

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

Горбунов Дмитрий Витальевич

Разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного
производства

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
ассоциированный профессор
Алдияров Н.У.
«16» мая 2022 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка автоматизированной системы управления процессами
бумажного производства»

по специальности: 5В070200 – Автоматизация и управление

Выполнил

Горбунов Д. В.

Рецензент

канд. техн. наук, доц.

Юничева Н. Р.

(подпись)

« 6 » мая 2022 г.

Научный руководитель

канд. техн. наук, ассоц. проф.

Ширяева О. И.

(подпись)

« 6 » мая 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

5B070200 – Автоматизация и управление



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ
ассоциированный профессор

Алдияров Н.У.

«16» мая 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Горбунову Д. В.

Тема «Разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства»

Утвержден приказом ректора Университета № 489-П/Ө от «24» декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: «20» апреля 2022 г.

Исходные данные дипломной работы: регламент технологической работы на БДМ предприятия «Карина».

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов: а) технологический процесс бумажного производства; б) анализ системы автоматического регулирования плотностью бумаги; в) синтез системы автоматического регулирования плотностью бумаги.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): структурная схема САУ, схема автоматизации бумагоделательной машины.

Рекомендуемая основная литература: Суриков В. Н., Буйлов Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств, Бесекерский В.А., Попов Е. П. Теория системы автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 750с.




ГРАФИК

Подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Технологическая часть	1 февраля 2022 г.	
Расчётная часть	20 апреля 2022 г.	

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О. И.	15.05.2022	
Раздел расчётной части	канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О. И.	15.05.2022	
Нормоконтролер	канд.техн.наук, ассистент профессор Сарсенбаев Н.С.	15.05.2022	

Научный руководитель _____  Ширяева О. И.

Задание принял к исполнению _____  Горбунов Д. В.

Дата «5» января 2022 г.

АҢДАТПА

Дипломдық жобада қағаз өндірісінің процестерін басқарудың автоматтандырылған жүйесін жасау, санитарлық-гигиеналық мақсатта «Карина» кәсіпорнында қағаз машинасының АТС зерттеу мәселесін шешу қарастырылған. Дипломдық жоба екі бөліктен тұрады: технологиялық бөлім және есептеу бөлімі.

Жобаның бірінші бөлімінде функционалдық автоматтандыру схемасын, басқару циклін анықтауды, атап айтқанда қағаз тығыздығын автоматты басқару жүйесін енгізу арқылы процестің қысқаша технологиясы сипатталған.

Есептеу бөлімінде анықталған математикалық басқару моделі бойынша жүйенің динамикалық қасиеттерінің толық талдауы және сапаны бағалау көрсетілген. Талдауға сәйкес реттеушіге қажетті талаптар таңдалды. Сондай-ақ жобаның екінші тарауында типтік контроллер синтезделді, оның параметрлері MatLab ортасында генетикалық алгоритм арқылы анықталды. Параметрлік типтік контроллер классикалық Зиглер-Никольс әдісінің №2 көмегімен де синтезделді.

Контроллер параметрлері бойынша оңтайлы шешімдерді алғаннан кейін синтезделген контроллерлердің салыстырмалы талдауы жасалды, атап айтқанда контроллермен жүйенің сапа бағалары.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте рассматривается разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства, решение задачи исследования САР бумагоделательной машины на предприятии «Карина» санитарно-гигиенического назначения. Дипломный проект разбит на две части: технологическая часть и расчётная часть.

В первой части проекта описана краткая технология процесса, с внедрением также функциональной схемы автоматизации, определения контура управления, а именно системы автоматического управления плотностью бумаги.

В расчётной части согласно идентифицированной математической модели управления показан полный анализ динамических свойств системы и оценки качества. Согласно анализу подобраны нужные требования для регулятора. Также во второй главе проекта был синтезирован типовой регулятор, параметры которого определены с помощью генетического алгоритма в среде MatLab. Также синтезирован параметрический типовой регулятор классическим методом Циглера – Никольса №2.

После получения оптимальных решения для параметров регулятора, произведён сравнительный анализ синтезируемых регуляторов, а именно оценок качества системы с регулятором.

ANNOTATION

The graduation project considers the development of an automated control system for paper production processes, the solution of the problem of studying the ATS of a paper machine at the Karina enterprise for sanitary and hygienic purposes. The thesis project is divided into two parts: the technological part and the calculation part.

In the first part of the project, a brief technology of the process is described, with the introduction of a functional automation scheme, the definition of a control loop, namely, an automatic control system for paper density.

In the calculation part, according to the identified mathematical control model, a complete analysis of the dynamic properties of the system and quality assessment is shown. According to the analysis, the necessary requirements for the regulator were selected. Also, in the second chapter of the project, a typical controller was synthesized, the parameters of which were determined using a genetic algorithm in the MatLab environment. A parametric typical controller was also synthesized using the classical Ziegler-Nichols method No. 2.

After obtaining the optimal solutions for the controller parameters, a comparative analysis of the synthesized controllers was made, namely, the quality estimates of the system with the controller.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Технологическая часть	10
1.1	Технологический процесс бумагоделательной машины	10
1.2	Функциональная схема бумагоделательной машины	13
1.3	Математическая модель системы автоматического регулирования	14
1.4	Структурная схема и результаты моделирования	15
2	Анализ и синтез системы автоматического регулирования	17
2.1	Исследование устойчивости разомкнутой и замкнутой системы	17
2.2	Оценки качества системы автоматического регулирования бумагоделательной машины	18
2.3	Синтез регулятора системы автоматического управления бумагоделательной машины	26
	Заключение	37
	Список использованной литературы	38
	Приложение А	39

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день имеют особую актуальность задачи, связанные с автоматизацией отечественных технологических процессов различных отраслей промышленности, к которым, в том числе, относится бумажное производство.

На современном бумажном производстве существует огромное количество типов и сортов бумаги, которые делятся по формату, плотности, белизне, способу применения. Данное разнообразие обуславливает большое количество технологических режимов, требующих разработки автоматизированного управления.

Процесс технологии на бумажном производстве в данном дипломном проекте был описан на основе бумажного производства санитарно-гигиенического назначения «Карина», производства продукции таких как салфетки, бумажных полотенец и т. д.

Общая характеристика. Данный дипломный проект несёт в себе следующие части проекта:

В технологической части представлена технология производства бумаги, где поэтапно расписана работа бумагоделательной машины, а также процессы бумажного производства.

В результате получена математическая модель объекта управления. При получении математической модели использована методология структурной и параметрической идентификации объекта управления.

Расчетная часть проекта направлена непосредственно на анализ и синтез системы автоматического регулирования бумагоделательной машины. В рамках анализа реализованы процедуры анализа устойчивости разомкнутой и замкнутой САР, анализ прямых и косвенных оценок качества замкнутой САР.

В рамках решения задачи синтеза САР, выполнена настройка параметров PI-регулятора различными методами и проведён сравнительный анализ. Регуляторы синтезированы на основе метода генетического алгоритма, а также метод Циглера – Никольса №2.

Цель работы. Разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства, а именно бумагоделательной машины. Опираясь на основные технологические параметры, синтезируем PI – регулятор, системы автоматического регулирования плотностью бумаги.

Задачи. Задачами дипломного проекта относится анализ системы автоматического регулирования плотностью бумаги. Синтезируем типовой регулятор для достижения наилучших показателей качества системы, анализ полученных результатов.

1 Технологическая часть

1.1 Технологический процесс бумагоделательной машины

Технологический процесс бумагоделательной машины одной из самой крупного предприятия по производству бумаги в Казахстане «Карина Trading» — это сложный многостадийный процесс. Технологию производства БДМ (бумагоделательной машины) можно ранжировать на основные этапы согласно таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные этапы технологии производства

№	Этапы производства
1	Подготовка массы сырья
2	Очистка массы
3	Размол массы
4	Тонкая очистка
5	Вылив
6	Сушка
7	Намотка

При производстве бумаги, на начальной стадии, необходимо подготовить сырьё, в бумажной промышленности основополагающим сырьём является целлюлоза. Вторичным сырьём может выступать вторичная переработка бумажных отходов, книги, журналы, газеты и т. д. (макулатура). Главной задачей на начальной стадии является получение макулатурной массы, для этого используют специальные устройства – гидроразбиватели (ГРВ). На данной стадии происходит разволокнение бумажной массы до концентрации 6% (на 16 т. воды 1 т. макулатуры). Далее, данная масса переходит на второй этап, стадию очистки.

Гидроразбиватели, принято называть также машинным бассейном, где непосредственно и происходит подготовка массы для производства бумаги. Данный агрегат должен обеспечивать постоянную концентрацию массы, за счёт разволокнения исходного сырья в данном случае целлюлозы. При перекачки подготовленной массы на производстве используются высокомошные насосы, от одного участка к другому.

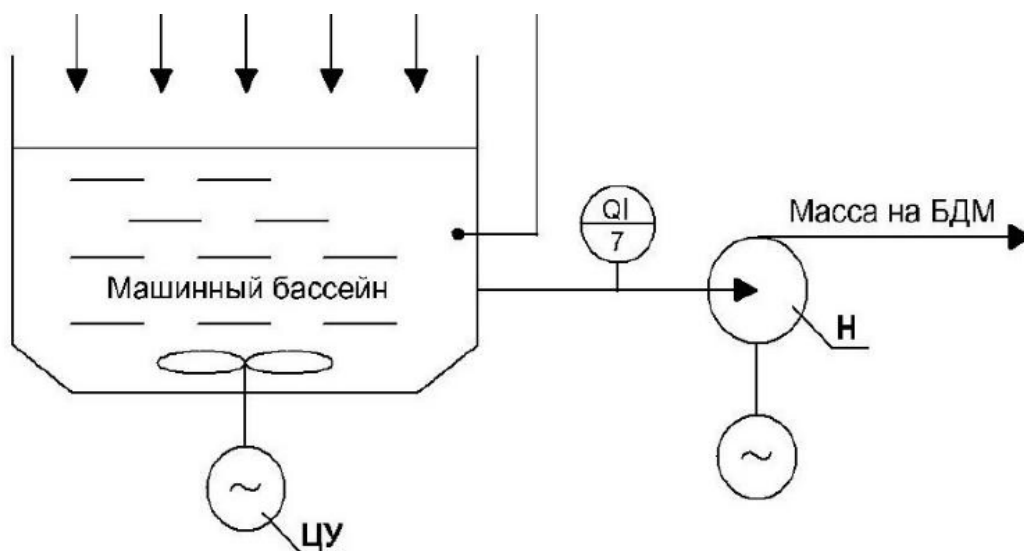


Рисунок 1.1 – Функциональная схема машинного бассейна

На втором этапе бумажная масса проходит через вихревые очистители, которые удаляют тяжёлые примеси из макулатуры (песок, скрепки и т. д.). Далее проходит через сепаратор устройство очистки от скотча, ламината, и не размолотой макулатуры, которая является влагопрочной.

Третья стадия размола. Очищенная масса подаётся на мельницу, где происходит размол бумажного волокна и далее подаётся в бак постоянного уровня (БПУ), где под постоянным давлением поступает на первый смесительный насос.

Четвёртая стадия тонкой очистки. На этой стадии макулатурная масса поступает на смесительный насос, который разбавляет её с водой до концентрации 3%, далее поступает на вихревые очистители, где происходит удаление от типографического материала (краски, мела и мелкого песка). Далее поступает на второй смесительный насос, где масса разбавляется водой до концентрации 0.4–0.5% и поступает на агрегат тонкой очистки, где находится сито, через которое проходит бумажное волокно, а остальные включения удаляются на специальном устройстве утилизации (вибросито). После тонкой очистки бумажная масса поступает на напорный ящик. Для сырья целлюлозы предварительная очистка не требуется. Далее сырьё поступает на напорный ящик.

Пятая стадия вылив. Напорный ящик – устройство, предназначенное для подачи бумажной массы с определённым давлением и равномерным потоком на сеточную часть бумажной машины, где происходит обезвоживание и формование бумажного полотна. Обезвоживание происходит при помощи гидропланок и вакуумных ящичков на сеточном столе. Остаточная часть воды с за счёт гидропланок попадает в подсеточный бассейн, затем поступает в сборник оборотной воды. Такое использование сборника, позволяет значительно снизить расход свежей воды.

На рисунке 1.2 представлена структурная схема сеточного стола.

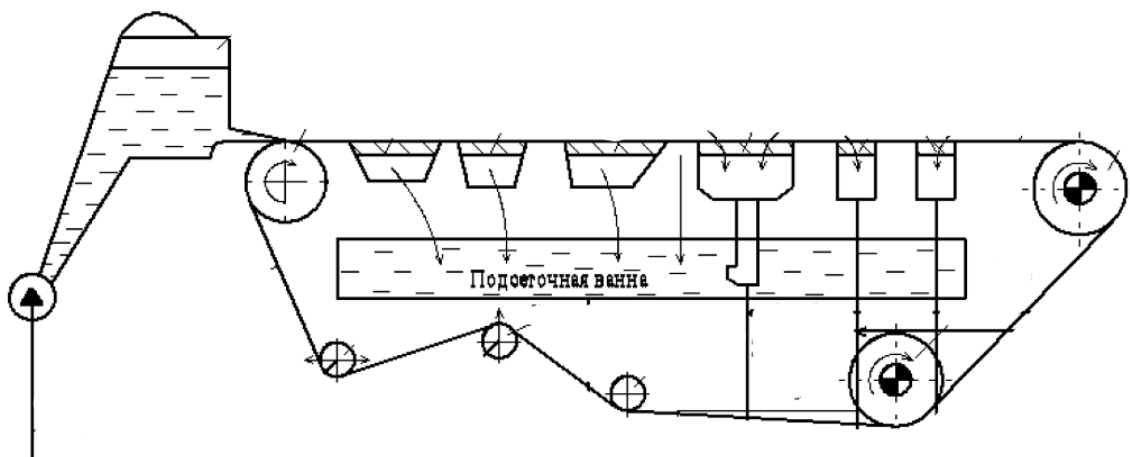


Рисунок 1.2 – Структурная схема сеточного стола

Шестая стадия сушки. На данной стадии обезвоженное бумажное полотно до влажности 12–14% передаётся на сукно, которое впитывает остатки влаги и данное бумажное полотно при помощи пресс валов, передаётся на сушильный цилиндр. Непосредственно для сушки бумаги применяют сушильный цилиндр (Янки цилиндр), диаметр данного цилиндра достигает 5 м. за счёт своей гладкой поверхности и при контакте с тонкой бумагой санитарно-гигиенического назначения бумага сушится благодаря Янки-цилиндра. Данный цилиндр снабжён трубами для отвода пара и конденсата. В Янки-цилиндр подаётся пар под давлением 3 bar. При температуре поверхности цилиндра 90–95°C и при вращении сушильного цилиндра бумага высыхает до 6% и снимается при помощи шаберного лезвия.

Седьмая стадия намотка. После того как бумага при помощи шаберного лезвия отошла от сушильного цилиндра бумага наматывается на намоточную втулку до определённого диаметра далее снимается, взвешивается, проверяется плотность, качество бумаги и отправляется на следующую стадию, где готовую бумагу режут на рулоны листы и следующая стадия упаковки. Далее уже отправляется на склад.

Объектом управления была взята БДМ. В ходе работы были сняты значения данных технологического процесса при единичном ступенчатом воздействии, входной величиной является расход макулатурной массы на сеточный пресс, а выходной величиной плотность бумаги. Исходные данные приведены в таблице 1.2.

Функциональная схема описанного технологического процесса или схема автоматизации представлена в Приложении А.

Таблица 1.2 – Исходные данные

Q , (л/мин)	ρ , (г)
800	18
826	20
888	22
935	24
957	25
990	26
1110	28
1150	29
1158	30
1189	31
1200	32
1210	33
1212	34
1234	35
1250	36

где,

Q – расход макулатурной массы;

ρ – плотность бумаги;

1.2 Функциональная схема бумагоделательной машины

Согласно описанному технологическому процессу и исходных данных составим функциональную схему БДМ, согласно рисунку 1.3.

Схема автоматизации бумагоделательной машины в Приложении А.

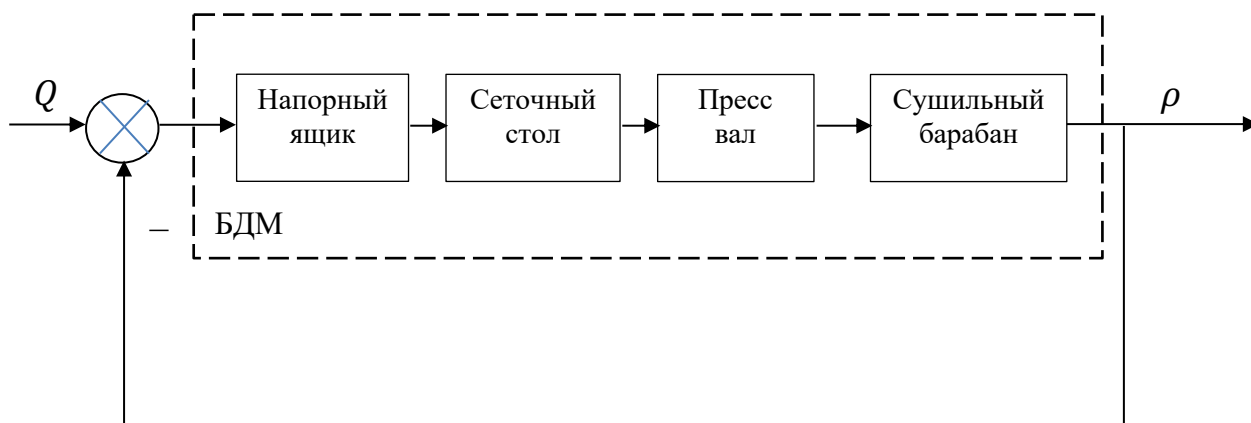


Рисунок 1.3 – Функциональная схема САР бумагоделательной машины

1.3 Математическая модель системы автоматического регулирования

Для получения математической модели системы автоматического регулирования рисунок 1.3, используем метод структурной и параметрической идентификации на основе исходных данных в таблице 1.2. В частности, используя инструментарий MatLAB System Identification получим адекватную математическую модель, входной величиной которой является расход макулатурной массы, выходной величиной плотность бумаги. Рассмотрим процессы БДМ как чёрный ящик.

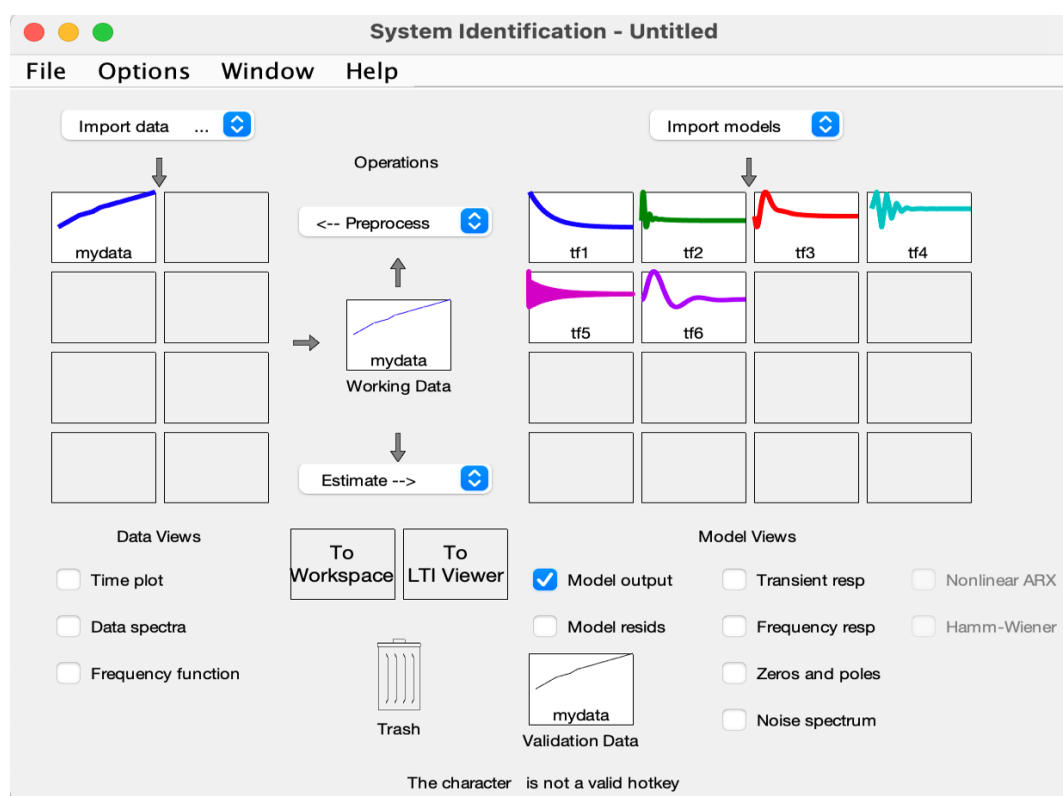


Рисунок 1.4 – Моделирование в MatLAB System Identification

При подборе математической модели, основополагающим фактором является адекватность, для этого промоделировали ряд передаточных функций и выберем наиболее адекватную. Передаточные функции с адекватностью ниже 90% в рассмотрение не берутся, даже при условиях низкого порядка системы. В результате получена математическая модель САР бумагоделательной машины, согласно рисунку 1.1, адекватность которой составляет 94.11%:

$$G(s) = \frac{185.4}{s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6373} \quad (1)$$

В результате получена передаточная функция разомкнутой САР четвёртого порядка.

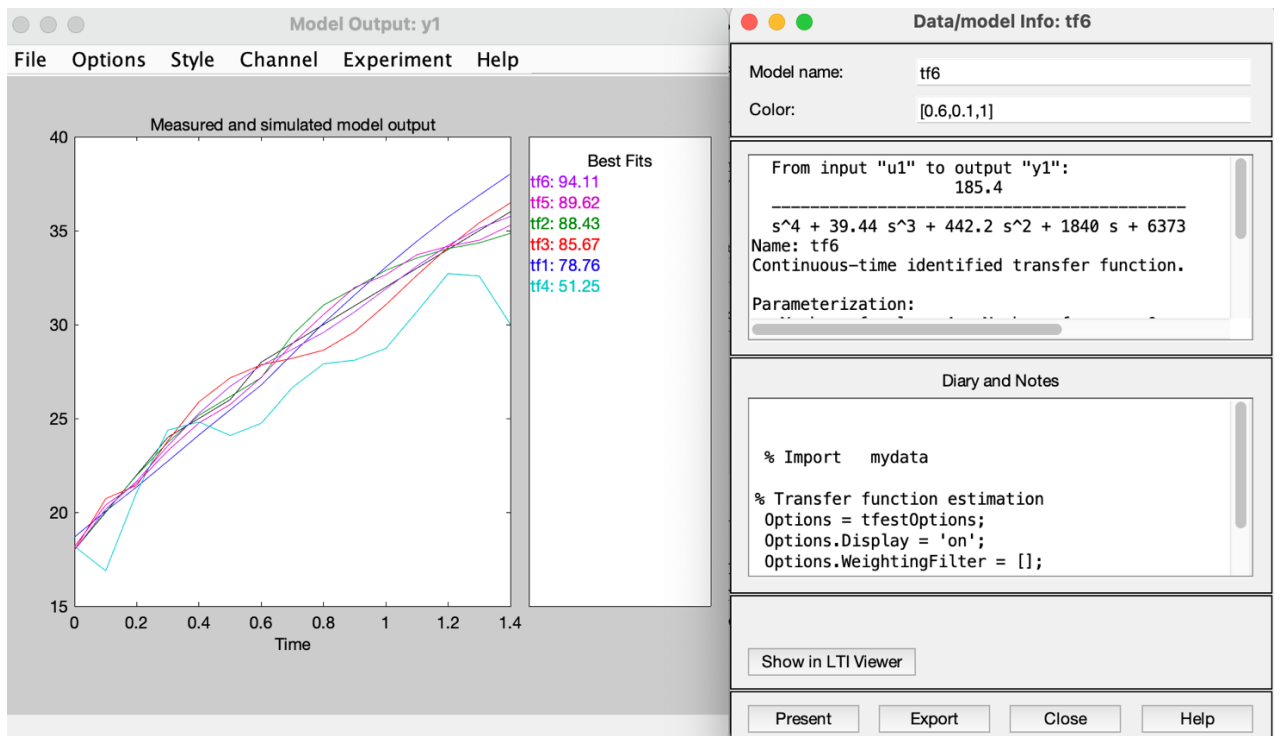


Рисунок 1.3 – Адекватности моделей в MatLAB System Identification

1.4 Структурная схема и результаты моделирования системы

Промоделировав систему на вход, подаётся единичное ступенчатое воздействие, для получения переходной характеристике.

Согласно передаточной функции (1), получим структурную схему рисунок 1.4 и построим переходные характеристики САУ соответствует рисунку 1.5.

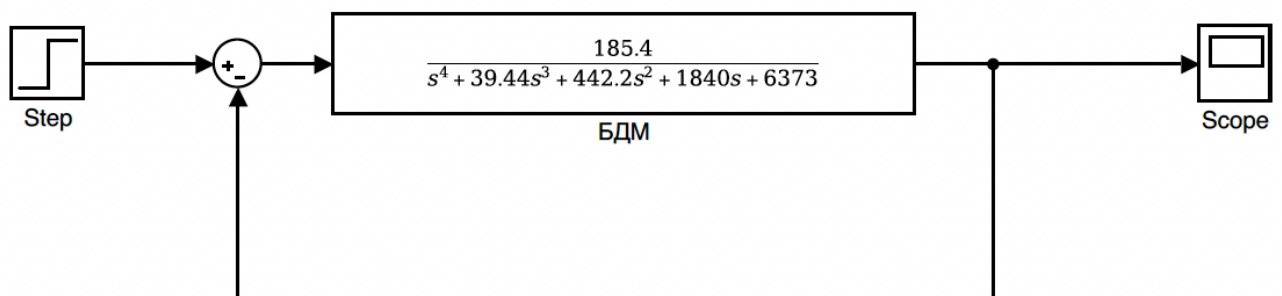


Рисунок 1.4 – Структурная схема замкнутой САУ плотности бумаги

Для замкнутой системы автоматического регулирования плотностью бумаги, передаточная функция примет вид:

$$T(s) = \frac{185.4}{s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6558.4} \quad (1.1)$$

Результаты моделирования разомкнутой и замкнутой САУ показаны на рисунке 1.5, где соответствует колебательному процессу.

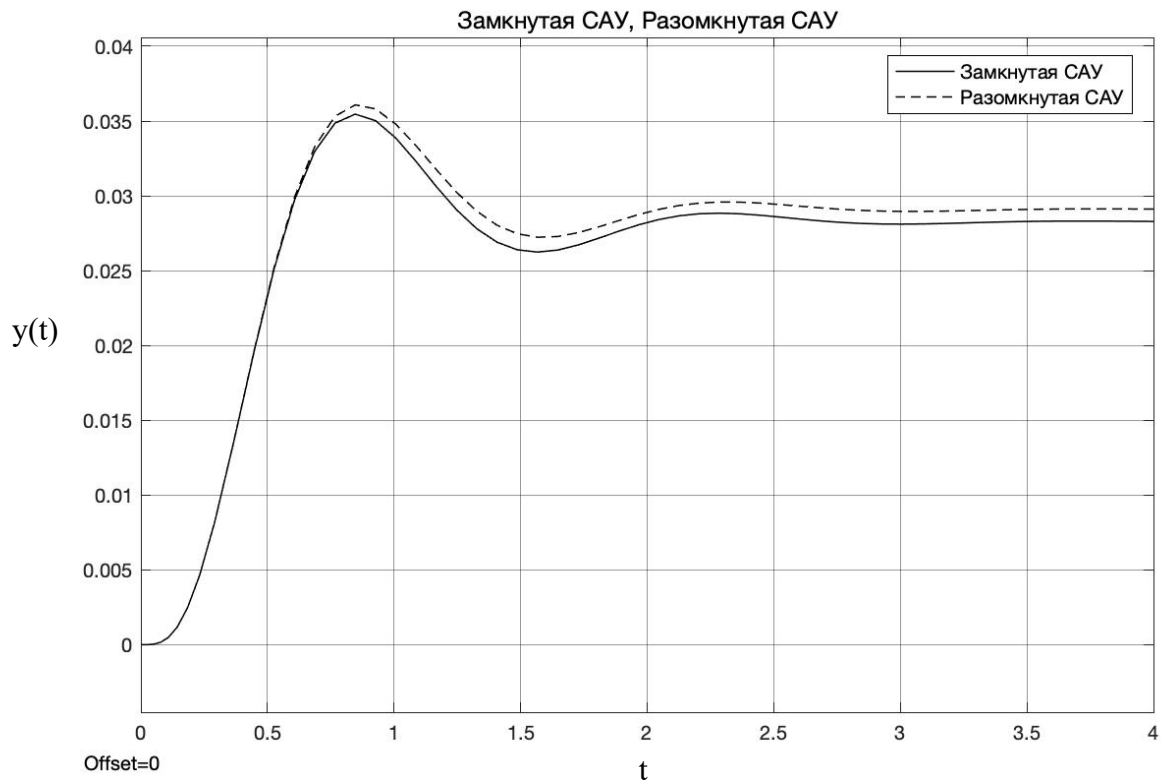


Рисунок 1.5 – Переходная характеристика замкнутой и разомкнутой САУ

Согласно переходной характеристике замкнутой и разомкнутой САУ, видно, что система приходит к установившемуся значению, следовательно система в обоих случаях устойчивая.

В последующих разделах будет проведён анализ данного процесса.

2 Анализ и синтез системы автоматического регулирования

2.1 Исследование устойчивости разомкнутой и замкнутой системы

Одним из главных показателей в анализе системы является исследование устойчивости систем, а также исследование процессов качества САУ бумагоделательной машины. Для определения устойчивости используются следующие методы: Ляпунова, критерии Гурвица, Михайлова, а также критерий Найквиста. Некоторые методы требуют временной, а также частотной области исследования. Одним из наиболее известных методов исследования устойчивости является первый метод Ляпунова, где устойчивость системы определяется по полюсам системы.

По замкнутой и разомкнутой САР получен колебательный процесс, который приходит к установившейся ошибке, следовательно замкнутая и разомкнутая САР устойчивая, но неточная. Опираясь на первый метод Ляпунова исследуем устойчивость разомкнутой и замкнутой САР бумагоделательной машины.

Характеристическое уравнение, разомкнутой САР, согласно передаточной функции (1) примет вид:

$$s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6373=0 \quad (2.1)$$

Полюса характеристического уравнения (2.1) имеют следующий вид:

$$s_1 = -23.4 \quad s_2 = -12.4 \quad s_3 = -1.81 + 4.32i \quad s_4 = -1.81 - 4.32i$$

Основываясь на типовые звенья, по полюсам определим, что разомкнутая САР состоит из следующих типовых звеньев:

- колебательное звено (пара комплексно-сопряжённых корней);
- два апериодического звена первого порядка (действительный отрицательный полюс);

Согласно первой теореме Ляпунова, корни характеристического полинома или полюса передаточной функции имеют отрицательное значение, следовательно, по теореме Ляпунова, разомкнутая САР бумагоделательной машины устойчивая.

По замкнутой САР бумагоделательной машины можно выделить что система устойчивая, т. е. переходная характеристика приходит к установившейся ошибке.

Характеристическое уравнение, замкнутой САР:

$$s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6558.4=0. \quad (2.2)$$

Полюса характеристического уравнения (2.2) замкнутой САР:

$$s_1 = -23.4 \quad s_2 = -12.5 \quad s_3 = -1.77 + 4.39i \quad s_4 = -1.77 - 4.39i$$

Замкнутая система состоит из типовых звеньев, аналогично разомкнутой системы:

- колебательное звено (пара комплексно-сопряжённых корней);
- два апериодического звена первого порядка (действительный отрицательный полюс);

По первому методу Ляпунова корни характеристического полинома замкнутой САР имеют отрицательное значение, следовательно по теореме Ляпунова, замкнутая САР устойчивая.

2.2 Оценки качества системы автоматического регулирования бумагоделательной машины

Определить характер системы позволяет переходная характеристика, построив переходную характеристику системы автоматического регулирования управления плотностью бумаги, определим качество системы. Для более детального анализа САУ используют прямые, а также косвенные оценки качества. Прямые оценки качества получаются по переходному процессу, косвенные непосредственно по полюсам системы. Источником оценки качества будет выступать замкнутая САР системы.

Опираясь на переходную характеристику рисунок 2.1, анализируем качество системы прямыми оценками качества, данные результата сведём таблицу 2.1.

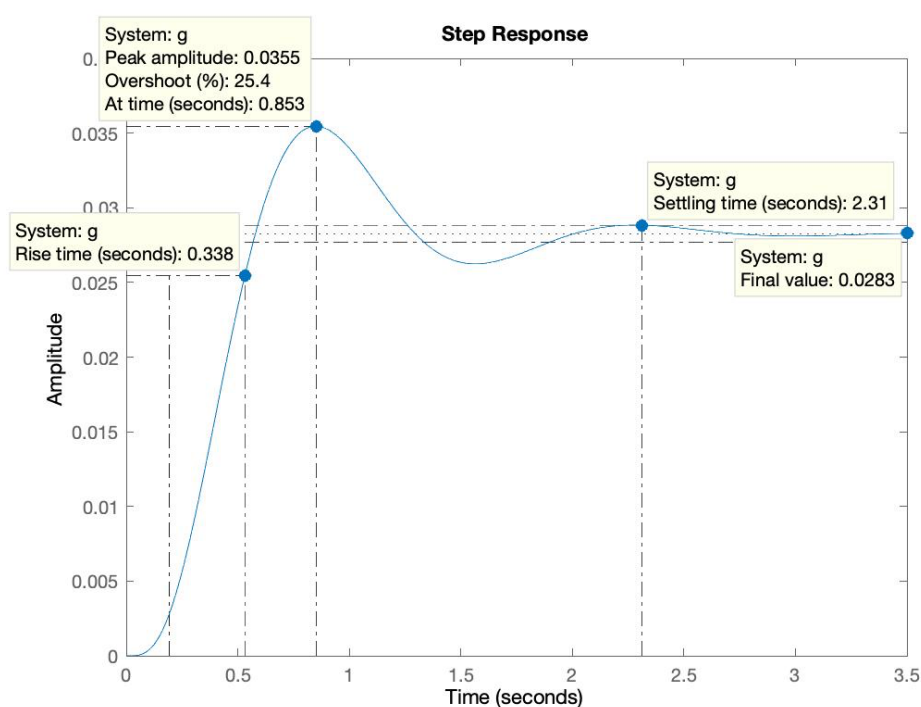


Рисунок 2.1 – Переходная характеристика с прямыми оценками качества

Таблица 2.1 – Прямые и дополнительные оценки качества

Основные	1	Время регулирования (settling time)	T_{set}	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рассчитаем $\delta = 2\%$ от y_{ss} : $\delta = \frac{2 \cdot y_{ss}}{100} = 0.000566$ 2. Провести на графике границы относительно y_{ss}: $\pm\delta$ 3. $T_{set} = 2.31$
	2	Перерегулирование	P_{ov}	$P_{ov} = \frac{y_{max} \cdot y_{ss}}{y_{ss}} \cdot 100\% = 25.44\%$
	3	Число колебаний	M	$M = 1$
	4	Колебательность	μ	$\mu = \frac{y_{max2}}{y_{max1}} \cdot 100\% = 23.61\%$
	5	Период колебаний	T_{osc}	$T_{osc} = 1.467$
	6	Установившаяся ошибка	e_{ss}	$e_{ss} = 0.9717$
Дополнительные	7	Время достижения первого максимума	T_p	$T_p = 0.853$
	8	Время нарастания	T_R	$T_R = 0.338$
	9	Декремент затухания	λ	$\lambda = \frac{ y_{max1} - y_{ss} }{ y_{max2} - y_{ss} } = 4.23$

Анализируя установившееся состояние переходного процесса САУ БДМ, где установившееся значение ошибки определяется как разница между выходом и желаемым сигналом, в установившемся процессе. Расчёт ошибки относительно заданного сигнала показан на рисунке 2.2.

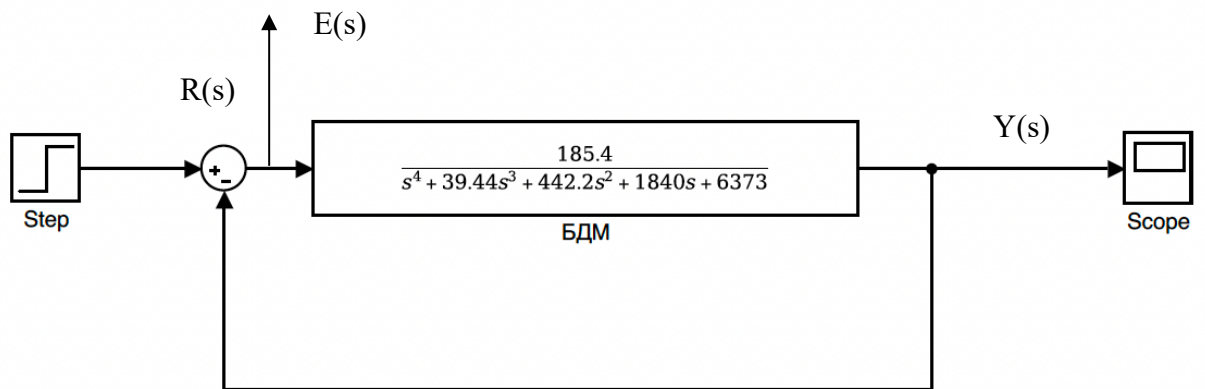


Рисунок 2.2 – Структурная схема замкнутой САУ, от ошибки относительно заданного сигнала

Сигнал ошибки, $e(t)$ – разница между действительным и желаемым значением выходного сигнала, динамическая ошибка:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

При нахождении предела динамической ошибки получим установившуюся ошибку:

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

Шаг 1. Передаточная функция замкнутой САУ с регулятором относительно заданного сигнала по ошибке:

$$T_E(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)}$$

Шаг 2. Динамическая ошибка:

$$E(s) = \frac{R(s)}{1 + G(s)} = \frac{s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6373}{s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6558.4}$$

Шаг 2. Статическая ошибка с преобразование по Лапласу:

$$E_{ss} = s \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{R(s)}{1 + G(s)} \right) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(s \cdot \frac{s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6373}{s^4 + 39.44s^3 + 442.2s^2 + 1840s + 6558.4} \cdot \frac{1}{s} \right) = 0.9717$$

Установившаяся ошибка определяет такое динамическое свойство системы, как точность. Так как для данной системы, установившаяся ошибка не равна нулю, то замкнутая система управления не является точной. Это необходимо учесть при решении задачи настройки регулятора.

Кроме прямых оценок качества переходного процесса замкнутой системы, имеют место косвенные оценки.

Косвенные оценки качества можно разбить на корневые и частотные оценки:

- основываясь на корневые методы, согласно полученным полюсам, получим косвенные оценки качества замкнутой САУ бумагоделательной машины;

- частотные оценки качества получаются на основе построения и анализа АЧХ и ЛАЧХ;

- интегральные оценки качества на основе интегральных критериев.

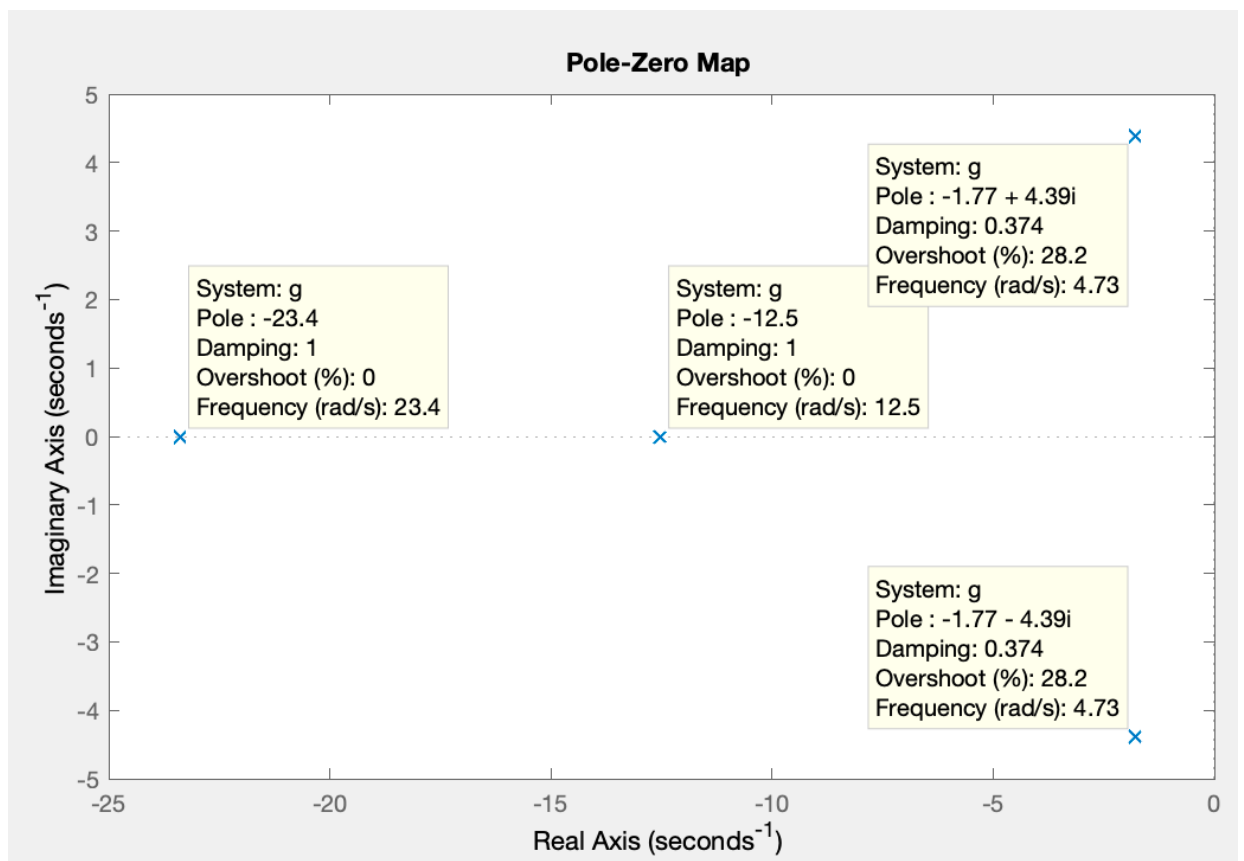


Рисунок 2.3 – Комплексная плоскость

Построив комплексную плоскость показана на рисунке 2.3 замкнутой системы согласно передаточной функции (1.2), найдём корневые оценки качества.

Корневые оценки качества бумагоделательной машины:

1) Время регулирования (settling time), находим наименьший полюс с действительным значением: 1.77

$$T_{set} = 4/|\sigma| = 4/1.77 = 2.25$$

2) Перерегулирование:

$$P_{ov} = e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \cdot 100\% = 28.19\%$$

3) Степень колебательности:

$$\mu = \frac{\omega_d}{\sigma} = 2.48$$

4) Максимальное значение

$$y_{max} = y_{ss} \left(1 + \frac{P_{ov}}{100}\right) = 0.0362$$

5) Частота колебаний

$$\omega_{osc} = \omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} = 4.44$$

6) Время достижения первого максимума:

$$T = \frac{\pi}{\omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}} = 0.707$$

7) Степень устойчивости:

$$\mu = |\sigma_{min}| = 1.77$$

Стоит обратить внимание, что ключевые корневые оценки качества совпадают с прямыми оценками. Рассматривая показатель перерегулирования, он зависит только от коэффициента демпфирования. Быстродействие связывается непосредственно с полюсами системы и времени регулирования.

Частотные оценки качества получаются на основе АЧХ и ЛАЧХ.

Для получения частотных оценок качества и рассмотрения динамики системы построим АЧХ замкнутой системы рисунок 2.4, бумагоделательной машины.

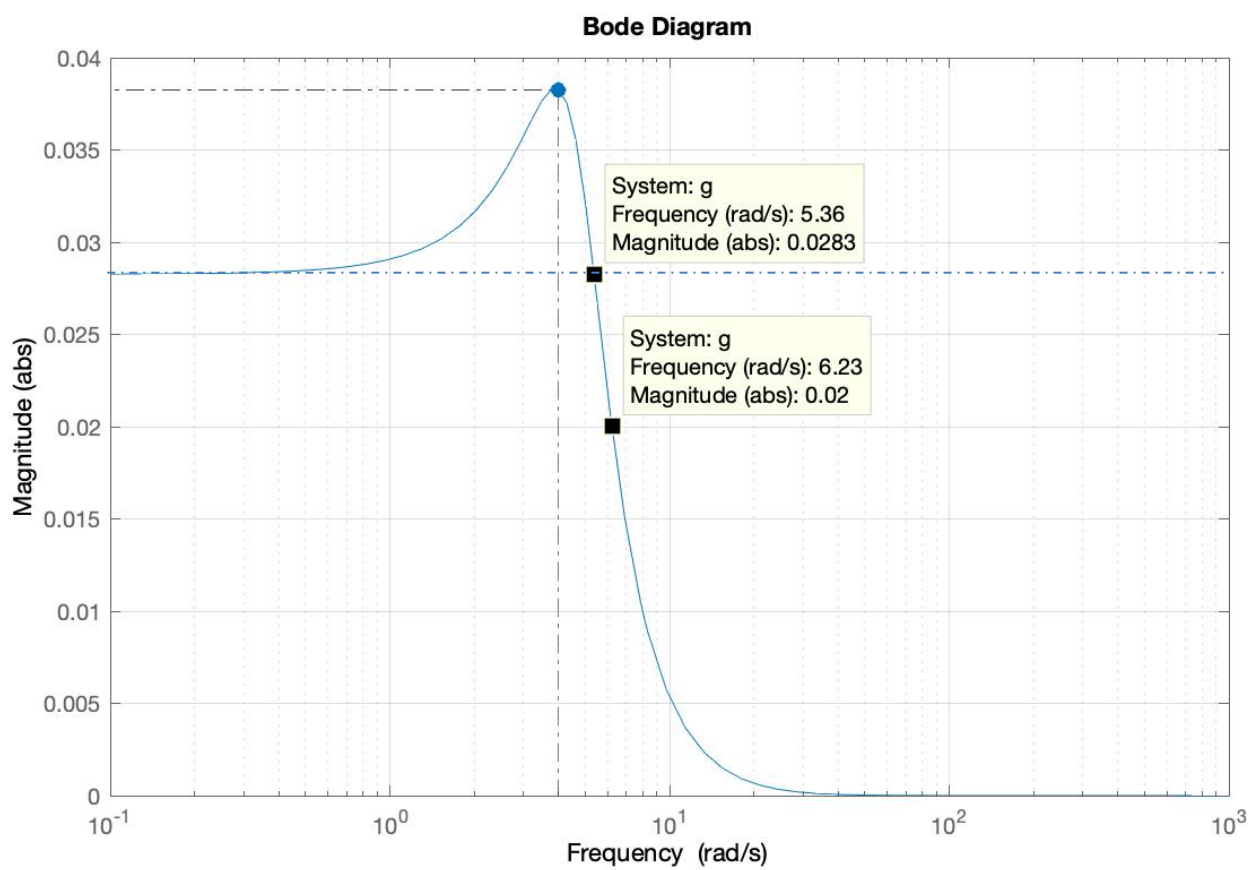


Рисунок 2.4 – АЧХ замкнутой системы БДМ

Согласно амплитудно-частотной характеристике определим полосу пропускания, где

$$0.707 \cdot M(0) = 0.02 \Rightarrow \omega_{bandwidth} = [0; 6.23]$$

Полоса пропускания не должна быть слишком широкой, так как чем больше полоса пропускания, тем больше будет высокочастотных помех.

Используя понятие относительной устойчивости, где показано насколько система находится далеко от точки неустойчивости. Для определения пределов таких изменений, при нахождении запасов устойчивости по амплитуде и по фазе построим ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой САУ БДМ. Качество системы можно улучшить при изменении её параметров, а именно увеличение коэффициента усиления или сдвига по фазе характеристики.

ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой системы для нахождения запасов устойчивости построен на рисунке 2.5. Согласно частотным характеристикам системы получим косвенные оценки качества. Которые также являются большой составляющей анализа системы.

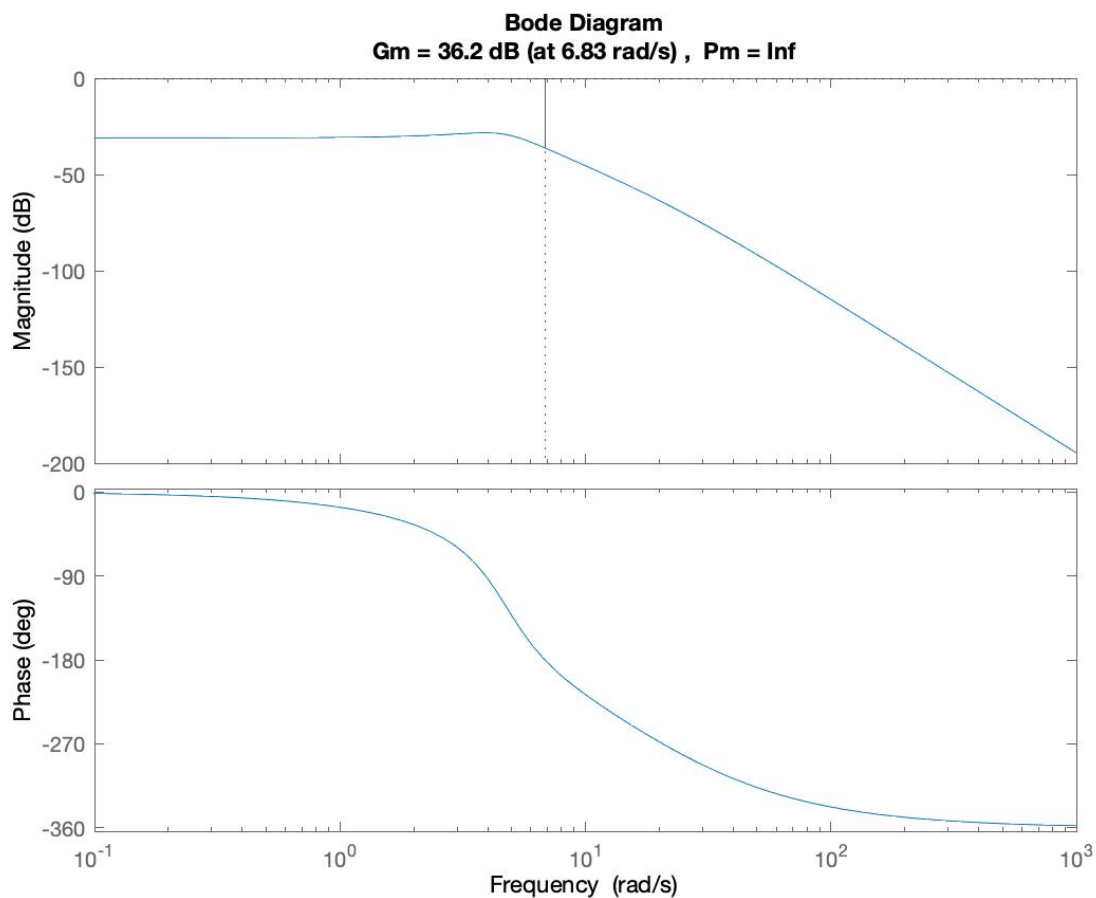


Рисунок 2.5 – ЛАЧХ и ЛФЧХ замкнутой системы БДМ

Согласно графику, получили следующие косвенные оценки качества, данные в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Косвенные частотные оценки качества

Частота среза	$\omega_{cf} = 5.36$
Резонансная частота	$\omega_r = 4.02$
показатель колебательности	$\mu = \frac{M_{max}(0)}{M(0)} = 0.73$
Полоса пропускания	$\omega_{bandwidth} = [0; 6.23]$
запасы устойчивости по амплитуде	36.2 dB
запасы устойчивости по фазе	inf

Исходя из анализа прямых оценок качества, быстродействие системы удовлетворительно, где быстродействие САУ БДМ определяет как быстро система реагирует на входное воздействие, в нашем случае единичный ступенчатый сигнал, где время регулирования составляет 2.31 с. Одним из недостатком можно отнести достаточно высокое перерегулирование в 25.44%.

Также система является неточной, установившаяся ошибка не доходит до заданного установившегося значения. Ведь одним из основных показателей характеризующее качество регулирования в установившемся режиме, является точность регулирования $e_{ss} = 0$. В связи с этим необходимо синтезировать типовой регулятор.

Согласно требованиям к запасам устойчивости, минимальным значением запасом устойчивости по амплитуде составляет 10 dB, в нашем случае данный показатель превышает требованиям и составляет 36.2 dB. По фазе минимальное значение 30 градусов, согласно рисунку 2.5, запас устойчивости по фазе, равен бесконечности.

Представим следующие требования к синтезу регулятора на основе оценок САУ БДМ:

Таблица 2.3 – Требования к синтезу регулятора на основе оценок качества

№	Оценки качества		Система	Требования к регулятору
1	Время регулирования (settling time)	T_{set}	2.31 с	30 с
2	Перерегулирование	P_{ov}	25.44 %	0 – 20 %
3	Колебательность	μ	0.2361	0.5
4	Установившаяся ошибка	e_{ss}	0.9717	0
5	Время нарастания	T_R	0.338	10

Стоит учитывать, что при синтезе регулятора большая вероятность увеличения времени регулирования так как система является неточной, и для достижения установившейся ошибки равной нулю, допускается фактор увеличения времени регулирования, где ключевым показателем для данного технологического процесса и системы в целом является точность.

В следующей главе синтезируем типовой регулятор.

2.3 Синтез регулятора системы автоматического управления бумагоделательной машины

Для улучшения качества системы используют PID – регуляторы. Регулятор содержит в себе пропорционально-интегрально-дифференциальную составляющие. Закон PID – регулятора описывается следующей формулой, которая имеет вид:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}$$

где, k_p, k_i, k_d - коэффициенты усиления пропорционально-интегрально-дифференциальной составляющих.

PID - регулятор разбивается на следующие составляющие:

- пропорциональное – составляющая пропорциональна разности входного сигнала и сигнала обратной связи, обеспечивает вид сигнала и скорость;
- интегральное – составляющая интеграл сигнала рассогласования, убирает e_{ss} , т. е. обеспечивает точность системе;
- дифференциальное – является производной сигнала рассогласования, как правило гасит колебания;

Согласно нашей системе, основным показателем для улучшения качества системы является точность, целесообразно также будет повысить быстродействие системы. Так как колебания в САУ бумагоделательной машины соответствуют желаемым требованиям, где их количество не превышает двух, дифференциальную составляющую использовать не будем, так как эта составляющая может усилить шум в системе и может вызвать нестабильность.

Следовательно, целесообразно будет синтезировать PI – регулятор:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt. \quad (2.3)$$

Данный регулятор (1.5) обеспечивает точность, но существенно влияет на устойчивость, так как увеличивается порядок системы, следовательно, необходимо исследовать влияние PI – регулятора на устойчивость замкнутой САУ, то есть найдём допустимую область изменения параметров регуляторов, при которой система устойчива, используя критерий Гурвица.

Построив структурную схему регулятора с нашим объектом управления рисунок 2.6 найдём передаточную функцию замкнутой САУ, где непосредственно и найдём поэтапно допустимую область изменения параметров PI-регулятора.

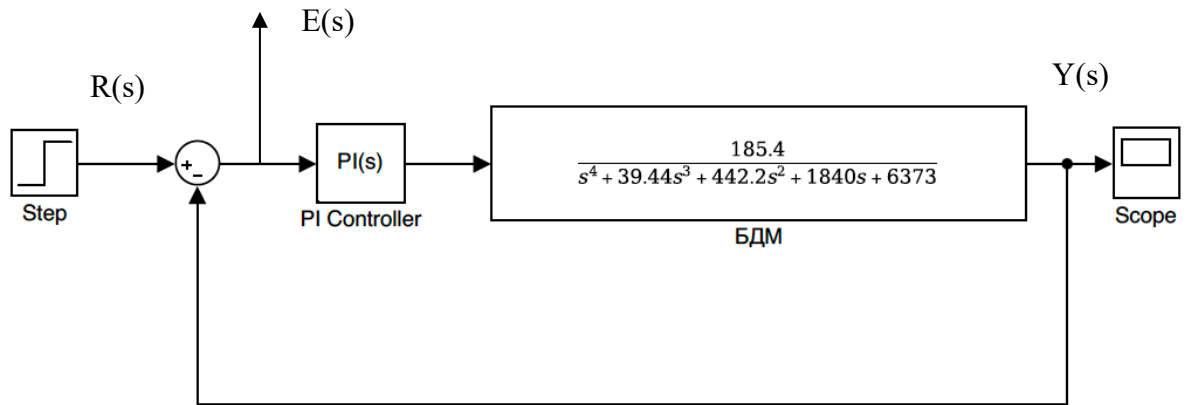


Рисунок 2.6 – Структурная схема PI – регулятора и объекта управления

Шаг 1. Передаточная функция замкнутой САУ:

$$T(s) = \frac{\left(k_p + k_i \cdot \frac{1}{s}\right) \cdot G(s)}{1 + \left(k_p + k_i \cdot \frac{1}{s}\right) \cdot G(s)}$$

$$T(s) = \frac{185.4k_p s + 185.4k_i}{s^5 + 39.44s^4 + 442.2s^3 + 1840s^2 + (185.4k_p + 6373)s + 185.4k_i}$$

Шаг 2. Определим характеристическое уравнение.

$$s^5 + 39.44s^4 + 442.2s^3 + 1840s^2 + (185.4k_p + 6373)s + 185.4k_i = 0$$

Первый элемент a_0 положителен.

$$185.4k_p + 6373 > 0 ; 185.4k_i > 0$$

$$k_p > -34.374 ; k_i > 0$$

Шаг 3. Построим матрицу Гурвица (5x5) и вычислим пределы изменения PI-регулятора:

$$H = \begin{vmatrix} 39.44 & 1840 & 185.4k_i & 0 & 0 \\ 1 & 442.2 & 185.4k_p + 6373 & 0 & 0 \\ 0 & 39.44 & 1840 & 185.4k_i & 0 \\ 0 & 1 & 442.2 & 185.4k_p + 6373 & 0 \\ 0 & 0 & 39.44 & 1840 & 185.4k_i \end{vmatrix}$$

$$\det_{3 \times 3}(H) = 7312.176k_i - 288392.221k_p + 18791388.94 > 0$$

$$\rightarrow k_i > 39.44k_p - 2568.87$$

При $k_i = 0$, диапазон допустимой области изменения параметра k_p будет следующим:

$$0 < k_p < 64.159$$

Получили диапазон изменения устойчивости для PI – регулятора.

Постановка задачи синтеза оптимального регулятора. Для математической модели (1.1) необходимо найти параметры PI-регулятор (1.5) на основе метода генетического алгоритма (GA), который минимизирует квадратичный интегральный критерий качества:

$$ISE = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt \rightarrow \min \quad (2.5)$$

Целесообразно применять данный критерий качества (2.5) при колебательной системе, где исключаем отрицательные значения. Минимизируя критерий качества, мы минимизируем также непосредственно наши оценки качества, следовательно получим оптимальное решение параметров для PI-регулятора. Методология данного метода представлена в классической литературе теории автоматического регулирования под авторством Бесекерского В.А. [7]. На основе данного метода интегральная квадратичная оценка примет вид:

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

Согласно передаточной функции, где $m=1$, $n=4$ данное выражение выглядит:

$$J = \frac{1}{2a_4^2 \Delta} (B_0 \Delta_0 + B_1 \Delta_1) - \frac{b_1 b_0}{a_4^2}$$

Параметры системы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_4 & -a_2 & a_0 & 0 \\ 0 & a_3 & -a_1 & 0 \\ 0 & -a_4 & a_2 & -a_0 \\ 0 & 0 & -a_3 & a_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 185.4k_p + 6373 & -442.2 & 1 & 0 \\ 0 & 1840 & -39.44 & 0 \\ 0 & -185.4k_p - 6373 & 442.2 & -1 \\ 0 & 0 & -1840 & 39.44 \end{vmatrix}$$

$$\Delta = k_p^2 - 30.7848k_p - 2239.8$$

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} a_4 & a_3 & a_0 & 0 \\ 0 & a_4 & -a_1 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & -a_0 \\ 0 & 0 & -a_3 & a_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 185.4k_p + 6373 & 1840 & 1 & 0 \\ 0 & 185.4k_p + 6373 & -39.44 & 0 \\ 0 & 0 & 442.2 & -1 \\ 0 & 0 & -1840 & 39.44 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_0 = -624.014 \cdot (927k_p + 31865)^2$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a_3 & -a_2 & a_0 & 0 \\ a_4 & a_3 & -a_1 & 0 \\ 0 & -a_4 & a_2 & -a_0 \\ 0 & 0 & -a_3 & a_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1840 & -442.2 & 1 & 0 \\ 185.4k_p + 6373 & 1840 & -39.44 & 0 \\ 0 & -185.4k_p - 6373 & 442.2 & -1 \\ 0 & 0 & -1840 & 39.44 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = k_p^2 - 484.34k_p - 56790.2$$

Коэффициенты B_0, B_1 находим по формуле:

$$B_0 = b_0^2 = 34373.16k_p^2$$

$$B_1 = b_1^2 = 34373.16k_i^2$$

Целевая функция (1.6), интегральной квадратичной оценки, подставив вычисленные значения, примет следующий вид:

$$J = \frac{1}{2 \cdot (185.4k_p + 6373)^2 \cdot (k_p^2 - 30.7848k_p - 2239.8) + 34373.16k_i^2 \cdot k_p^2 - 484.34k_p - 56790.2} \left(34373.16k_p^2 \cdot (-624.014 \cdot (927k_p + 31865)^2) - \frac{185.4k_i \cdot 185.4k_p}{(185.4k_p + 6373)^2} \right)$$

Используя расширение MATLAB Optimization Toolbox, найдём оптимальные параметры регулятора, обеспечивающих минимум данной функции с помощью генетического алгоритма. Суть генетического алгоритма положена идея имитации эволюционных процессов. Работу генетического алгоритма (genetic algorithm) можно разбить на несколько шагов на рисунке 2.7:

Шаг 1. Создание начальной популяции (population) состоит из набора индивидуумов, которые состоят из хромосом, а хромосомы из ген, как правило начальная популяция создаётся случайным образом. Количество неизвестных – 2, оптимальные k_p и k_i . Тип популяции выберем double vector, требуется, когда есть целочисленные ограничения.

Шаг 2. Согласно целевой функции (fitness function), идёт стадия вычисления приспособленности каждого индивидуума в популяции. В нашем случае это интегральная квадратичная оценка.

Шаг 3. Отбор, где цель оставить в популяции наиболее приспособленных особей, другой сохранить популяционное разнообразие. Механизм отбора был выбран - турнирный отбор (tournament)

Шаг 4. Скрещивание (crossover) - обмен данными между частями хромосом получая новый набор генов хромосом потомков.

Шаг 5. Мутация (mutation) - случайным образом с малой вероятностью меняет значение отдельных генов к полученной популяции. В качестве функции был выбран двухэтапный алгоритм uniform.

Шаг 6. Далее задаются условия останова генетического алгоритма, затем выбор индивидуума с наилучшей приспособленностью, то есть оптимальные параметры регулятора, обеспечивающих минимум целевой функции.

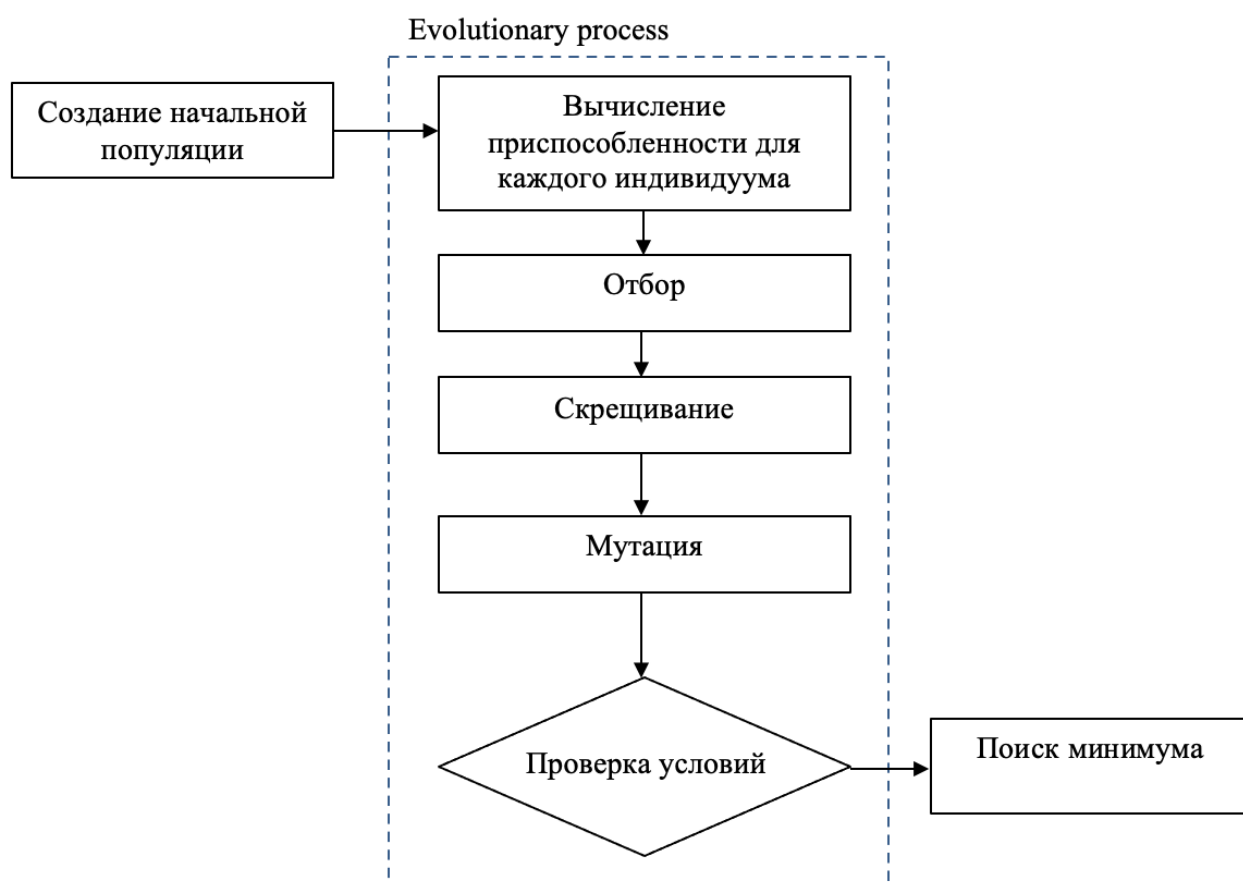


Рисунок 2.7 – Блок-схема работы генетического алгоритма

С использованием логики данного метода, с помощью данного алгоритма получим оптимальные значения целевой функции.

Нашу целевую функцию запишем в M-file, для дальнейшей оптимизации, далее задавая параметры генетического алгоритма определим оптимальные k_p и k_i для PI – регулятора, управления плотностью бумаги бумагоделательной машины.

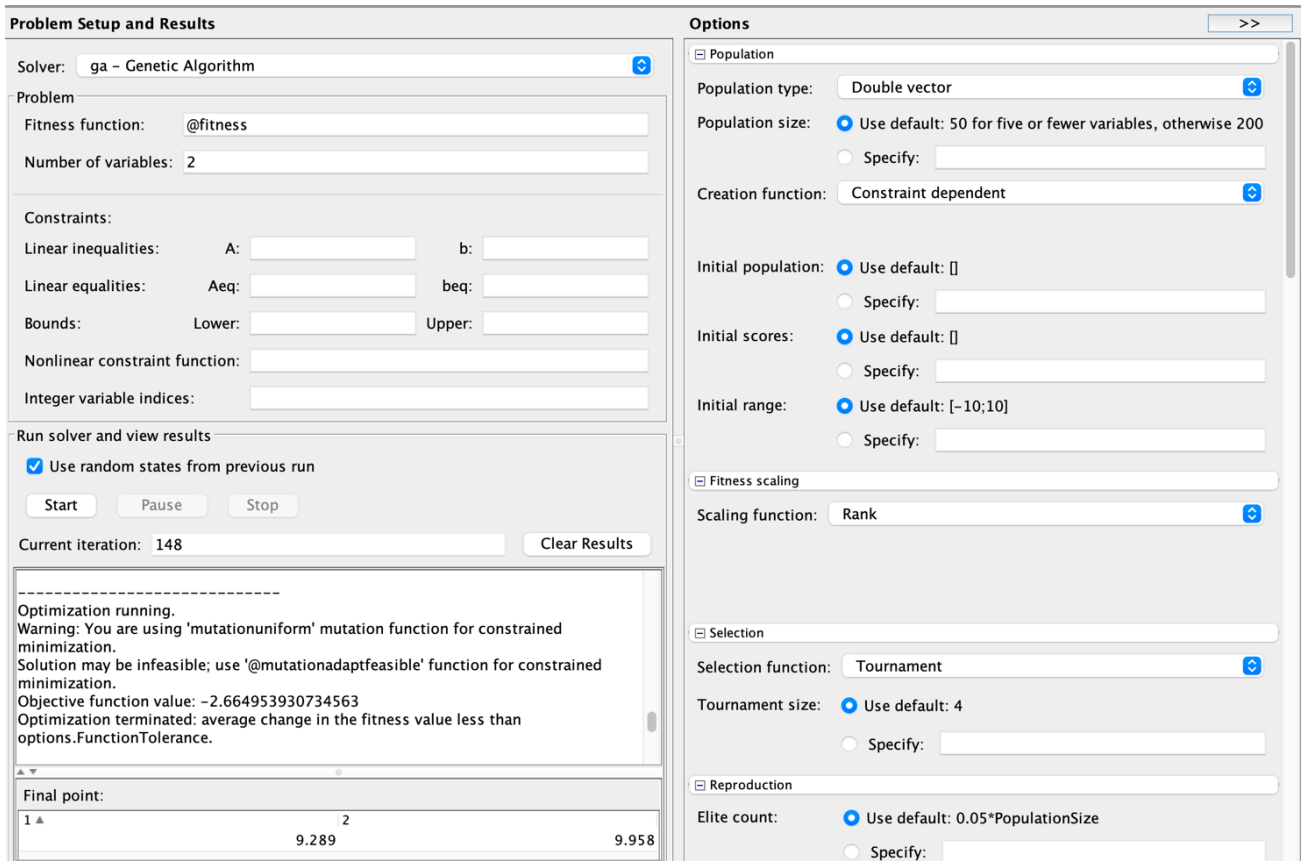


Рисунок 2.8 – Использование генетического алгоритма, в MATLAB Optimization Toolbox

Так классические методы решения не справляются с решением данной задачи, это обусловлено высокой степенью передаточной функции. С использованием генетического алгоритма, покажем сам процесс нахождения оптимального решения для целевой функции. Данное расширение MATLAB Optimization Toolbox позволяет найти оптимальное решение параметров типового PI – регулятора. Сам процесс нахождения оптимальных параметров для целевой функции описан на рисунке 1.3

С помощью генетического алгоритма минимизировали критерий качества (1.6) со следующими параметрами для PI – регулятора:

$$u(t) = 9.958e(t) + 9.289 \int_0^t e(t)dt$$

Построив переходной процесс, системы с PI – регулятором рисунок 2.9, определим, как результаты моделирования системы с регулятором повлияли на основные показатели, а именно точности, перерегулирования и время регулирования.

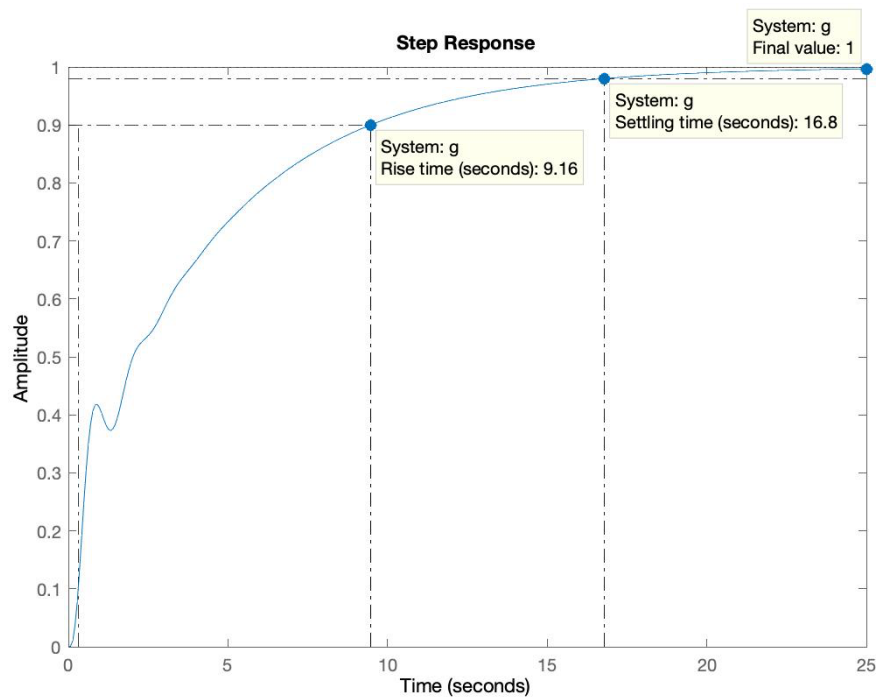


Рисунок 2.9 – Переходной процесс с PI – регулятором

По переходному процессу видно, что система с синтезируемым PI – регулятором система точная, т. е. установившаяся ошибка равна 0, перерегулирование в системе отсутствует. Одним из основным недостатком является, быстродействие САУ бумагоделательной машины, где с регулятором оно возросло в несколько раз.

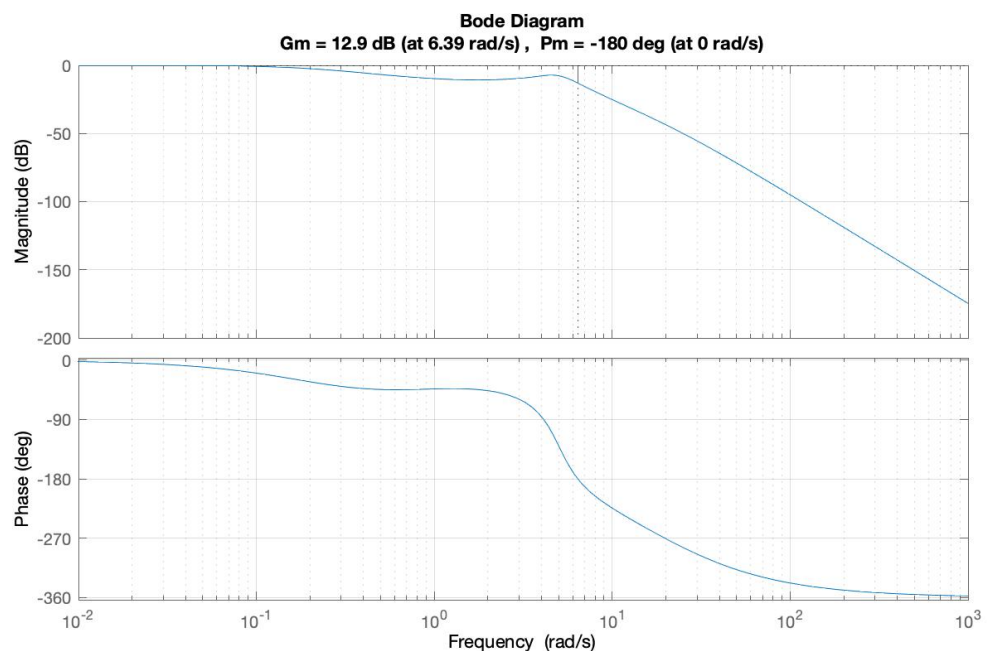


Рисунок 2.10 – Запасы устойчивости по ЛАЧХ, ЛФЧХ системы с регулятором

Построив ЛАЧХ и ЛФЧХ для проверки на запасы устойчивости. Как видно из рисунка 2.10, запас устойчивости по фазе стал ограничен.

Для проверки качества синтезируемого регулятора на основе генетического алгоритма, необходимо сравнить оценки качества без регулятора, также целесообразным будет использовать наиболее популярные эмпирические методы для построения регулятора. Сравнив оценки качества, выберем наиболее эффективный регулятор.

Постановка задачи синтеза эмпирического регулятора. Для математической модели (1.1) необходимо найти параметры PI-регулятора (1.5) на основе эмпирического метода Циглера-Никольса №2 для решения задачи обеспечения желаемых оценок качества.

Для получения регулятора синтезируемый методом ZN №2 необходимо включить в систему P – регулятор с неизвестным параметром K_{cr} , согласно критерию Гурвица, получим предельный коэффициент усиления, соответствующий колебательной границе устойчивости:

$$K_{cr} = 64.159$$

Построив переходной процесс с K_{cr} , определим $P_{cr} = 0.875$ из рисунка 2.11.

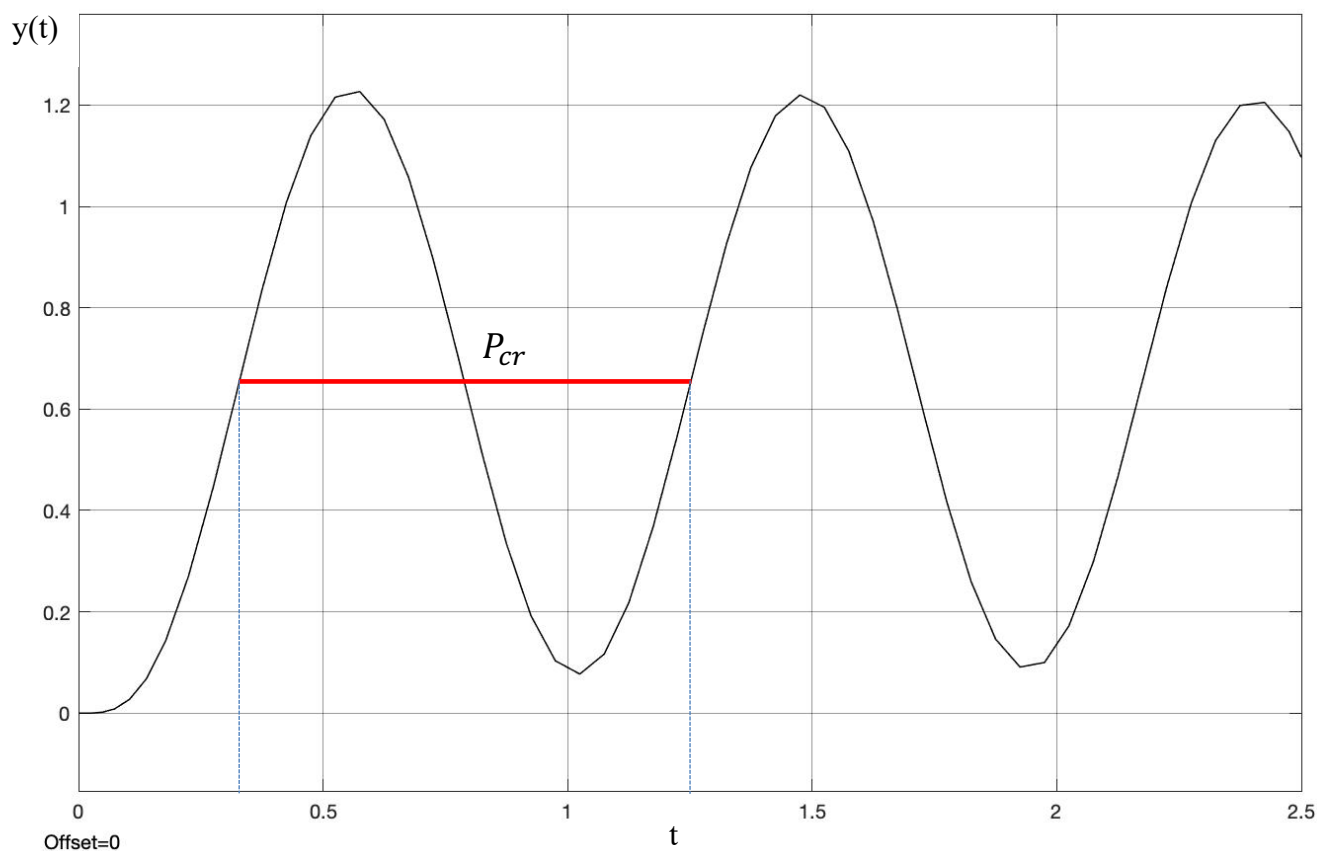


Рисунок 2.11 – Переходной процесс с предельным коэффициентом усиления, соответствующий колебательной границе устойчивости

Расчёт параметров PI регулятора эмпирическими методами, согласно таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Параметры регулятора методом Циглера – Никольса №2

Параметры регулятора	k_p	$1/k_i$
ZN #2	$0.45K_{cr}$	$\frac{P_{cr}}{1.2}$

Воспользовавшись методом Циглера-Никольса №2, определили со следующими параметрами для PI – регулятора:

$$u(t) = 28.87e(t) + 1.371 \int_0^t e(t)dt$$

Сравним переходные характеристики синтезируемых регуляторов:

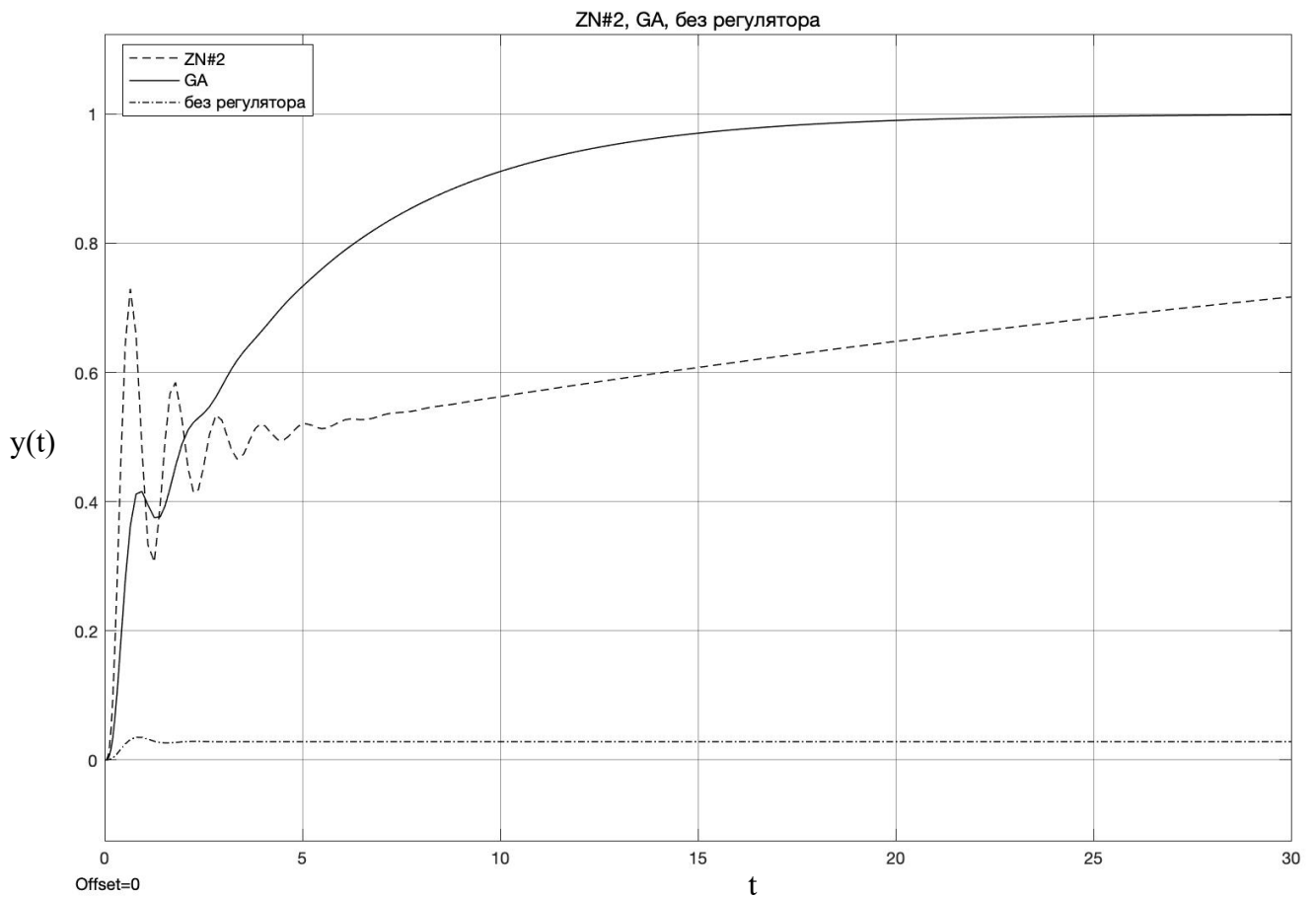


Рисунок 2.12 – Переходные процессы синтезируемых регуляторов

Согласно сравнительному анализу переходной характеристике, видно, что наилучшие результаты показывает регулятор, синтезируемый методом генетического алгоритма, где процесс более монотонный по сравнению с методом ZN №2. Также наиболее ярко выражено преимущество во времени регулирования. Для более детального рассмотрения сравним оценки качества.

Таблица 2.5 – Оценки качества

№	Оценки качества		Система	GA	ZN №2
1	Время регулирования (settling time)	T_{set}	2.31 с	16.8 с	152 с
2	Перерегулирование	P_{ov}	25.44 %	-	-
3	Степень колебательности	μ	2.48	0	0
4	Установившаяся ошибка	e_{ss}	0.9717	0	0
5	Время нарастания	T_R	0.338	9.16	77.6
6	Степень устойчивости	μ	1.77	0.22	0.0475

Таблица 2.6 – Запасы устойчивости системы и регуляторов

Запасы устойчивости	Система	Метод GA	ZN №2
Gm	36.2 dB	12.9 dB	1.86 dB
Pm	inf	-180 °	10.7 °

Анализируя оценки качества, целесообразно использование PI – регулятора синтезируемый методом генетического анализа, заметно выросло время регулирования, но явным преимуществом является что установившаяся ошибка равна 0, в обоих случаях построения регулятора. А также избавились от перерегулирования, но значительным минусом является, где степень устойчивости значительно приблизилась к границе устойчивости, по сравнению с исходной системой. Сравнивая два регулятора методом GA и ZN №2, по

показателям лучше регулятор, полученный методом генетического алгоритма. Сравним также запасы устойчивости по амплитуде и по фазе.

Сравнивая запасы устойчивости двух регуляторов, запас устойчивости по амплитуде в методе генетического алгоритма лежит в допустимых значениях, по фазе неудовлетворительно, где составило -180° . Говоря о регуляторе, полученный методом ZN №2 запасы устойчивости как по амплитуде, так и по фазе не являются допустимыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части выполнения дипломного проекта был изучен и исследован технологический процесс бумагоделательной машины и непосредственная реализация данной технологии на предприятии «Карина», специализирующейся на продукции санитарно-гигиенического назначения. Детально был рассмотрен технологический объект, где далее была составлена функциональная схема автоматизации объекта исследования (БДМ).

Была получена математическая модель бумагоделательной машины, за счёт структурной и параметрической идентификации объекта управления с помощью MatLab Identification Toolbox. Данный метод является экспериментальным, где входные данные, а именно расход бумажной массы и выхода – плотности бумаги были сняты непосредственно с объекта управления.

Во второй части проекта, а именно расчётной части, получен полный анализ системы на основе исходной математической модели, т. е. определена проверка на устойчивость, найдены запасы устойчивости. Также определены прямые и косвенные оценки качества для выявления основных требования для регулятора.

В ходе синтеза регулятора был использован метод генетического алгоритма, а также метод Циглера – Никольса №2:

- Для нахождения минимума квадратичной интегральной оценки был использован генетическим алгоритмом для нахождения оптимальных параметров регулятора, где обязательно пред этим был определен диапазон допустимой области изменения параметров PI- регулятора.

- Для сравнительного анализа, для эмпирической настройки регулятора, был использован метод Циглера – Никольса №2.

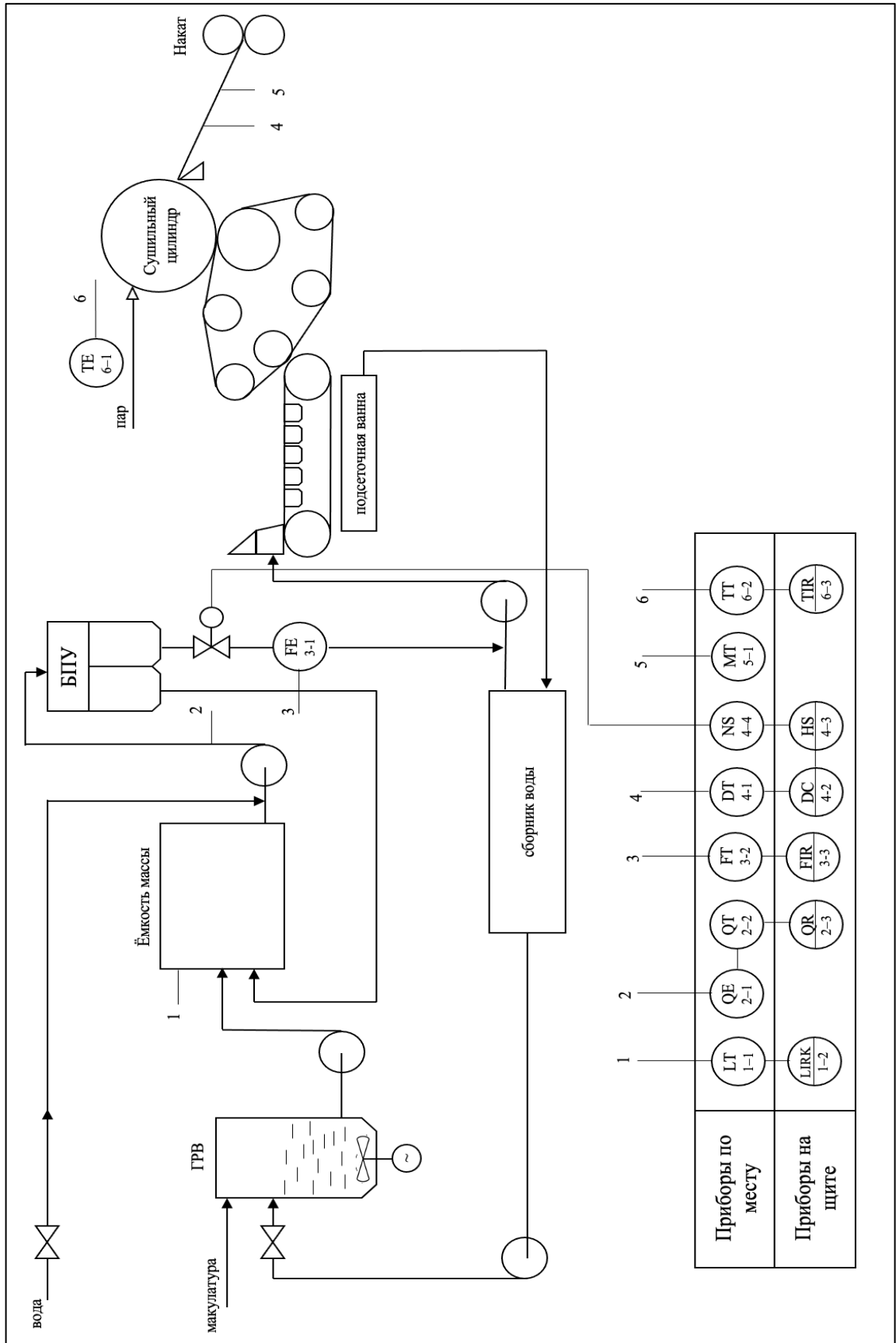
Сравнивая синтезируемые регуляторы провели сравнительный анализ, где наиболее перспективные результаты были продемонстрированы PI – регулятором, полученным на основе метода генетического алгоритма. Положительные результаты заключаются в точности системы, где статическая ошибка равна нулю, а также исключили 25% перерегулирование, где процесс стал более монотонным благодаря PI – регулятору.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
- 2 Лурье Б.Я., Энрайт П.Дж. Классические методы автоматического управления. – СПб.: БХВ–Петербург, 2004. – 640 с.
- 3 Пантелеев А.Б. Теория управления в примерах и задачах: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2003. – 583 с.
- 4 Теория автоматического управления. ч.1. / под редакцией Нетушила А.В. – М.: Высшая школа, 1978. – 400 с.
- 5 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория системы автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 750с.
- 6 Теория автоматического управления. ч.1./ под редакцией Воронова А.А. – М.: Высшая школа, 1977. – 366 с.
- 7 Фляте Д. М. Технология бумаги. Учебник для вузов. – М.: Лесн. Пром-сть, 1988. – 440 с.
- 8 Технологический регламент производства бумаги производства «Карина».
- 9 Суриков В.Н., Буйлов Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств, 2017. – 116 с.

Приложение А

Функциональная схема автоматизации



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: Горбунов Дмитрий Витальевич

Название: Разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства

Координатор: Ширяева Ольга Ивановна

Коэффициент подобия 1: 0

Коэффициент подобия 2: 0

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: 0 и Коэффициент подобия 2: 0. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«6» мая 2022 г.

Дата



Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

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

Автор: Горбунов Дмитрий Витальевич

Название: Разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства

Координатор: Ширяева Ольга Ивановна

Коэффициент подобия 1: 0

Коэффициент подобия 2: 0

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0


После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует 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: 0 и Коэффициент подобия 2: 0. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

« 6 » мая 2022 г.

Дата



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Дипломный проект допускается к защите.

« ___ » мая 2022 г.

Дата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект

Горбунов Дмитрий Витальевич

5B070700 – Автоматизация и управление

Тема: «Разработка автоматизированной системы управления процессами
бумажного производства»

Перед дипломантом ставилась задача разработки автоматизированной системы управления процессами бумажного производства, а именно бумагоделательной машины.

В первом разделе выполнения дипломного проекта был изучен и исследован технологический процесс бумагоделательной машины и непосредственная реализация данной технологии на предприятии «Карина», специализирующейся на продукции санитарно-гигиенического назначения. Детально был рассмотрен технологический объект, где далее была составлена функциональная схема автоматизации объекта исследования.

Для разработанной системы управления была получена математическая модель бумагоделательной машины, за счёт структурной и параметрической идентификации объекта управления с помощью инструментария MatLab Identification Toolbox. В среде MATLAB получены результаты моделирования согласно контуру управления, а именно управления плотность бумаги. Графики получены, в том числе, для системы управления с оптимальным регулятором.

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

Заключение: Считаю, что дипломант справилась с поставленной задачей, дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам по специальности 5B070200 – Автоматизация и управление. На основании характеристики выполненных исследований, уровня и качества выполненных результатов студент Горбунов Дмитрий Витальевич допускается к защите.

Научный руководитель
ассоциированный профессор, канд.техн.наук

 Ширяева О. И.
(подпись)

« 6 » мая 2022 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Горбунова Дмитрия Витальевича
5B070200 – Автоматизация и управление

На тему: Разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства

выполнено:

- а) презентация дипломного проекта представлена 20 слайдах;
- б) пояснительная записка на 39 страницах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В пояснительной записке, представленной на рецензирование, показана разработка автоматизированной системы управления процессами бумажного производства.

В первой части приведен технологический процесс бумагоделательной машины и непосредственная реализация данной технологии на предприятии. Детально был показан технологический объект, так же рассматриваются принципиальная и структурная схемы системы автоматического управления и была составлена функциональная схема автоматизации бумагоделательной машины.

Получена математическая модель за счёт структурной и параметрической идентификации объекта управления с помощью MatLab Identification Toolbox, где входные данные – расход бумажной массы и выхода – плотности бумаги были сняты непосредственно с объекта управления.

Во второй части, а именно расчётной части, показан полный анализ системы на основе исходной математической модели, т. е. определена проверка на устойчивость, найдены запасы устойчивости. Также определены прямые и косвенные оценки качества для выявления основных требования для регулятора.

В ходе синтеза регулятора был использован метод генетического алгоритма, а также метод Циглера – Никольса №2.

В среде MATLAB получены результаты моделирования согласно контуру управления, а именно управления плотность бумаги. Графики получены, в том числе, для системы управления с оптимальным регулятором. Графический и текстовый материал оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ, предъявляемыми к оформлению учебных работ.

Данный дипломный проект отличает проработанность, научно-исследовательский подход и полноту изложенного теоретического материала. Приведенные исследования доказывают отличную теоретическую подготовку дипломанта.

Оценка работы

Считаю, что дипломный проект заслуживает оценки (А) «отлично», а студент Горбунов Д. В. присуждения академической степени бакалавра по специальности 5В070200 – Автоматизация и управление.

Рецензент

кандидат технических наук, доцент

« 6 »

(подпись)

Юничева Н. Р.

2022 г.