором и фиолетовая кривая- замкнутая система без регулятора.

Описание переходных процессов:

Переходный процесс системы с P-регулятором (синяя кривая) точный, время регулирования равно 16 секундам, много помех, перерегулирование 55%. Время нарастания системы проходит быстрее чем у системы без регулятора.

Переходный процесс системы с PI-регулятором (красная кривая) точный, время регулирования 24 секунды, имеет очень много помех и перерегулирование 90%. Время нарастания системы такое же, как и у системы с P-регулятором.

Переходный процесс системы с PID-регулятором (желтая кривая) точный, время регулирования 20 секунд, перерегулирование 75%. Время нарастания системы быстрее чем у систем с P-регулятором и PI-регуляторами.

Переходный процесс системы без регулятора (фиолетовая кривая) точный, время регулирования 9с, перерегулирование 0%. Не имеет, в отличие от остальных систем, перерегулирование, но имеет наибольшее время нарастания, 5с.

Исходя из результатов моделирования систем с рассчитанными регуляторами (рисунок 2.25), мы видим что все три регулятора увеличивают перерегулирование и колебательность. Следовательно, можно предположить, что использование в системе PD-регулятора будет самым оптимальным выбором в сравнении с остальными регуляторами. PD-регулятор, синтезирован с помощью второго метода Циглера-Никольса и изображен на рисунке 2.26 в виде красной кривой:

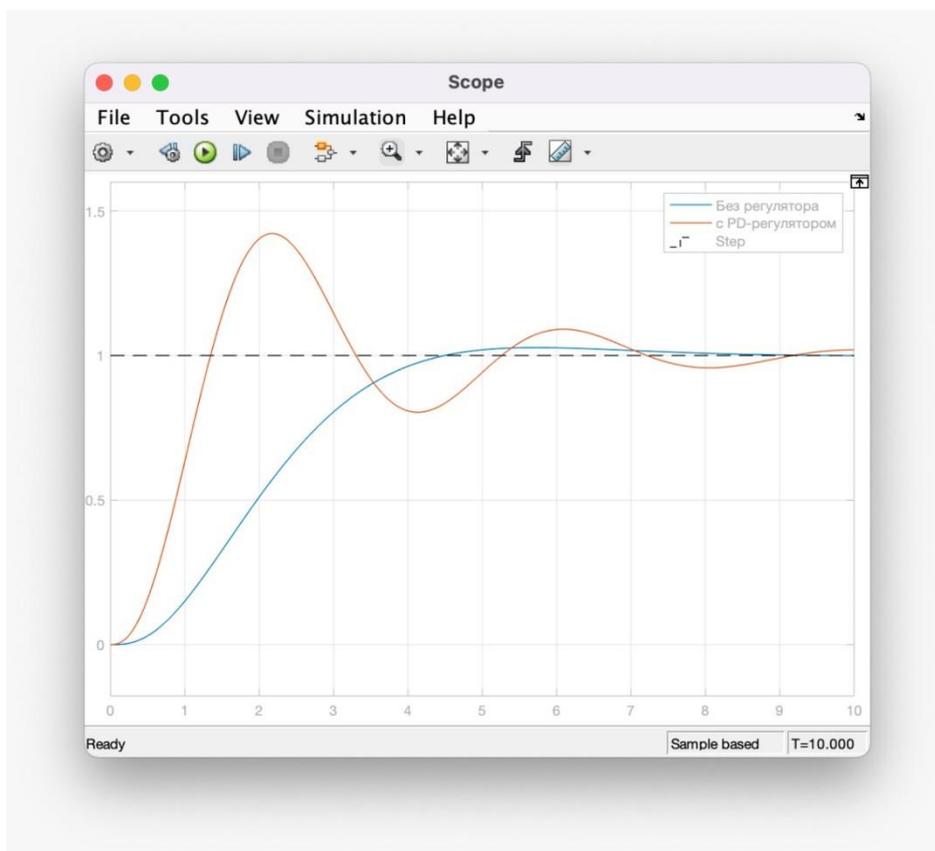


Рисунок 2.25 – Результаты моделирования системы с синтезированным PD-регулятором

Переходный процесс системы с PD-регулятором (красная кривая) точный, время регулирования равно 10 секундам, есть помехи и перерегулирование

36%. Время нарастания - 1,3с, быстрее чем у систем с P-PI-PID регуляторами, а так же меньше время регулирования , перерегулирование и колебательность

2.7 Выбор оптимального регулятора и сравнение оценок качества с исходной системой

Прямые оценки качества:

1. Время регулирования — это минимальное время, за которое выходной сигнал будет равен задающему, с точностью в 1-5%:

$$T_{set} = 10с$$

2. Перерегулирование — максимальное отклонение выходного сигнала от задающего, выраженное в процентах: % $P_{ov} = 40\%$

3. Число колебаний — количество колебаний, которое имеет переходной процесс за время регулирования:

$$M = 3.5$$

4. Колебательность — частота колебаний за период колебаний, рассчитывается для колебательных переходных процессов:

$$\mu = 78;$$

5. Период колебаний:

$$T_{osc} = 4 с ;$$

6. Установившаяся ошибка — разница между задающим и установившимся выходными сигналами:

$$e_{ss} = y_r - y_{ss} = 0$$

7. Время достижения первого максимума:

$$T_p = 2.2с;$$

8. Время нарастания — время, за которое выходной сигнал будет равен задающему:

$$T_R = 1,3 с ;$$

9. Декремент затухания — отношение модулей двух смежных перерегулирований:

$$\gamma = 0.25$$

Таблица 3 – Сравнение оценок качества исходной системы с системой, с PD-регулятором

Время регулирования, с	9	10
Перерегулирование, %	3	40
Число колебаний	1,2	3.5
Колебательность, %	NaN	78
Период колебаний, с	0.837	4
Установившаяся ошибка	0	0

Время достижения первого максимума, с	6	2.2
Время нарастания	4.5	1.3
Декремент затухания, с	1	0.25

Во время проведения исследования, выяснилось, что система с PD-регулятором является самой оптимальной: при наименьшем времени регулирования и достаточно меньшим временем нарастания, переходный процесс имеет: наименьшие помехи, колебательность и процент перерегулирования. А если сравнивать с системой без регулятора, система с PD-регулятором имеет меньшее время нарастания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части данного дипломного проекта, были рассмотрены основные понятия, технологические процессы: энергодиспетчеризации, обогатительной фабрики и энергодиспетчеризации в обогатительной фабрике.

Во второй части дипломного проекта была рассмотрена функциональная схема дробительного отдела, исходя из функциональной схемы была составлена структурная схема, найдена эквивалентная передаточная функция и получен переходный процесс. Далее были определены нули и полюса системы, из которых мне удалось выяснить, при помощи теоремы Ляпунова, устойчивость системы. Так же было получены прямые оценки качества переходного процесса.

Для того чтобы оптимизировать систему, было рассмотрено влияние типовых регуляторов на систему управления. Были получены графики систем с регуляторами и без регулятора. Были вычислены параметры типовых регуляторов для синтеза регулятора.

На основе полученных данных о типовых регуляторах, был выбран оптимальный для системы, PD-регулятор. Я произвел сравнение и анализ между системой без регулятора и с PD-регулятором, который, судя по анализу, имел преимущество в наглядном быстром действии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С-П.: Профессия., 2004. – 54 с.
2. Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов, М.: Высшая школа, 1977. – 519 с.
3. Пантелеев А.В., Бортакровский А.С. Теория управления в примерах и задачах: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2003. – 584с.
4. Перов В.А., Разумов К.А. Проектирование обогатительных фабрик. - Недра, Москва, 1982 г., 518 стр., УДК: 662.7.001.63 (075.8)
5. Адамов Э.В. Основы проектирования обогатительных фабрик. – МИСИС, 2012 646с
6. Гайдук А.Р., Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями MATLAB, 2011
7. Корилов А. М. Основы теории управления: учебное пособие. 2-е изд. – Изд-во НТЛ, 2002. – 392 с.
8. Имаев Д.Х., Ковальски З. и др. Анализ и синтез систем управления. Теория. Методы. Примеры решения типовых задач с использованием персонального компьютера. –Информационно-издательский центр Сургутского гос. ун-та. –1998. –172с.
9. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 831с.
10. Дьяконов В. П. Simulink 4. Специальный справочник. –СПб: Питер. – 2002. –528с.
11. 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

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: Даулбаев Ильяс Қайнарұлы

Название: Автоматизированная система энергодиспетчеризации обогатительной фабрики

Координатор: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент подобия 1:4.6

Коэффициент подобия 2:2.4

Замена букв:13

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;

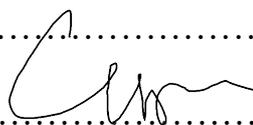
обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;

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:

.....

.....
Дата



.....
Подпись Научного руководителя

ПРОТОКОЛ АНАЛИЗА ОТЧЕТА ПОДОБИЯ ЗАВЕДУЩЕГО 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: Даулбаев Ильяс Қайнарұлы

Название: Автоматизированная система энергодиспетчеризации обогатительной фабрики

Координатор: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент подобия 1: 4.6

Коэффициент подобия 2: 2.4

Замена букв:13

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:

.....
.....
.....

.....
.....

.....

.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....

.....

.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения