

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний
Автоматизації теплоенергетичних процесів**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК
«__» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Автоматизоване управління
технологічними процесами»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Автоматизована система керування елеватора»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-81
Бурима Артем Олександрович

Керівник:

Доцент, к. т. н.
Клименко Олег Миколайович

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Доктор технічних наук, професор
Глива Валентин Анатолійович

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Теплоенергетичний

Автоматизація теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизоване управління технологічними процесами»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Володимир ВОЛОЩУК

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

На дипломний проєкт студенту

Бурима Артем Олександрович

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування елеватора», керівник проєкту Клименко Олег Миколайович, доцент кафедри, к. т. н., затверджені наказом по університету від « 08 » червня 2022 р. № 965-с
2. Термін подання студентом проєкту 10 червня 2022 року
3. Вихідні дані до проєкту: вологість в силосі при зберіганні зерна не більше 15%, температура зерносушарки в діапазоні 0-100°C
4. Зміст пояснювальної зарписки:
Постановка задачі АСК ТОК, Проєктування АСК ТОК, Розрахунок і моделювання АСК, Розробка програмного забезпечення, імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК, Охорона праці, Розрахунок техніко – економічної ефективності АСК,
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

Схема автоматизації функціональна, Специфікація обладнання, Схема принципова електрична, Креслення загального виду щита, Відомість дипломного проєкту.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Глива В.А. д.т.н., професор		

7. Дата видачі завдання 2 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації елеватора	06.05.2022	
2	Схема принципова електрична		
3	Схема автоматизації. Схема структурна ПТК		
4	Синтез САР і аналіз її функціонування	20.05.2022	
5	Креслення щита автоматизації		
6	Розрахунок вимірювальних і виконавчих каналів АТК		
7	Розрахунок надійності функціонування АСК	27.05.2022	
8	Полігонні випробування ІМ і аналіз функціонування АСК		
9	Проектна документація на автоматизацію елеватора		
10	Охорона праці	05.06.2022	
11	Розрахунок техніко-економічної ефективності АСК		
12	Відомість дипломного проєкту		
13	Передзахист ДП	16.06.2022	
14	Захист ДП	21.06.2022	

Студент

Артем БУРИМА

Керівник

Олег КЛИМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт бакалаврського рівня вищої освіти виконаний на тему «Автоматизована система керування елеватора».

Під час виконання проєкту було розроблено функціональну схему автоматизації, принципову електричну схему, креслення та специфікації обладнання АСК. Також було досліджено об'єкт автоматизації та його технологічні параметри. Наступний крок це вибір контролера та обладнання до нього для розширення його функціоналу. Для коректного керування підбиралися датчики та електроприводи з відповідними характеристиками. Для контуру регулювання температури в зерносушарці було підібрано регулятор та його параметри для кращого регулювання. Моделювання об'єкту відбувалося в SCADA системі, а імітування об'єкту відбувалося в MATLAB Simulink, контролер програмувався на Codesys.

Після цього проводилися розрахунки техніко-економічних показників, вони показали, що система є вигідною. Наступний розділ присвячується охороні праці, там показано, що система є безпечною.

На основі виконаного дипломного проєкту можна автоматизувати елеватор.

Ключові слова: елеватор, зерносушарка, автоматична система керування, контур регулювання температури зерносушарки, вентилятор.

ANNOTATION

The diploma project of the bachelor's level of higher education was made on the topic " Automated control system of the elevator".

During the project implementation the functional scheme of automation, the schematic electrical diagram, drawings and specifications of the ASC equipment were developed. The object of automation and its technological parameters were also studied. The next step is to select the controller and the equipment to it to expand its functionality. Sensors and electric drives with appropriate characteristics were selected for correct control. For the temperature control circuit in the grain dryer, the controller and its parameters were selected for better control. Object simulation took place in the SCADA system, and object simulation took place in MATLAB Simulink, the controller was programmed in Codesys.

After that, technical and economic indicators were calculated, they showed that the system is profitable. The next section is dedicated to labor protection, it shows that the system is safe.

The elevator can be automated on the basis of the completed diploma project.

Key words: elevator, grain dryer, automatic control system, grain dryer temperature control circuit, fan.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Скорочення:

ПЛК – програмований логічний контролер;

К – конвеєр;

Н – норія;

ВЦ – вентилятор циклонного апарату;

ВТ – вентилятор теплоблока;

ВС – вентилятор;

С – силос;

ЦК – циклонний апарат;

РАФХ – метод розширеної амплітудно-фазової характеристики;

МАЧХ – максимум амплітудно-частотної характеристики;

ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор

АСК – автоматична система керування;

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

Умовні позначення:

К – коефіцієнт передачі об'єкта;

Т – стала часу об'єкта;

τ – запізнення об'єкта;

Δu – динамічна похибка;

t_{nn} – час перехідного процесу;

σ - перерегулювання;

ψ - ступінь затухання;

уст – статична похибка;

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система
керування елеватора»**

Київ – 2022 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ВСТУП	9
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ	11
1.1 Характеристика елеватора	11
1.2 Ідентифікація і моделювання ТОУ	15
1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ ТОУ	16
1.4 Обґрунтування і вибір структури САР	19
2. ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТОУ	21
2.1 Опис схеми автоматизації	21
2.2 Опис структури ПТК	23
2.4 Технологічні вимірювання.....	24
2.5 Виконавчі механізми і регулюючі органи.....	28
2.6 Рішення з мережевого обміну даними.....	28
2.7 Рішення з контролерної автоматизації	28
2.8 Рішення супервізорної автоматизації	29
3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ САР	30
3.1 Синтез САР і аналіз її функціонування.....	30
3.1.1 Розрахунок налаштувань методом РАФХ	32
3.1.2 Розрахунок налаштувань методом МАЧХ.....	36
3.1.3 Порівняння отриманих результатів	48
3.2 Розрахунок вимірювальних каналів САР	59
3.3 Розрахунок виконавчих каналів САР	60
3.3.1 Вибір типорозміру регулюючого органу	60
3.4 Розрахунок надійності функціонування САР	60
3.4.1 Вимоги до надійності реалізації функцій САР	60
3.4.2 Структурні схеми надійності	60
3.4.3 Розрахунок надійності АСК.....	61

					ТА7104.001.001.АТХ.П				
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Бурима А. О.				Автоматизована система керування елеватором	Літ.		Арк.	Аркушів
Перевірив	Клименко О. М							8	80
						«КПІ ім. Ігоря Сікорського»,			
Н. Контр	Некрашевич О.В.					ТЕФ, ТА-81			
Затвердив	Волощук В.								

4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ АТК.....	63
4.1 Моделювання технологічного об'єкта управління	63
4.2 Програмування ПЛК.....	64
4.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу.....	66
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	68
5.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації засобів автоматизації, технологічного обладнання та засобів обчислювальної техніки	68
5.1.1 Електробезпека	69
5.2 Вимоги гігієни праці та виробничої санітарії при використанні засобів обчислювальної техніки	70
5.2.1 Мікроклімат робочої зони	71
5.2.2 Склад повітря робочої зони	72
5.2.3 Виробниче освітлення.....	72
5.2.4 Виробничий шум	72
5.3 Пожежна безпека та профілактика	72
6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АСК	74
ВИСНОВОК	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	82

ВСТУП

Зернові культури - це одна з найважливіших груп сільськогосподарських культур в Україні.

Зерно – це основний продукт харчування людини. Також воно використовується в багатьох інших сферах промисловості, наприклад: виготовлення корму для тварин.

Процес перетворення зерна в готову продукцію складається з багатьох етапів. Один з найважливіших є – зберігання. Процес зберігання це досить складний та затратний етап переробки зерна. Він складається з очищення зерна та його сушіння, з подальшим консервуванням на довготривалий період при певних умовах, для забезпечення його якості та кількості.

Метою даного проєкту є автоматизація зернового елеватора для полегшення зберігання самого зерна.

Для досягнення мети потрібно контролювати задані технологічні параметри в певних межах, заданих технологом. Ця задача реалізується за допомогою правильно налаштованої системи та підбору пристроїв контролю і керування. Основним параметром є: температура зерносушарки.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						10
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТОУ

1.1 Характеристика елеватора

Елеватор - це об'єкт, який зберігає, переміщує та обробляє зерно. Вертикальне транспортування та зберігання є бажаними, оскільки зерно протікає самотпливом у високих силосах, а отже, потрібно менше енергії та праці. В елеваторах відбується процес очищення-за допомогою сепаратора, сушка – завдяки зерносушарці та зберігання в металевих силосах.[1]

Складова елеватора:

- конвеєри та норії;
- сепаратор з циклонним апаратом;
- зерносушарка з теплоблоком;
- вентилятори;
- металеві силоси;
- засоби керування та автоматики;

У загальному вигляді елеватор виглядає наступним чином:

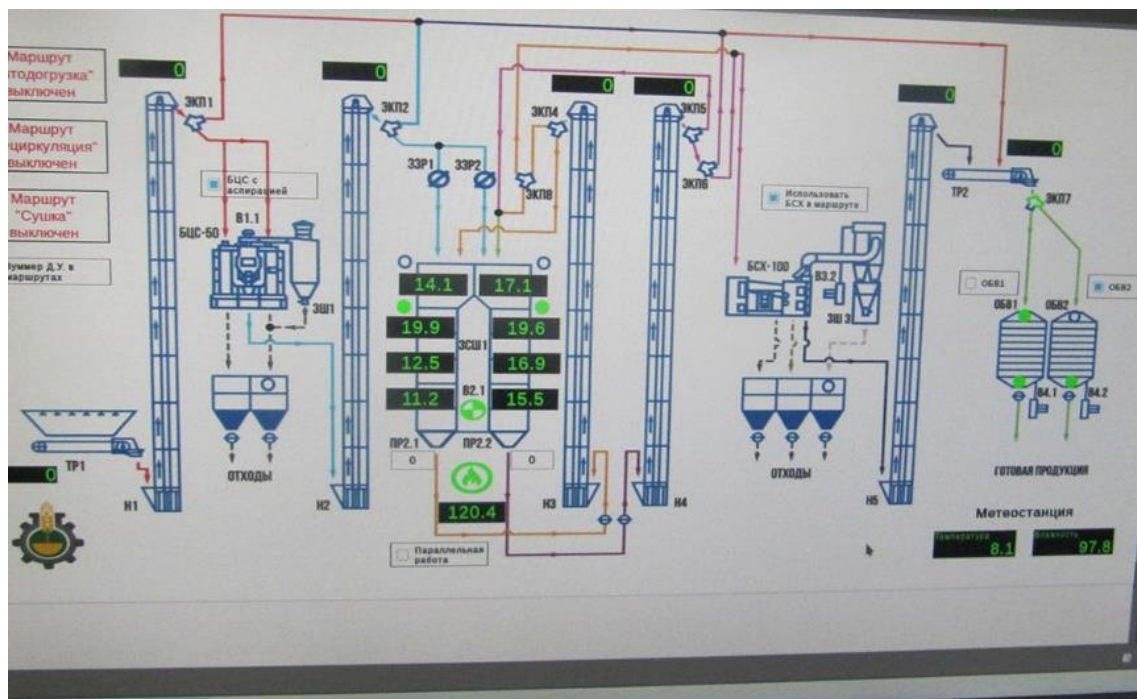


Рисунок 1.1 – Схема принципу роботи елеватора

Принцип роботи елеватора

Зібране на полях зерно привозять до елеватора. Спеціально навчені люди відбирають пробу зерна і в лабораторних умовах досліджують його на вологість та інші показники. Потім його розвантажують за допомогою автомобілерозвантажувачів, воно потрапляє в бункер прийому, потім через конвеєр з норією до сепаратора. Сепаратор – це прилад для очищення зернових культур. Після сепаратора зерно має, майже, ідеальний стан, без різних домішок, сміття та пилі. Самі відходи потрапляють до спеціального бункера, де за мірою його заповнення, яке контролюється датчиком рівня, відбувається очищення відходів. Принцип роботи сепаратора досить простий – зерно надходить в бункер, потім поступово потрапляє в зону аспірації, де нагнітається повітря вентилятором і відбувається звільнення матеріалу від різних домішок. Відпрацьоване повітря потрапляє в циклонний апарат, де в свою чергу очищається від пилу.

Потім зерно потрапляє через наступну норію до сушарки. Принцип роботи сушарки: зерно потрапляє в бункер сушарки, після цього зерно поступово, під силою тяжіння, просувається по всій сушарці, де за допомогою гарячого повітря, яке поступає від теплоблока і нагнітається вентилятором[7], відбувається підігрівання та висушування зерна до заданої температури. Останнім етапом є охолодження зерна в нижній частині зерносушарки. Після цього зерно вивантажується в норію для подальшого транспортування по елеватору. Температура вимірюється датчиком а її контроль відбувається за допомогою вентилятора.

Наступний етап - це вже транспортування зерна в силоси для зберігання. В місці зберігання відбувається контроль рівня заповненості, вологості та температури самого зерна. Адже зерно має здатність до саморозігріву, це погано впливає на якість зерна. Контроль температури відбувається в трьох різних зонах, тому що зерно може почати саморозігріватися в будь-якому місці. Також ми контролюємо рівень вологості, адже велика вологість призводить до

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						12
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

погіршення якості зерна. Тому при збільшенні температури або вологості вмикається вентилятор, який нагнітає повітря з навколишнього середовища.

Таблиця 1.1 – Параметри аналогових сигналів

Параметр		
№№ п/п	Назва	Діапазон зміни
1	Температура зерна в зерносушарці	0...100°C
2	Температура теплоносія в теплоблоці	0...500°C
3	Температура зерна в першій зоні силосу №1	0...50°C
4	Температура зерна в другій зоні силосу №1	0...50°C
5	Температура зерна в третій зоні силосу №1	0...50°C
6	Температура зерна в першій зоні силосу №2	0...50°C
7	Температура зерна в другій зоні силосу №2	0...50°C
8	Температура зерна в третій зоні силосу №2	0...50°C
9	Температура навколишнього середовища	-20...40°C
10	Вологість повітря в силосі №1	0...100%
11	Вологість повітря в силосі №2	0...100%

Продовження таблиці 1.1

№№ п/п	Назва	Діапазон зміни
12	Вологість навколишнього середовища	0.100%
13	Рівень зерна в силосі №1	0...10м
14	Рівень зерна в силосі №2	0...10м
15	Тиск повітря на вентиляторі циклонного апарату	0...1.5кПа
16	Тиск повітря на вентиляторі зерносушарки	0...0,5кПа
17	Тиск повітря на вентиляторі силосу №1	0...1.5кПа
18	Тиск повітря на вентиляторі силосу №2	0...1.5кПа
19	Кількість обертів двигуна конвеєра №1	0...1500об/хв
20	Кількість обертів двигуна конвеєра №2	0-1500об/хв
21	Кількість обертів двигуна конвеєра №3	0-1500об/хв
22	Кількість обертів двигуна норії №1	0-1500об/хв
23	Кількість обертів двигуна норії №2	0-1500об/хв
24	Кількість обертів двигуна норії №3	0-1500об/хв

Кінець таблиці 1.1

25	Кількість обертів вентилятора зерносушарки	0-1500об/хв
----	---	-------------

1.2 Ідентифікація і моделювання ТОУ

Проведемо дослід системи, щоб отримати розгінну характеристику. Щоб отримати параметри ланки другого порядку для контуру регулювання температури зерносушарки, використаємо літературні джерела[2]:

$$K_{об} = 0.035 \frac{^{\circ}C}{\%PO};$$

$$T_{об1} = 20.16c;$$

$$T_{об2} = 10.06c;$$

$$\tau = 3.7c;$$

Передаточна функція: $W_s = \frac{0.035}{20.16p^2 + 10.06p + 1} e^{-3.7p}$

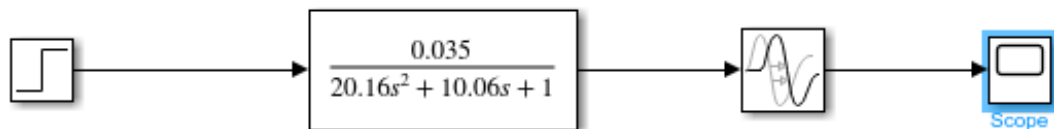


Рисунок 1.2 – Схема в Simulink

Змоделюємо в Matlab Simulink перехідну характеристику(рис. 1.3):

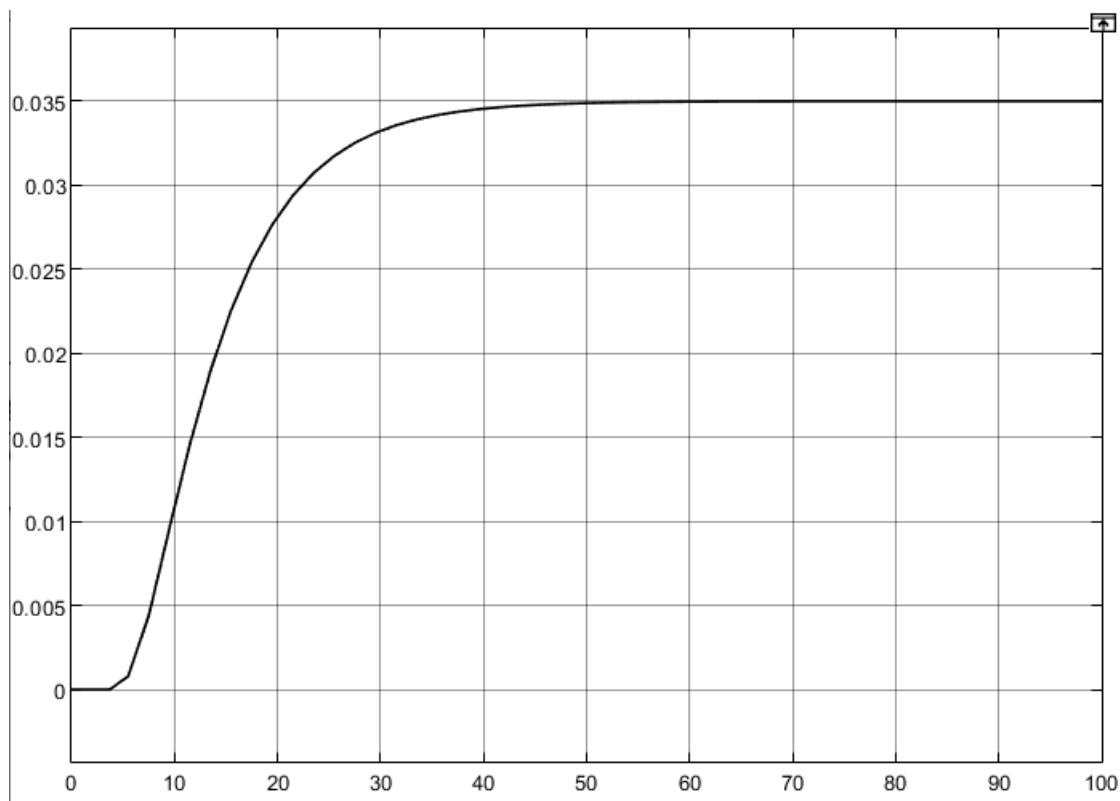


Рисунок 1.3 – Перехідна характеристика в Simulink

1.3 Огляд і аналіз сучасних АСУ ТОВ

Сучасні автоматизовані системи управління повинні забезпечувати чіткий контроль та регулювання заданих параметрів, а також вчасно попереджувати про виникання проблем.

Перелік параметрів які АСК елеватора повинна регулювати та контролювати:

- температура зерносушарки;
- температура теплоносія;
- температура зерна в трьох зонах силосу №1;
- температура зерна в трьох зонах силосу №2;
- температура навколишнього середовища;
- тиск повітря в вентиляторі циклонного апарату;
- тиск повітря в вентиляторі зерносушарки;
- тиск повітря в вентиляторі силосу №1;

- тиск повітря в вентиляторі силосу №2;
- рівень зерна в силосі №1;
- рівень зерна в силосі №2;
- рівень зерна в силосі №1(верхня критична межа);
- рівень зерна в силосі №1(нижня критична межа);
- рівень зерна в силосі №2(верхня критична межа);
- рівень зерна в силосі №2(нижня критична межа);
- рівень в бункері відходів(верхня межа);
- рівень в бункері зерносушарки(верхня ти нижня межа);
- рівень вологості повітря в силосі №1;
- рівень вологості в силосі №2;
- рівень вологості навколишнього середовища;
- кількість обертів двигуна конвеєра №1;
- кількість обертів двигуна конвеєра №2;
- кількість обертів двигуна конвеєра №3;
- кількість обертів двигуна норії №1;
- кількість обертів двигуна норії №2;
- кількість обертів двигуна норії №3;

Моя система має декілька контурів регулювання, але я буду досліджувати контур регулювання температури зерносушарки:

1. Контур регулювання температури зерносушарки

Температура зерна є однією з головних параметрів, які потрібно контролювати. Зберігання зерна при не правильній температурі може призвести до погіршення якості самого зерна. А перед початком процесу зберігання зерна в силосі його потрібно висушити та прогріти до певної температури. Даний контур дозволяє протягом певного часу підтримувати температуру в зерносушарці до повного висушування зерна для подальшого зберігання.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						17
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

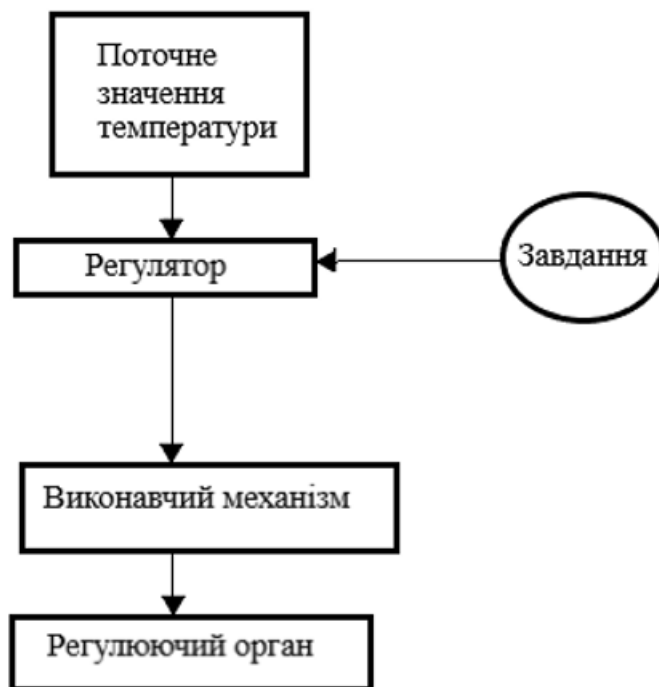


Рисунок 1.4 – Структурна схема регулювання температури

Так як зерносушарка є, майже, безінерційною системою і першочергова задача регулятора – це швидкодія, то ми використовуємо одноконтурну систему з ПІ регулятором.

2. Контур регулювання температури в силосах

Після просушки зерно потрапляє в силоси для подальшого зберігання на певний період. Так, як зерно дозріває, не важливо на якому етапі дозрівання воно було зібране, воно виділяє тепло. Тому потрібно контролювати температуру в силосах. Зазвичай зерно зберігається при температурі на 6-9°C більше за температуру навколишнього середовища. При досяганні температури верхньої заданої межі, вмикається вентилятор, який працює до опускання температури в задані межі.

3. Контур регулювання вологості в силосах

Подібно до попереднього контуру, процес дозрівання може підвищувати вологість в силосах, тому потрібно контролювати відсоток вологості, який

повинен триматися на рівні не вищому 13-14%. Для цього ми також використовуємо вентилятори, за таким же принципом.

4. Контур регулювання рівня зерна в силосах

Після сушіння зерно потрапляє спочатку в силос №1, де за допомогою датчиків відбувається контроль наповненості силосу. Якщо силос №1 заповнений на 100% і спрацював датчик рівня верхньої межі, то за допомогою виконавчого механізму та конвеєра відбувається перенаправлення зерна до силосу №2.

5. Контур регулювання рівня відходів в бункері

Під час очищення зерна в сепараторі виділяється багато різних відходів та пилу, яке потрапляє в бункер відходів. Після спрацювання датчика рівня верхньої межі спрацьовує виконавчий механізм, який відкриває клапан і спустошує бункер. Після спрацювання датчика рівня нижньої межі, виконавчий механізм закриває клапан.

1.4 Обґрунтування і вибір структури САР

Датчик температури виміряє значення температури в зерносушарці, після чого сигнал з датчика надходить на перетворювач, де сигнал з чутливого елементу перетворюється на уніфікований струмовий сигнал. Потім сигнал потрапляє через суматор, де на виході ми отримуємо різницю температури на зерносушарці з заданою температурою. Після сигнал поступає на регулятор. Регулятор впливає на виконавчий механізм, через що відбувається регулювання частоти обертання двигуна вентилятора і зміни температури до заданої.(рис. 1.5)

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						19
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

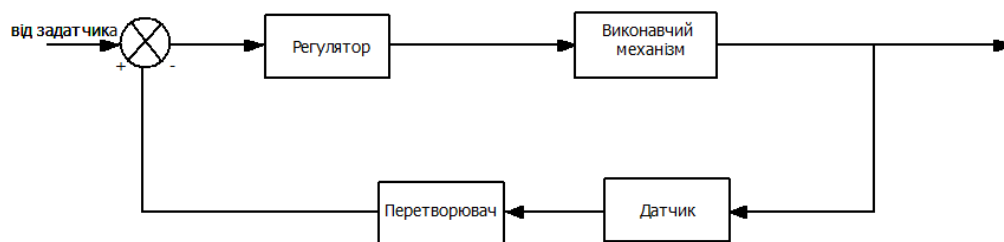


Рисунок 1.5 – Схема регулювання температури в зерносушарці

2. ПРОЕКТУВАННЯ АСУ ТОУ

2.1 Опис схеми автоматизації

Зерно розвантажується в бункер прийому, після потрапляє на конвеєр К1, в якому ми можемо змінювати швидкість за допомогою частотного перетворювача(поз. 34а), а також відслідковувати оберти двигуна датчиком обертів(поз. 22а). Після цього зерно потрапляє до норії Н1, яка також керується частотним перетворювачем(поз. 35а) і оберти показує датчик обертів(поз. 23а), норія транспортує зерно до сепаратора.

Сепаратор є невід'ємною частиною елеватора, тому що зерно має багато різних домішок та пилу, від яких потрібно його очистити. Це відбувається нагнітанням повітря в сепаратор. Цю функцію виконую вентилятор, ми ним керуємо за допомогою частотного перетворювача. Ми можемо контролювати тиск повітря, який перебуває на вентиляторі за допомогою манометра тиску(поз. 18а). Відходи потрапляють до спеціального бункера. Рівень бункера ми можемо спостерігати датчиками верхнього та нижнього рівня. Якщо датчик верхнього рівня спрацював, то це свідчить про переповненість бункера і його потрібно спустошити. Спрацьовує виконавчий механізм(поз. 41а), який відкриває клапан і відходи відвантажуються. Клапан буде відкритий поки не спрацює датчик нижньої межі бункера, він свідчить про, майже, відсутність відходів в бункері. Виконавчий механізм закриває клапан. І бункер може знову наповнюватися.

Після очищення зерна спрацьовує виконавчий механізм(поз. 42а), який відкриває клапан і зерно потрапляє до норії Н2, оберти норії керуються частотним перетворювачем(поз. 36а), та самі оберти відображаються датчиком(поз. 24а).

Після норії в нас є два маршрути руху зерна, виконавчим механізмом (поз. 43а) ми вирішуємо який маршрут вибрати. Якщо зерно було достатньо сухе та належної температури, це досліджувалося лабораторними методами перед постачанням зерна на елеватор, то вона може відразу відправитися до конвеєра

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						21
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

К2 і потім в силоси. А якщо зерно потребує сушіння то воно відправляється в зерносушарку. Виконавчий механізм(поз. 44а) відкриває клапан і зерно потрапляє в бункер зерносушарки, де відбувається контроль рівня верхньої та нижньої межі(поз. 3а та поз. 4а відповідно). Зерно під силою тяжіння поступово опускається по зерносушарці де сушиться. Сушіння відбувається нагнітанням гарячого повітря з теплоблоку. Вентилятор ВТ яким ми можемо керувати, використовуючи частотний перетворювач(поз. 37а), подає повітря на зерносушарку. Також ми контролюємо оберти двигуна вентилятора датчиком(поз. 19а). Також ми контролюємо температуру зерносушарки(поз. 9а), та температуру теплоблока(поз. 10а). Після проходження зони сушіння зерно опускається в нижню частину зерносушарки, де воно охолоджується і ввімкненням виконавчого механізму(поз. 45а) поступає далі до норії Н3.

Після норії Н3 зерно потрапляє на конвеєр К2. Після цього в нас є розгалуження і маршрут зерна залежить від рівня зерна в силосі №1. Якщо в силосі №1 спрацьовує датчик рівня верхньої межі(поз. 5а), то зерно відправляється на конвеєр К3 і відповідно в силос №2.

Рівень зерна в силосі №1 ми контролюємо датчиком рівня(поз. 29а), який може відслідковувати зерно на рівні від 0м до 10м, таким чином ми бачимо точний рівень зерна в силосі. А для визначення рівня нижньої і верхньої межі зерна ми використовуємо датчики (поз. 5а і поз. 7а відповідно).

Для правильного зберігання зерна в силосах повинна бути певна температура і вологість. Температуру ми контролюємо датчиками(поз. 11а, поз. 12а та поз. 13а). В нас температура вимірюється в трьох зонах, на різних висотах. Це потрібно для кращого контролю температури, адже силоси мають висоту 10 м і в будь-якому місці може виникнути саморозігрів зерна, тому потрібно встановлювати датчики температури на відстані 2,5 м один від одного. Вологість вимірюється датчиком(поз. 31а). Якщо ці параметри більші за нормовані, то ми вмикаємо вентилятор, який нагнітає повітря з навколишнього середовища і відбувається провітрювання і зменшення температури зерна. Якщо силос №1

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						22
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

повністю заповнився, то виконавчий механізм(поз. 46а) змінює маршрут зерна і воно потрапляє на конвеєр К3, а потім в силос №2. Силос №2 працює аналогічно до силосу №1.

Якщо потрібно вивантажити готове зерно з силосів, то ми використовуємо виконавчі механізми(поз. 47а та поз. 48а), які керують клапанами.

2.2 Опис структури ПТК

АСР елеватора є дворівневою.

На нижньому рівні знаходяться датчики, виконавчі механізми та контролер з модулями розширення.

Верхній рівень складається з ПК та SCADA-системою.

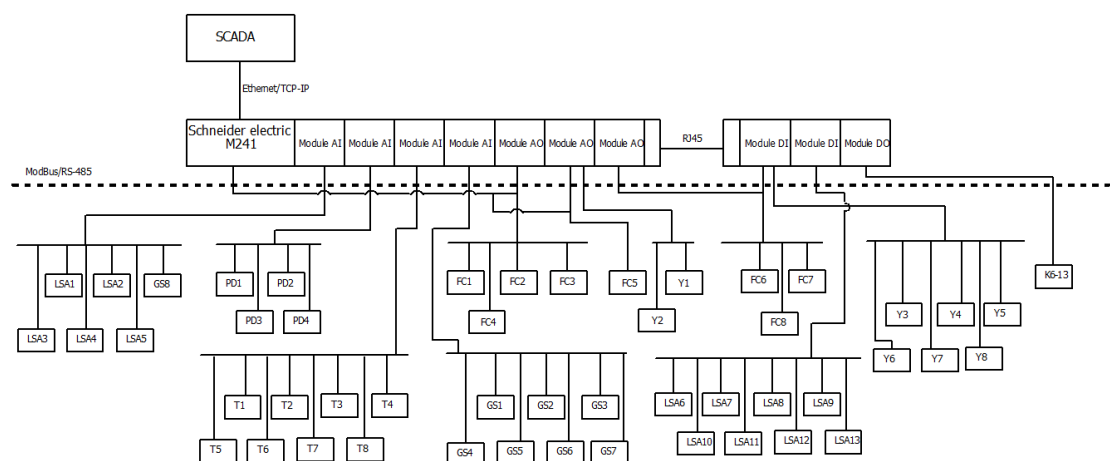


Рисунок 2.1– Структурна схема ПТК3А

Контролер M241 від Schneider Electric підключений до SCADA-системи оператор за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Всі датчики, включаючи частотні перетворювачі, мають уніфікований сигнал.[3] Деякі сигнали від датчиків надходять напряму до контролера, тому що він має дискретні входи та дискретні виходи, а деякі сигнали надходять до модулів розширення. З модулів сигнал надходить до контролера, з нього на SCADA-систему, де всі параметри а також сигналізації відображаються на ПК оператора.

2.4 Технологічні вимірювання

1) Рівень верхньої межі бункера відходів(поз. 1а)

Використовується датчик ECAS 301. Він спрацьовує коли бункер повністю заповнюється відходами.

2) Рівень нижньої межі бункера відходів(поз. 2а)

Використовується датчик ECAS 301. Він перестав працювати коли бункер повністю буде пустий.

3)Рівень верхньої межі бункера зерносушарки(поз. 3а)

Використовується датчик ECAS 301. Він спрацьовує коли бункер повністю заповнюється зерном.

4) Рівень нижньої межі бункера зерносушарки(поз. 4а)

Використовується датчик ECAS 301. Він перестав працювати коли бункер зерносушарки повністю стане пустим.

5)Рівень верхньої межі силоса №1(поз. 5а)

Використовується датчик ECAS 301. Він спрацьовує коли силос №1 повністю заповнюється зерном.

6) Рівень нижньої межі силоса №1(поз. 7а)

Використовується датчик ECAS 301. Він перестав працювати коли силос №1 повністю стане порожнім.

7) Рівень верхньої межі силоса №2(поз. 6а)

Використовується датчик ECAS 301. Він спрацьовує коли силос №2 повністю заповнюється зерном.

8) Рівень нижньої межі силоса №2(поз. 8а)

Використовується датчик ECAS 301. Він перестав працювати коли силос №2 повністю стане порожнім.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						24
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

9) Температура зерносушарки(поз. 9а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

10) Температура теплоблока(поз. 10а)

Використання датчика Regmik ТСП002. Діапазон температури(-40-500)°С. Клас точності 0.1.

11)Температура першої зони силоса №1(поз. 11а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

12) Температура другої зони силоса №1(поз. 12а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

13) Температура третьої зони силоса №1(поз. 13а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

14) Температура першої зони силоса №2(поз. 14а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

15)Температура другої зони силоса №2(поз. 15а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

16) Температура третьої зони силоса №2(поз. 16а)

Використовується датчик Regmik TCM002. Діапазон температури(-40-120)°С. Клас точності 0.3.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						25
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

17) Температура навколишнього середовища(поз. 17а)

Використовується датчик Regmik 301. Діапазон температури(-20-40)°C. Клас точності 0.15.

18) Тиск повітря на вентиляторі циклонного апарату(поз. 18а)

Використовується манометр WIKA 232.30, діапазон вимірювань(0-2500)Па, клас точності 1,5.

19) Тиск повітря на вентиляторі зерносушарки(поз. 19а)

Використовується манометр WIKA 232.30, діапазон вимірювань(0-2500)Па, клас точності 1,5.

20) Тиск повітря на вентиляторі силосу №1(поз. 20а)

Використовується манометр WIKA 232.30, діапазон вимірювань(0-2500)Па, клас точності 1,5.

21) Тиск повітря на вентиляторі силосу №2(поз. 21а)

Використовується манометр WIKA 232.30, діапазон вимірювань(0-2500)Па, клас точності 1,5.

22) Оберти двигуна конвеєра №1(поз. 22а)

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

23) Оберти двигуна норії №1(поз. 23а)

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

24) Оберти двигуна норії№2(поз. 24а)

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

25) Оберти двигуна вентилятора зерносушарки(поз. 25а)

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						26
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

26) Оберти двигуна норії №3(поз. 26а)

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

27) Оберти двигуна конвеєра №2(поз. 27а)

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

28) Оберти двигуна конвеєра №3(поз. 28а)

Використовується датчик 3000М, діапазон вимірювань(0-1500) $\frac{об}{хв}$.

29) Рівень зерна в силосі №1(поз. 29а)

Використовується датчик рівня IFM O1D100, діапазон вимірювання(0-10)м, клас точності 0,1.

30) Рівень зерна в силосі №2(30а)

Використовується датчик рівня IFM O1D100, діапазон вимірювання(0-10)м, клас точності 0,1.

31) Вологість повітря в силосі №1(31а)

Використовується датчик вологості DOL 104. Діапазон вимірювань(0-100)%, клас точності 0,02.

32) Вологість повітря в силосі №2(32а)

Використовується датчик вологості DOL 104. Діапазон вимірювань(0-100)%, клас точності 0,02.

33) Вологість повітря навколишнього середовища(33а)

Використовується датчик вологості DOL 104. Діапазон вимірювань(0-100)%, клас точності 0,02.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						27
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Виконавчі механізми і регулюючі органи

В системі використовують як аналогові електроприводи, так і дискретні. Дискретні електроприводи працюють на відкриття\закриття клапанів, або заслінок. Підключаються до дискретних виходів ПЛК та модулів, їхнє положення контролюється дискретними входами.

Аналогові електроприводи підключаються до аналогових виходів модулів, вони також відкривають\закривають заслінки, але з заданням певного кута повороту, що дає можливість встановлювати заслінку в задане положення.

Також в системі використовуються частотні перетворювачі для контролювання швидкості електродвигунами. Частотні перетворювачі потрібні для плавного керування процесами в системі, такими як подача зерна через конвеєра або норії, а також для контролювання швидкості подачі повітря вентилятором зерносушарки, що призводить до змінити її температури.

2.6 Рішення з мережевого обміну даними

Датчики температури, тиску, оберту двигуна, рівня та вологості підключаються до модулів аналогових входів.

Датчики, які сигналізують про верхні та нижні рівні підключаються до дискретних входів.

Електроприводи та частотні перетворювачі підключаються як до модулів аналогових виходів, так і до модулів дискретних виходів.

ПЛК, до якого приєднані модулі розширення передає дані на SCADA за допомогою Ethernet.

2.7 Рішення з контролерної автоматизації

АСК Елеватора є досить складною системою з використанням багатьох датчиків і ВМ з РО. Також ця система може в майбутньому розширюватися, тому потрібен надійний ПЛК з можливим підключенням великої кількості модулів розширення та різних датчиків. Тому я вибрав ПЛК M241 від Schneider Electric.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						28
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Логічні контролери M241 оснащені інтуїтивно зрозумілим пакетом програмного забезпечення SoMachine. SoMachine використовує 5 мов програмування, відповідних стандарту IEC 61131-3b.

Доступ даного ПЛК до Ethernet дає можливим використовувати такі функції:

- Текстові повідомлення по e-mail (через NMTP-сервер)
- TFTP-протокол передачі
- DNS

- Онлайн-налагодження
- Оновлення фірмового системного програмного забезпечення
- Менеджмент параметрів

ПЛК M241 поєднаний з модулями:

- 2 модулі аналогового вводу TM3AI8
- 2 модулі аналогового виводу TM3AQ4G
- 1 модуль аналогового вводу TM3AI4G
- 1 модуль дискретного вводу TM3DI16
- 1 модуль аналогового виводу TM3AQ2
- 1 модуль аналогового вводу TM3TI8T
- 1 модуль дискретного виводу TM3DQ8R

2.8 Рішення супервізорної автоматизації

Для реалізації SCADA-системи я використовував програмне середовище Indusoft Web Studio.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						29
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ САР

3.1 Синтез САР і аналіз її функціонування

В системі регулюється температура зерносушарки. Температуру можна апроксимувати АП ланкою другого порядку[4]:

$$W_{об}(s) = \frac{K_{об}}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} \quad (3.1)$$

Параметри візьмемо з літературних джерел:

- 1) Коефіцієнт підсилення: $K_{об} = 0.035 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{PO}}$;
- 2) Стала часу: $T_2 = 20.16 \text{c}$, $T_1 = 10.06 \text{c}$;
- 3) Транспортне запізнення: $\tau_{об} = 3.7 \text{c}$;

Змоделюємо перехідну характеристику:

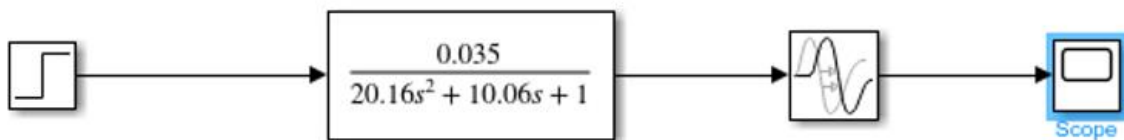


Рисунок 3.1 – Модель перехідного процесу контуру регулювання температури в зерносушарці

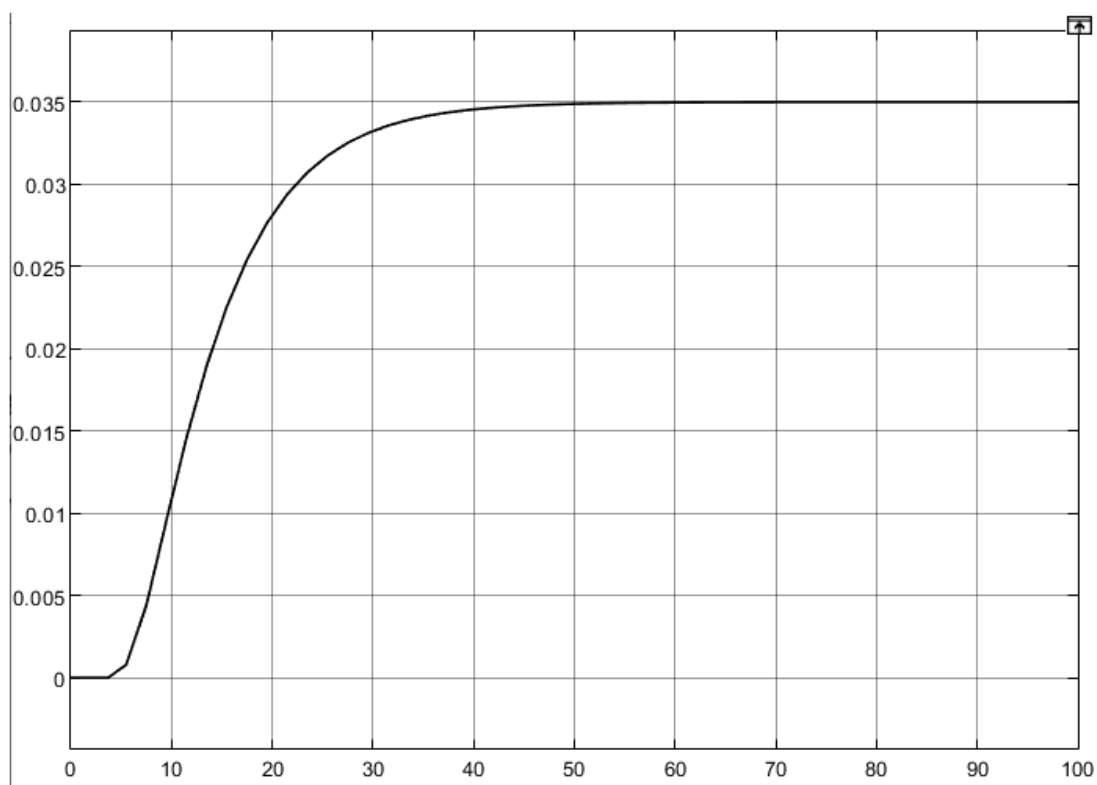


Рисунок 3.2 – Перехідна характеристика контуру регулювання температури в зерносушарці

Побудуємо годографи АФХ об'єкта в Matlab:

```
w1 = 0:0.001:0.9|;
p = w1.*(1i - m);
W1 = (0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
Re = real(W1);
Im = imag(W1);
plot(Re, Im);
grid on;
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');
hold on;
```

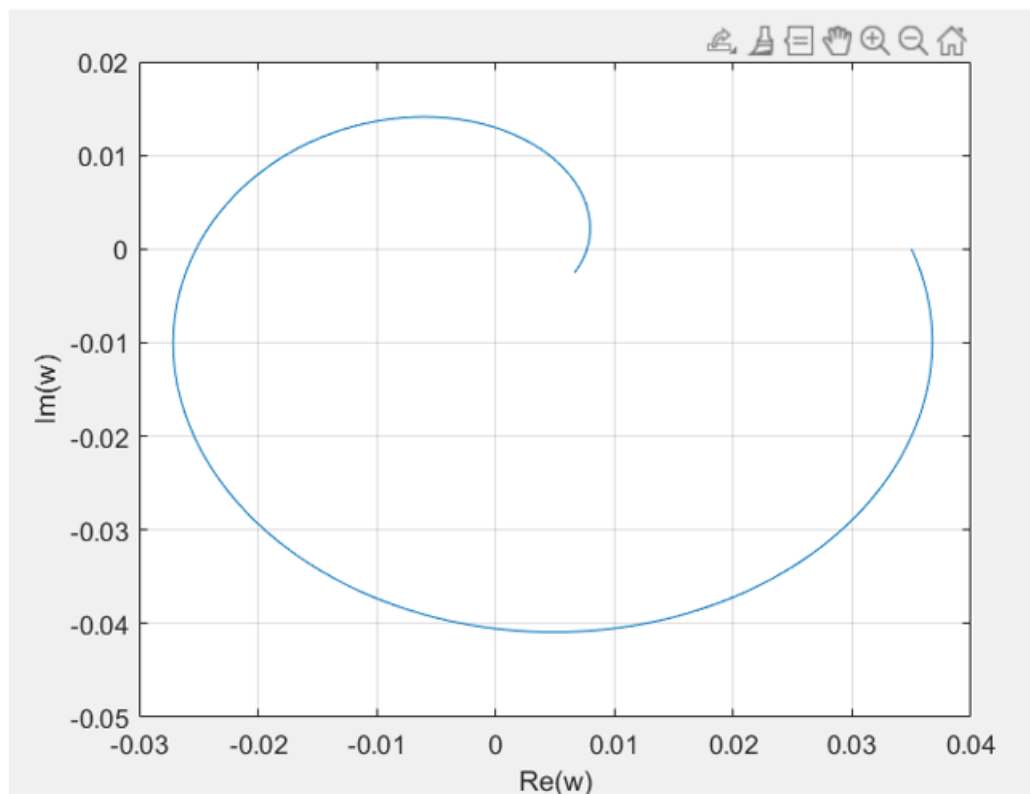


Рисунок 3.3 – АФХ об'єкта управління

3.1.1 Розрахунок налаштувань методом РАФХ

Для розрахунків нам потрібні наступні формули:

$$\begin{aligned}
 K_p &= -\frac{mQ(m, i\omega) + P(m, i\omega)}{A^2(m, i\omega)}; \\
 K_u &= \frac{-\omega(m^2 + 1) \cdot Q(m, i\omega)}{A^2(m, i\omega)}, \\
 A(m, i\omega) &= \sqrt{P^2(m, i\omega) + Q^2(m, i\omega)}.
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

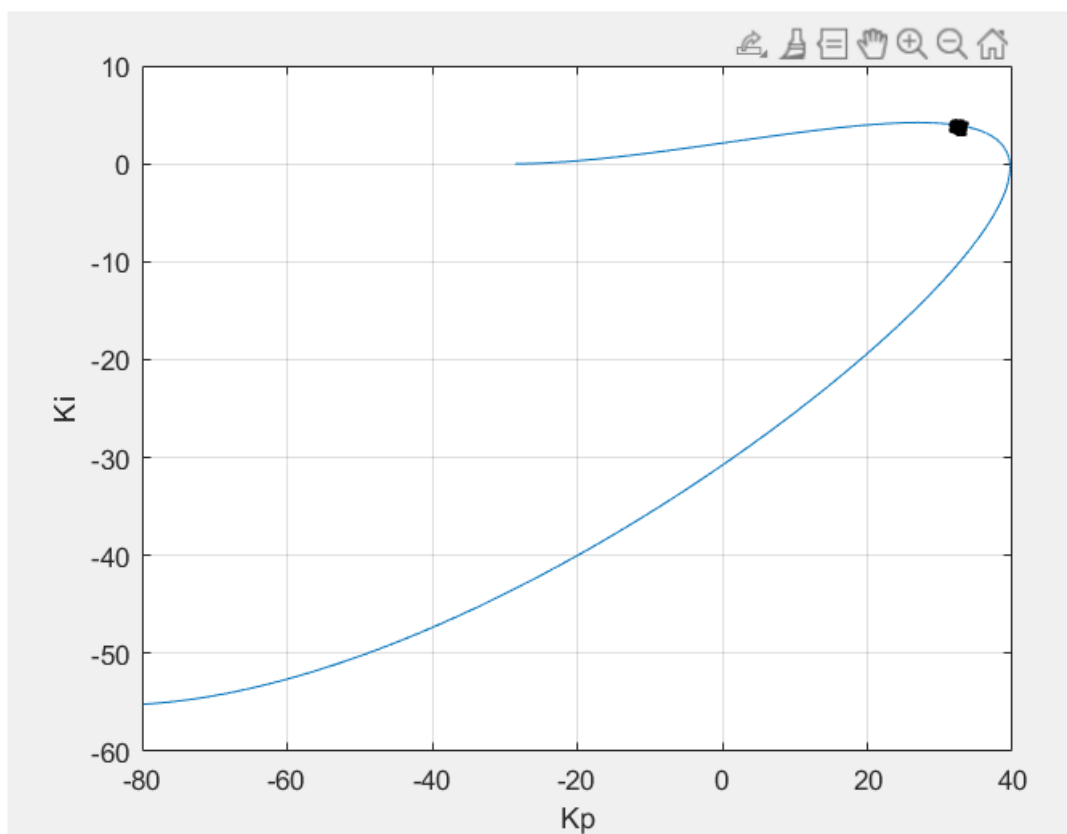
Використаємо показник коливальності $m = 0.3665$:

Побудуємо графік залежності $K_i = f(K_p)$


```

w1 = 0:0.0001:0.6;
m = 0.3665;
p = w1.*(1i - m);
W1 = (0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
Re = real(W1);
Im = imag(W1);
Kp = -(m .* Im + Re)./(Im.^2 + Re.^2);
Ki = -w1 .* (m^2 + 1) .* Im ./ (Im.^2 + Re.^2);
plot(Kp, Ki);
grid on;
xlabel('Kp');
ylabel('Ki');
hold on;

```



Графік 3.4 – Графік залежності $K_i = f(K_p)$

Візьмемо точку $K_i = 0.9 \max(K_i)$ для ПІ-регулятора і визначаємо налаштування:

$$K_p = 33.635; K_i = \frac{K_p}{T_u} = 3.78; T_u = 8.898$$

Тепер знайдемо РАФХ підставляючи знайдені коефіцієнти:

```
w1 = 0.005:0.00001:0.9;  
m = 0.366;  
p = w1.*(1i - m);  
W1 = (33.635+(33.635./(8.898.*p))).*(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);  
Re = real(W1);  
Im = imag(W1);  
plot(Re, Im);  
grid on;  
xlabel('Re');  
ylabel('Im');  
hold on;
```

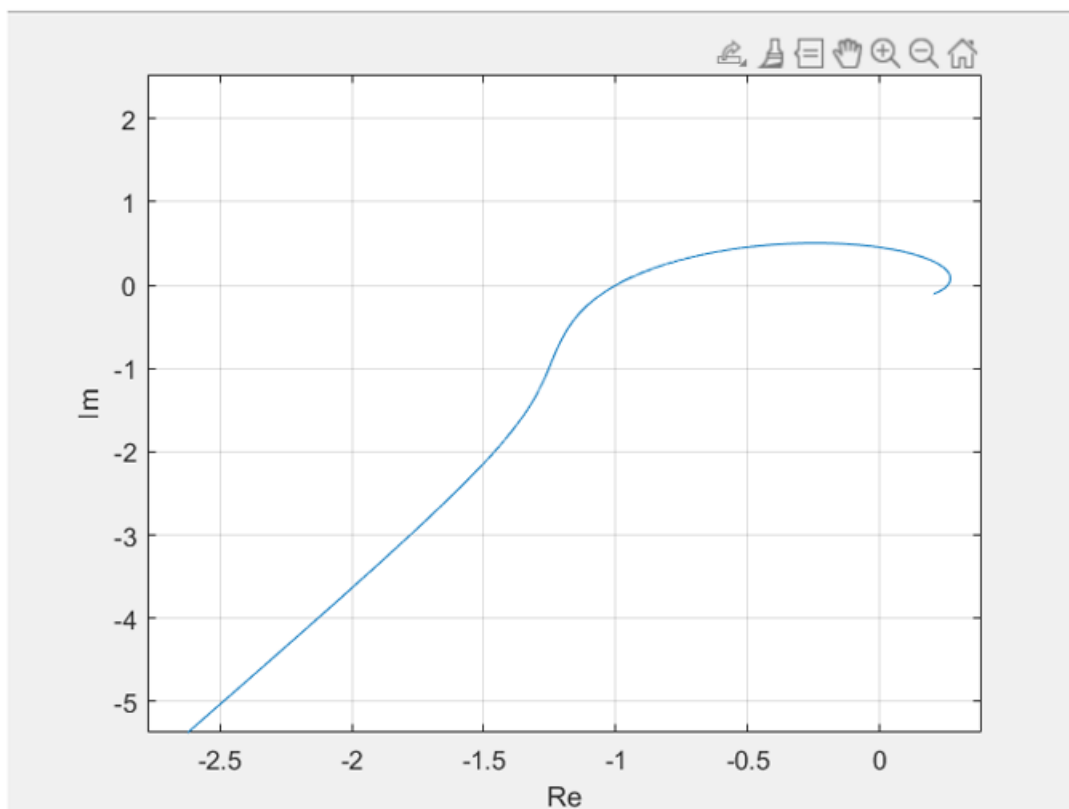


Рисунок 3.5 – РАФХ системи із знайденими налаштуваннями

Видно, що РАФХ розімкнутої системи проходить через точку $(-1;j0)$. Це значить, що отримана система повинна мати кореневий показник коливальності m , рівний заданому: $m=m^*=0,366$.

В Matlab побудуємо перехідну характеристику з ПІ-регулятором:

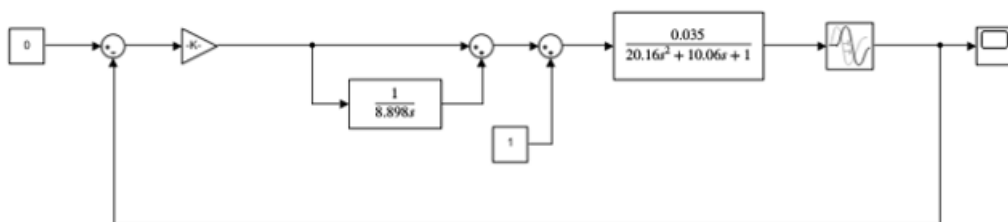


Рисунок 3.6 – Модель контуру по каналу «збурення-вихід»

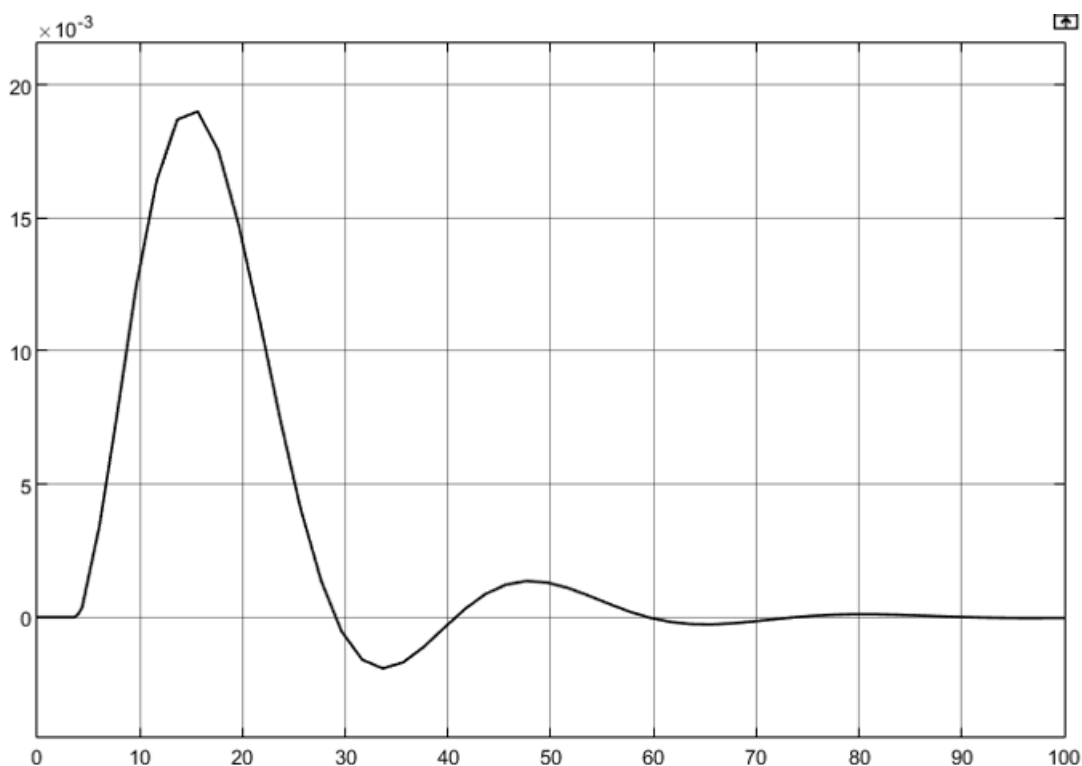


Рисунок 3.7 – Перехідний процес по каналу «збурення вихід»

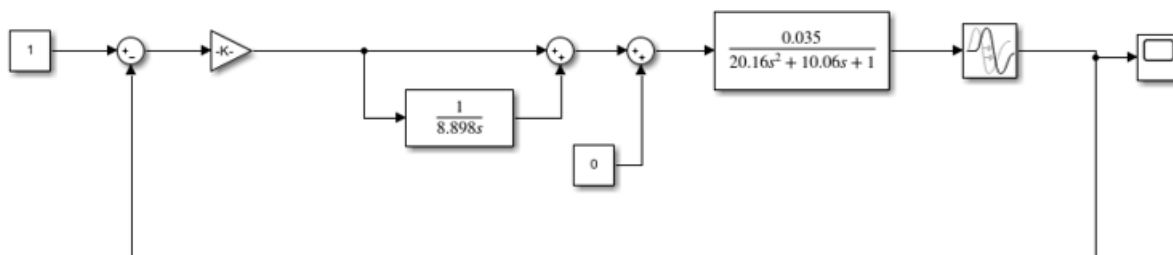


Рисунок 3.8 – Модель контуру по каналу «завдання-вихід»

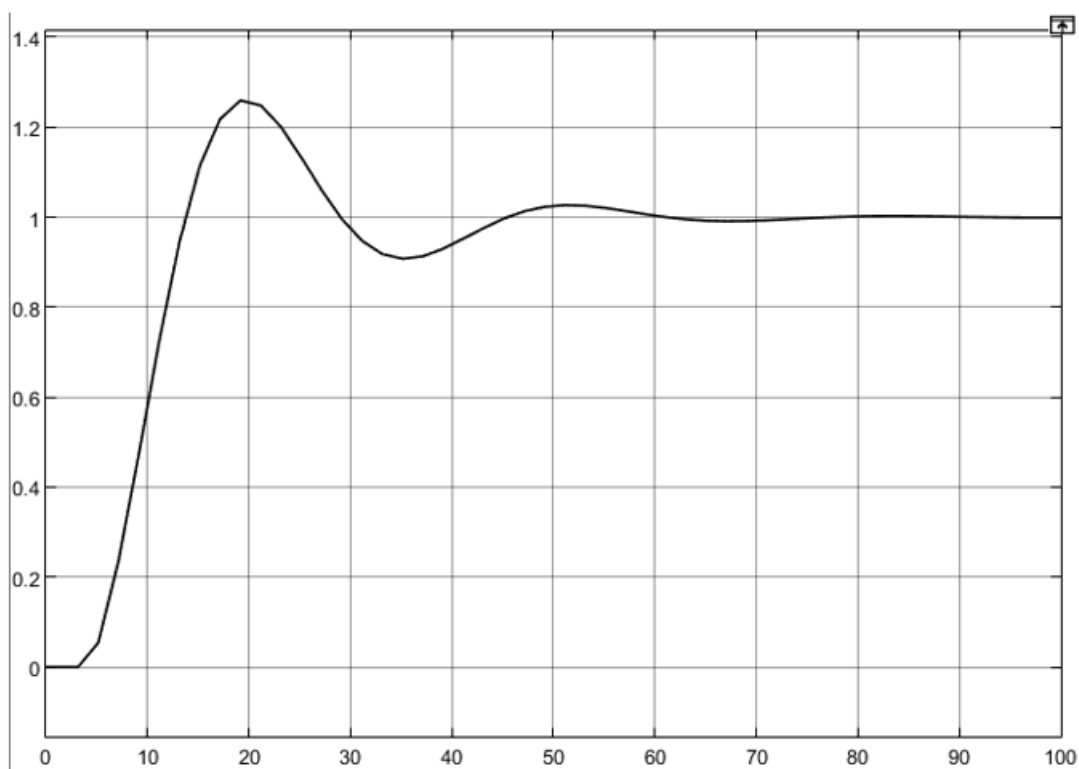


Рисунок 3.9 – Перехідний процес по каналу «завдання вихід»

Таблиця 3.1 – Прямі показники якості

	Канал «Завдання - вихід»	Канал «Збурення-вихід»
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	1,25	0.019
Показник затухання	0,9	0.93
Час перехідного процесу, с	41	22.5
Перерегулювання	34.7	10

3.1.2 Розрахунок налаштувань методом МАЧХ

Задаємо показник коливальності – $M = 1.6$. Для розрахунку за цим методом нам потрібно побудувати АФХ розімкнутої системи, де будемо використовувати $K_p = 1$ і $T_u = \{20, 25, 30, 35, 40\}$. Для побудови прямої скористаємося формулою:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{1}{M}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{1.6}\right) = \arcsin(0.625) = 38.68^\circ$$

Після ми підбираємо коло, із забезпеченням умов дотику. Знаходимо радіус кола r .

1) При $T_u = 20, M = 1.6$

```
w=0.07:0.001:10;
p=1j*w;
W1=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W2=(1+1./(20.*p));
W=W1.*W2;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
grid on;
hold on;
M=1.6;
R=0.02125;|
L=R.*M;
k = asin(1/M);
x = -0.1:0.1:0;
y = tan(k).*x;
plot(x,y,'r');
ylabel('Im');
xlabel('Re');
hold on;
ang=0:0.001:2*pi;
xp=R.*cos(ang);
yp=R.*sin(ang);
plot(-L+xp,0+yp,'r');
```

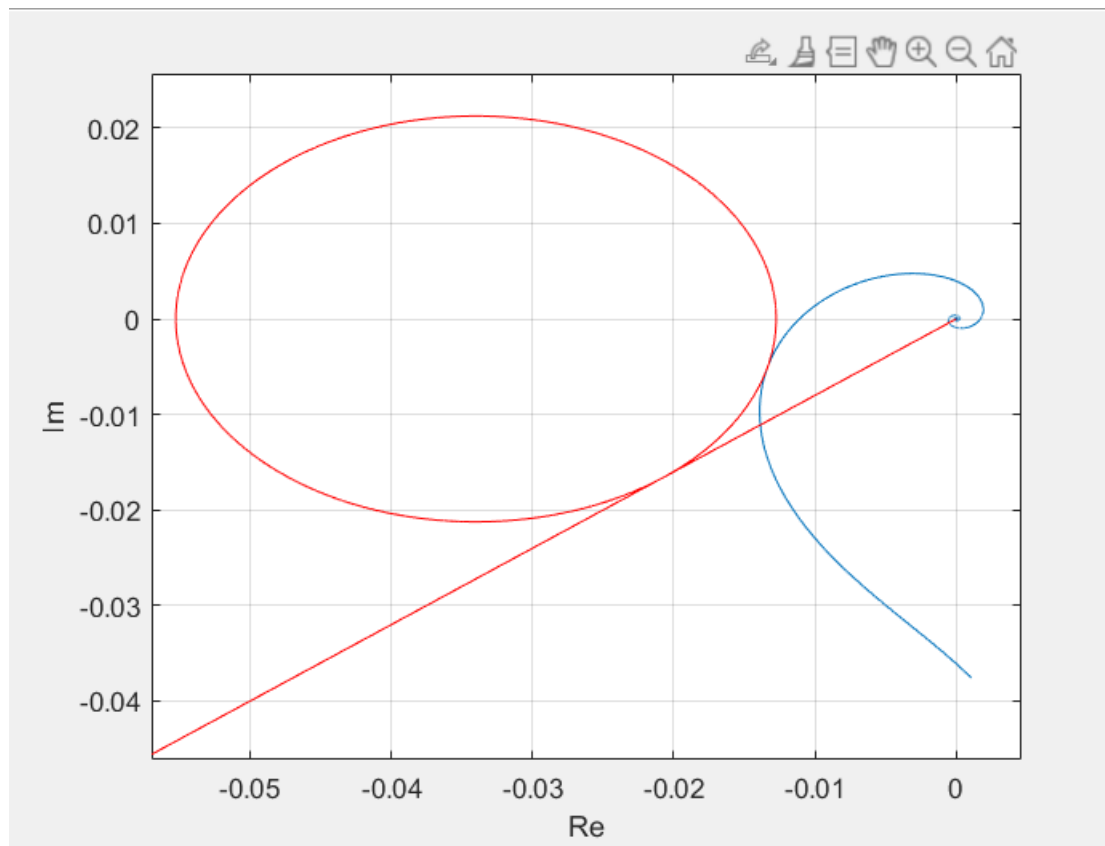


Рисунок 3.10 – АФХ системи при $T_u = 20, M = 1.6$

З даного графіка отримаємо радіус $r = 0.02125$

2) При $T_u = 25, M = 1.6$

```
w=0.07:0.001:10;
p=1j*w;
W1=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W2=(1+1./(25.*p));
W=W1.*W2;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
grid on;
hold on;
M=1.6;
R=0.02055;
L=R.*M;
k = asin(1/M);
x = -0.1:0.1:0;
y = tan(k).*x;
plot(x,y,'r');
ylabel('Im');
xlabel('Re');
hold on;
ang=0:0.001:2*pi;
xp=R.*cos(ang);
yp=R.*sin(ang);
plot(-L+xp,0+yp,'r');
```

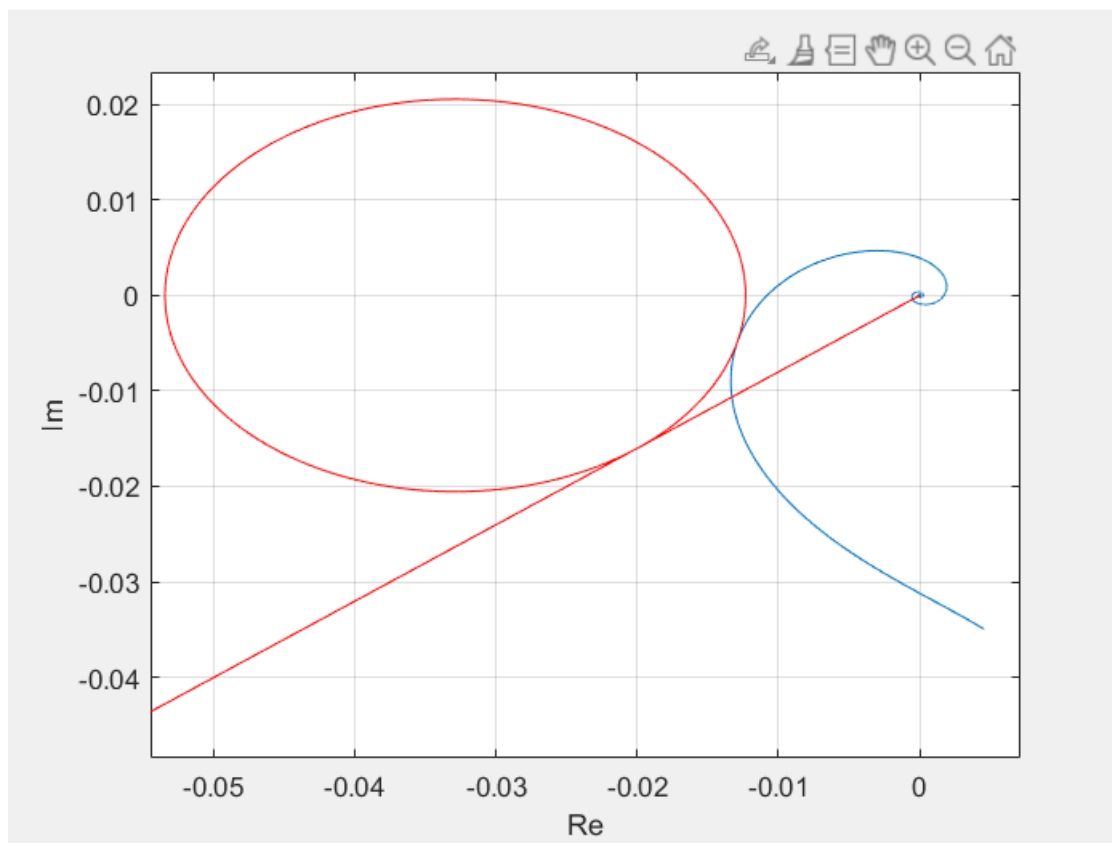


Рисунок 3.11 – АФХ системи при $T_u = 25, M = 1.6$

З даного графіку отримаємо $r = 0.02055$

3) При $T_u = 30, M = 1.6$

```
w=0.07:0.001:10;
p=1j*w;
W1=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W2=(1+1./(30.*p));
W=W1.*W2;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
grid on;
hold on;
M=1.6;
R=0.02016;
L=R.*M;
k = asin(1/M);
x = -0.1:0.1:0;
y = tan(k).*x;
plot(x,y,'r');
ylabel('Im');
xlabel('Re');
hold on;
ang=0:0.001:2*pi;
xp=R.*cos(ang);
yp=R.*sin(ang);
plot(-L+xp,0+yp,'r');
```

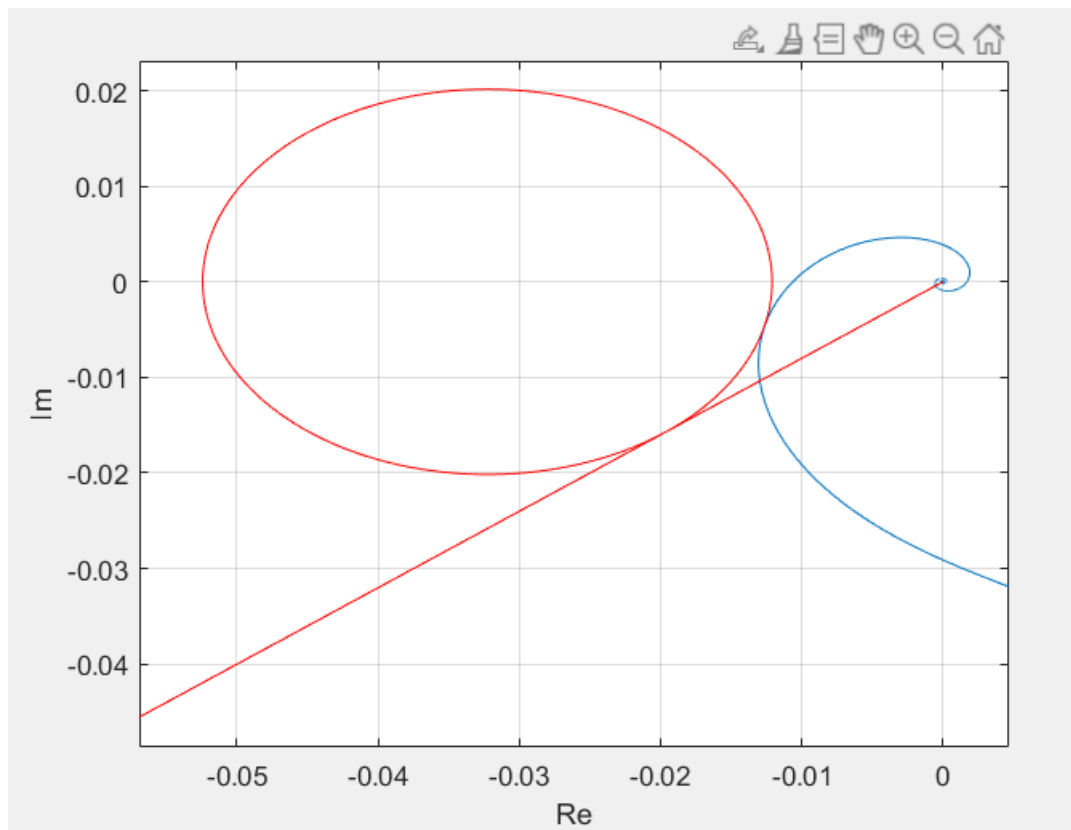


Рисунок 3.12 – АФХ системи при $T_u = 30, M = 1.6$

З даного графіку отримаємо $r = 0.02016$

4) При $T_u = 35, M = 1.6$

```
w=0.07:0.001:10;
p=1j*w;
W1=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W2=(1+1./(35.*p));
W=W1.*W2;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
grid on;
hold on;
M=1.6;
R=0.01985;
L=R.*M;
k = asin(1/M);
x = -0.1:0.1:0;
y = tan(k).*x;
plot(x,y,'r');
ylabel('Im');
xlabel('Re');
hold on;
ang=0:0.001:2*pi;
xp=R.*cos(ang);
yp=R.*sin(ang);
plot(-L+xp,0+yp, 'r');
```

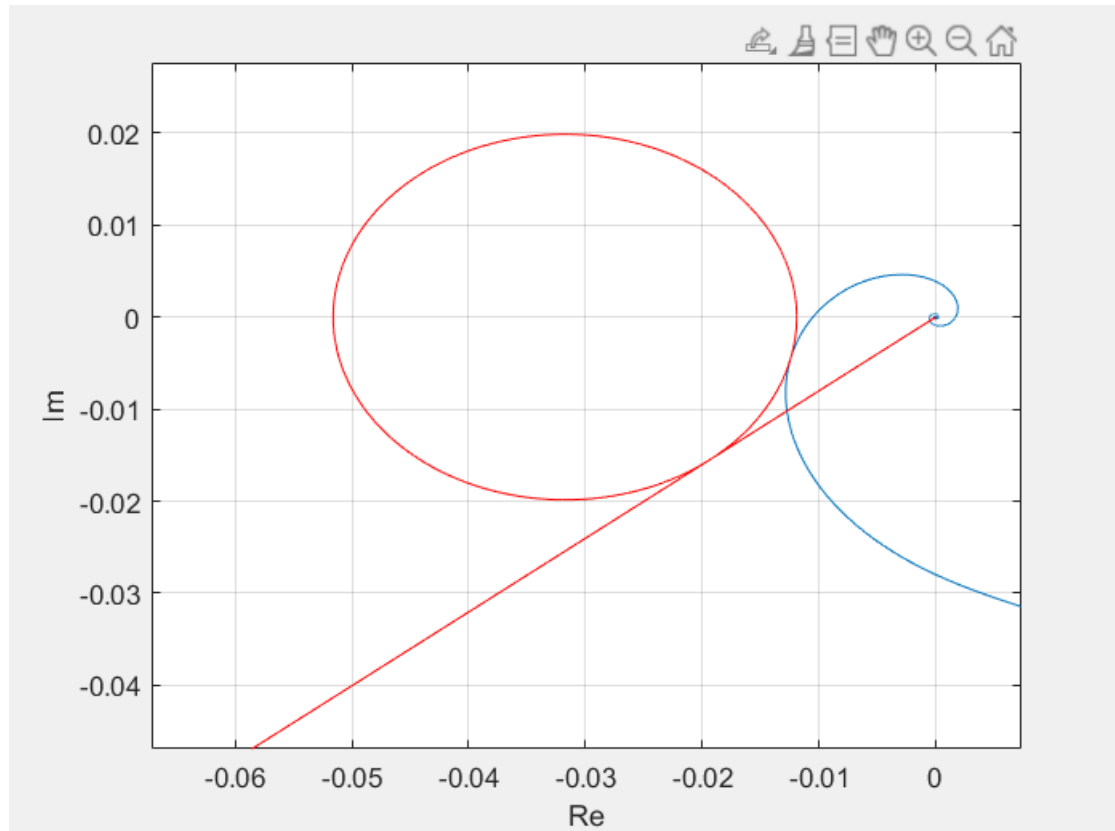



Рисунок 3.13 – АФХ системи при $T_u = 35, M = 1.6$

З даного графіку отримаємо $r = 0.01985$

5) При $T_u = 40, M = 1.6$

```
w=0.07:0.001:10;
p=1j*w;
W1=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W2=(1+1./(40.*p));
W=W1.*W2;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
grid on;
hold on;
M=1.6;
R=0.01968;
L=R.*M;
k = asin(1/M);
x = -0.1:0.1:0;
y = tan(k).*x;
plot(x,y,'r');
ylabel('Im');
xlabel('Re');
hold on;
ang=0:0.001:2*pi;
xp=R.*cos(ang);
yp=R.*sin(ang);
plot(-L+xp,0+yp,'r');
```

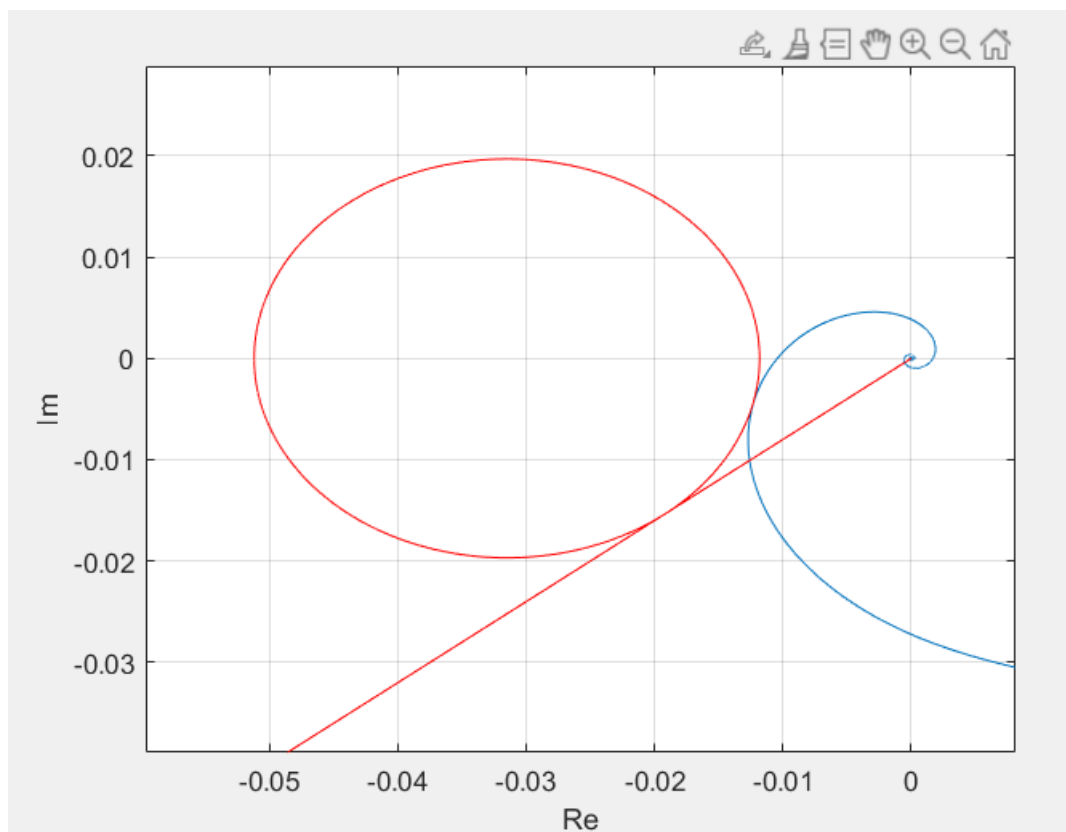


Рисунок 3.14 – АФХ системи при $T_u = 40, M = 1.6$

З даного графіка отримаємо $r = 0.01968$

Після отриманих значень радіусів можна вирахувати K_p за формулою

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1};$$

$$1) \quad T_u = 20: K_p = \frac{1}{0,02125} \cdot \frac{1,6}{1,6^2 - 1} = 48,265;$$

$$2) \quad T_u = 25: K_p = \frac{1}{0,02055} \cdot \frac{1,6}{1,6^2 - 1} = 49,91;$$

$$3) \quad T_u = 30: K_p = \frac{1}{0,02016} \cdot \frac{1,6}{1,6^2 - 1} = 50,875;$$

$$4) \quad T_u = 35: K_p = \frac{1}{0,01985} \cdot \frac{1,6}{1,6^2 - 1} = 51,669$$

$$5) \quad T_u = 40: K_p = \frac{1}{0,01968} \cdot \frac{1,6}{1,6^2 - 1} = 52,116$$

Створимо таблицю з вирахованими даними і побудуємо залежність $K_u = f(K_p)$ (Рис. 3.15), одночасно вирахуємо $K_u = \frac{K_p}{T_u}$:

Таблиця 3.2 – Параметри метода МАЧХ

K_p	K_u	T
48,265	2,413	20
49,91	1,9964	25
50,875	1,6958	30
51,669	1,4763	35
52,116	1,3029	40

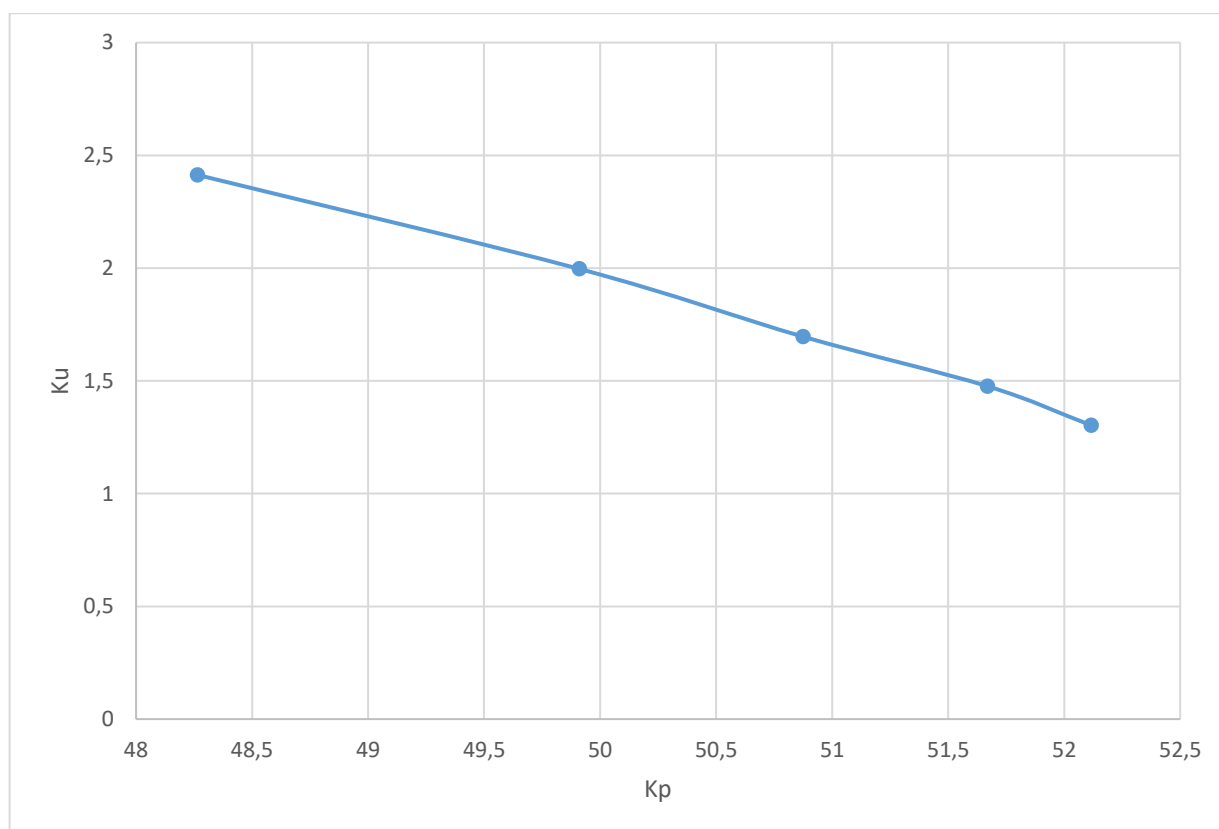


Рисунок 3.15 – Графік залежності $K_u = f(K_p)$

З рисунку 3.15 ми можемо побачити, що найбільш оптимальна пара: $T_u = 20, K_p = 48.265$, побудуємо АЧХ системи, при цих параметрах

```

w=0:0.001:1;
p=1j*w;
W1=48.265.*(1+1./(20.*p));
W2=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W=(W1.*W2)./(1+W1.*W2);
Re=real(W);
Im=imag(W);
A=sqrt(Re.^2+Im.^2);
plot(w,A);
grid on;
xlabel('w');
ylabel('A(w)');

```

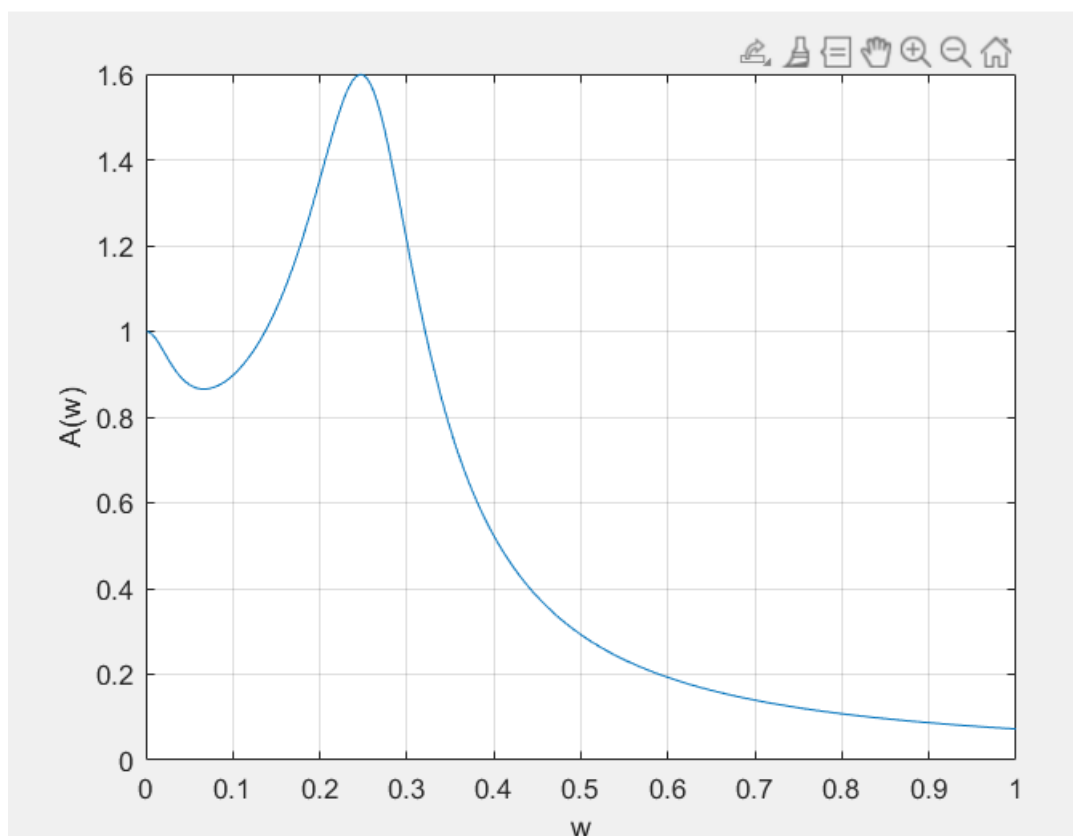


Рисунок 3.16 – АЧХ для системи з $T_u = 20$, $K_p = 48.265$

З рисунку 3.16 можна зробити висновок, що розрахунок був проведений вірно, адже заданий показник коливальності $M = 1,6$ рівний вирахованому.

В Matlab побудуємо перехідні характеристики:

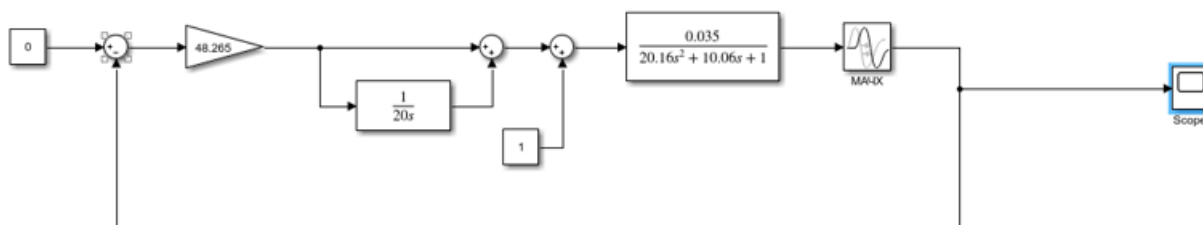


Рисунок 3.17 – Канал «збурення-вихід»

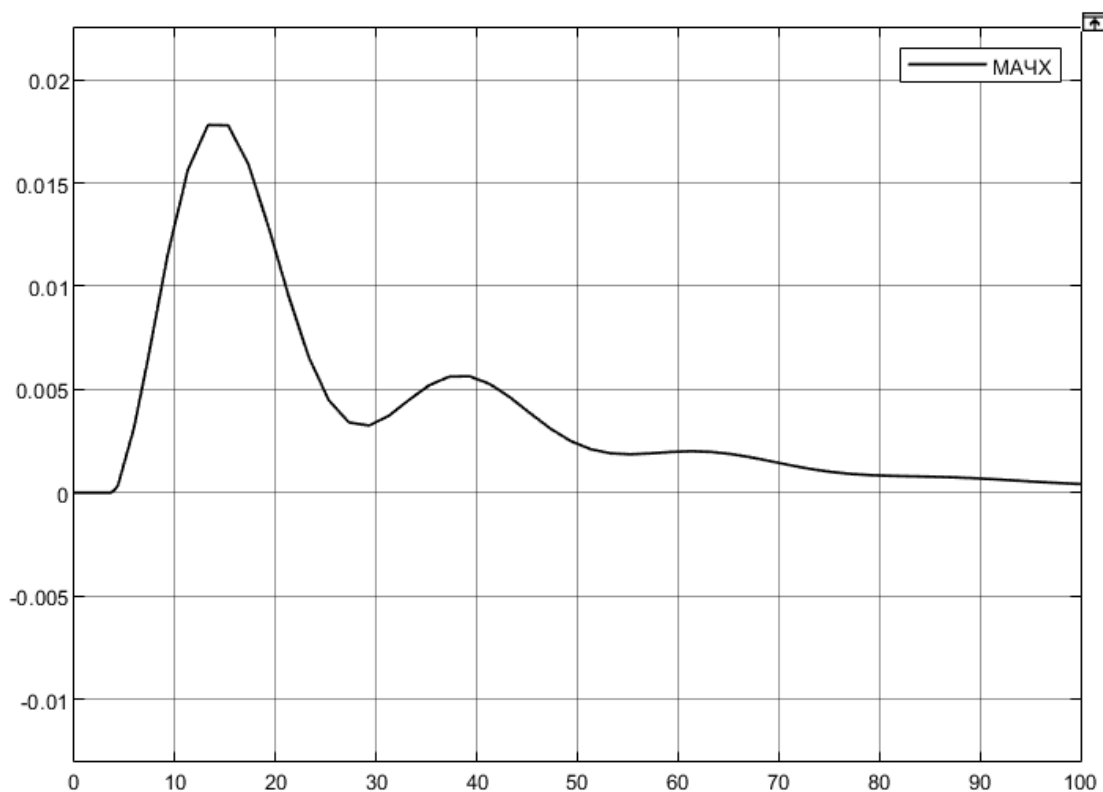


Рисунок 3.18 – Перехідний процес по каналу «збурення-вихід»

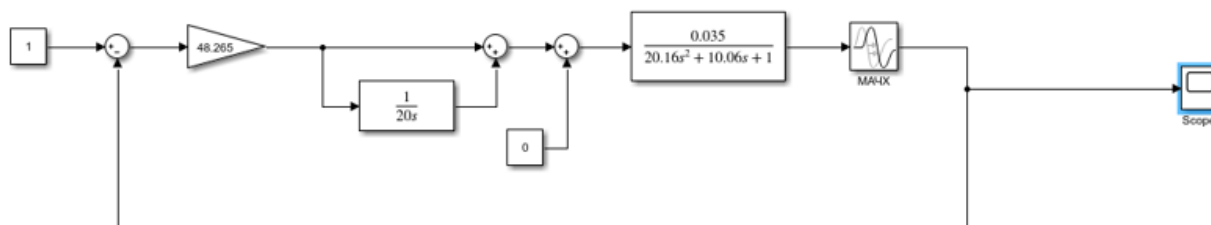


Рисунок 3.19 – Канал «завдання вихід»

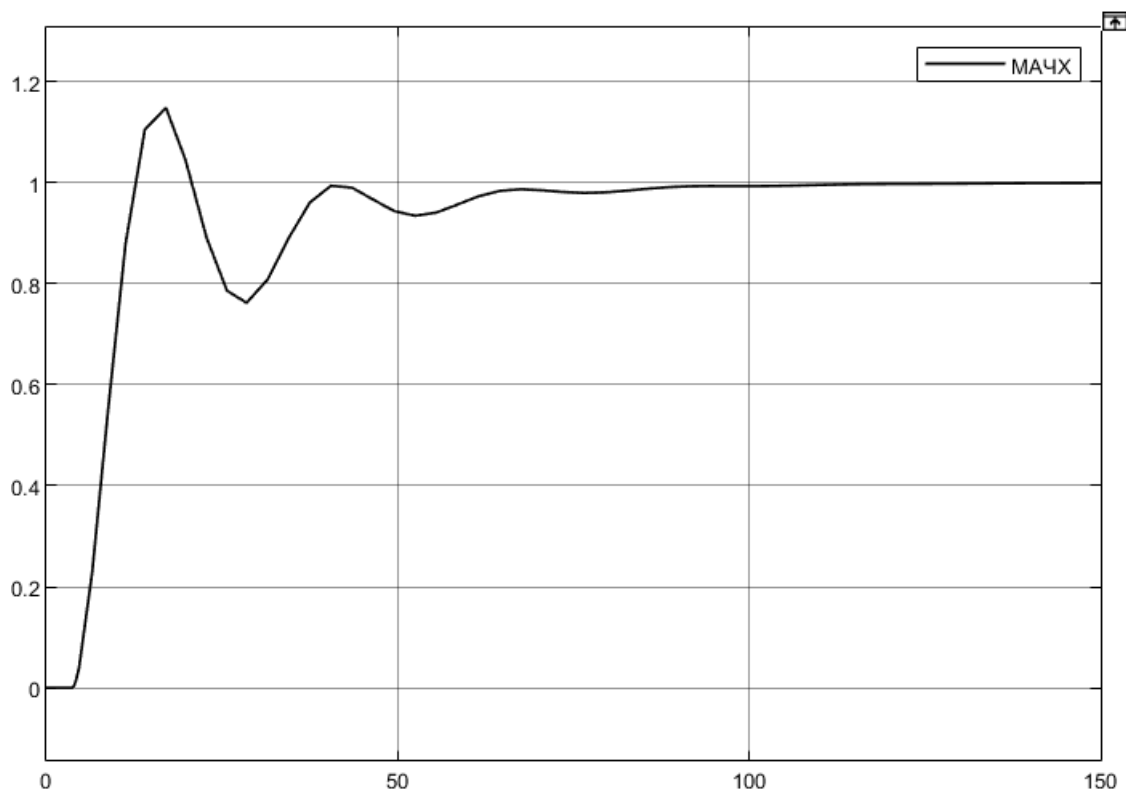


Рисунок 3.20 – Перехідна характеристика по каналу «завдання-вихід»

Таблиця 3.3 – Прямі показники якості

	Канал «Завдання - вихід»	Канал «Збурення-вихід»
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	1.147	0.0177
Показник затухання	1	0.69
Час перехідного процесу, с	57	25
Перерегулювання	-	-

Наступним кроком ми отримаємо АФХ для визначення запасу стійкості об'єкта(рисунок 3.21):

```

w=0.06:0.0001:10;
p=1j*w;
W1=48.265.*(1+1./(20.*p));
W2=(0.035.*exp(-3.7.*p))./(20.16.*p.*p+10.06.*p+1);
W=W1.*W2;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
grid on;
hold on;
t=0:0.001:2*pi;
x=cos(t);
y=sin(t);
plot(x,y);
grid on;
xlabel('Re');
ylabel('Im');

```

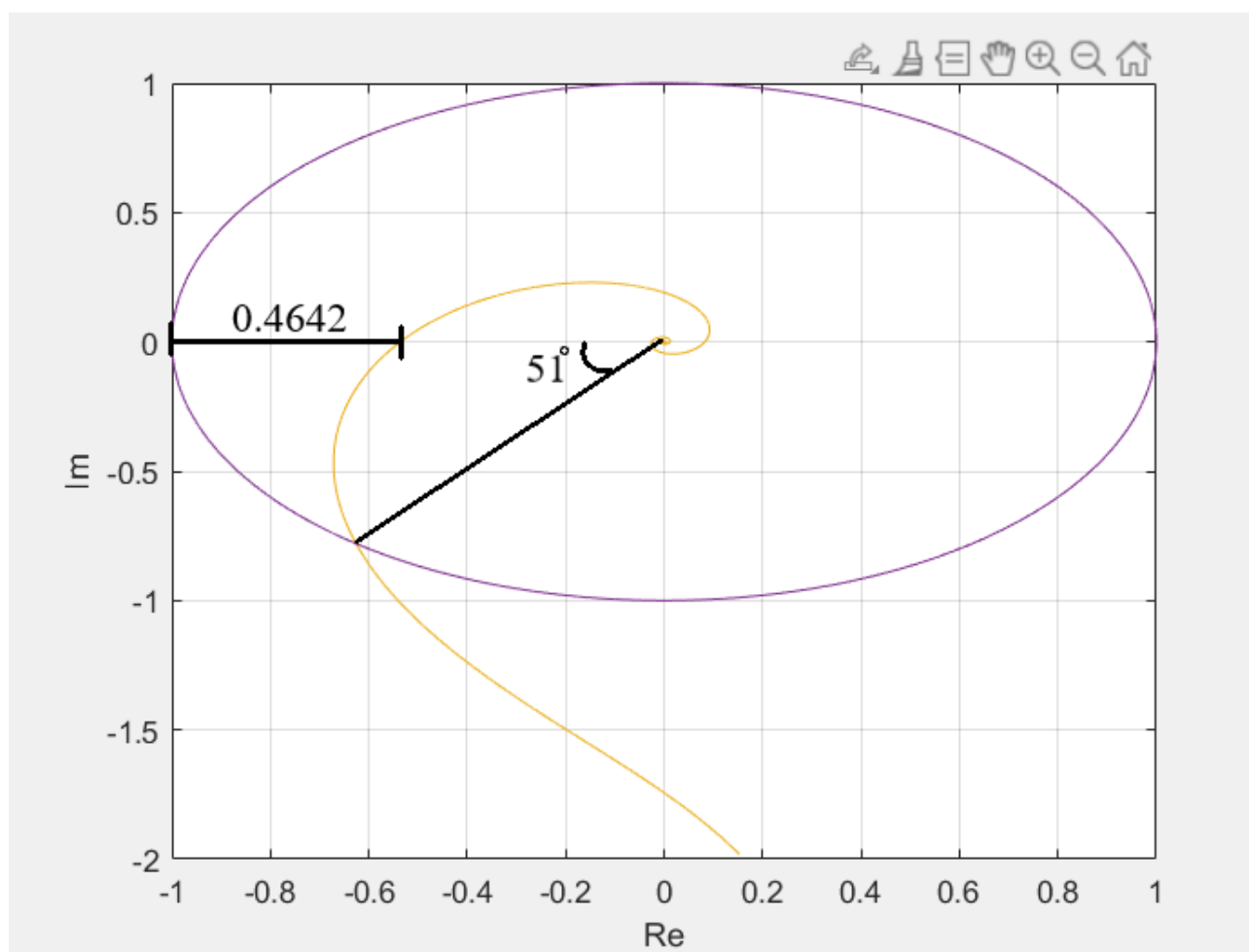


Рисунок 3.21 – АФХ

Запас стійкості по амплітуді: $M_k = 0.4642$

Запас стійкості по фазі: $M\varphi = 51^\circ$

3.1.3 Порівняння отриманих результатів

Порівняємо перехідні характеристики, в яких параметри налаштування досліджувалися двома методами: методом РАФХ та МАЧХ. Перевірятимемо канали «завдання-вихід» (Рис. 3.22) та «збурення-вихід» (Рис. 3.23):

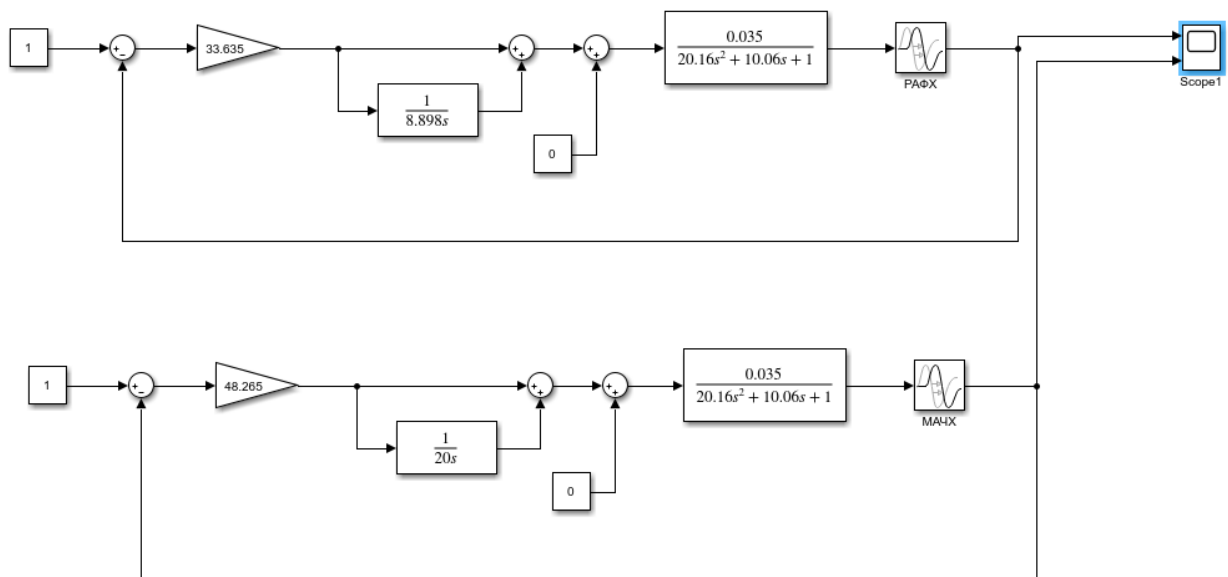


Рисунок 3.22 – Канал «завдання-вихід»

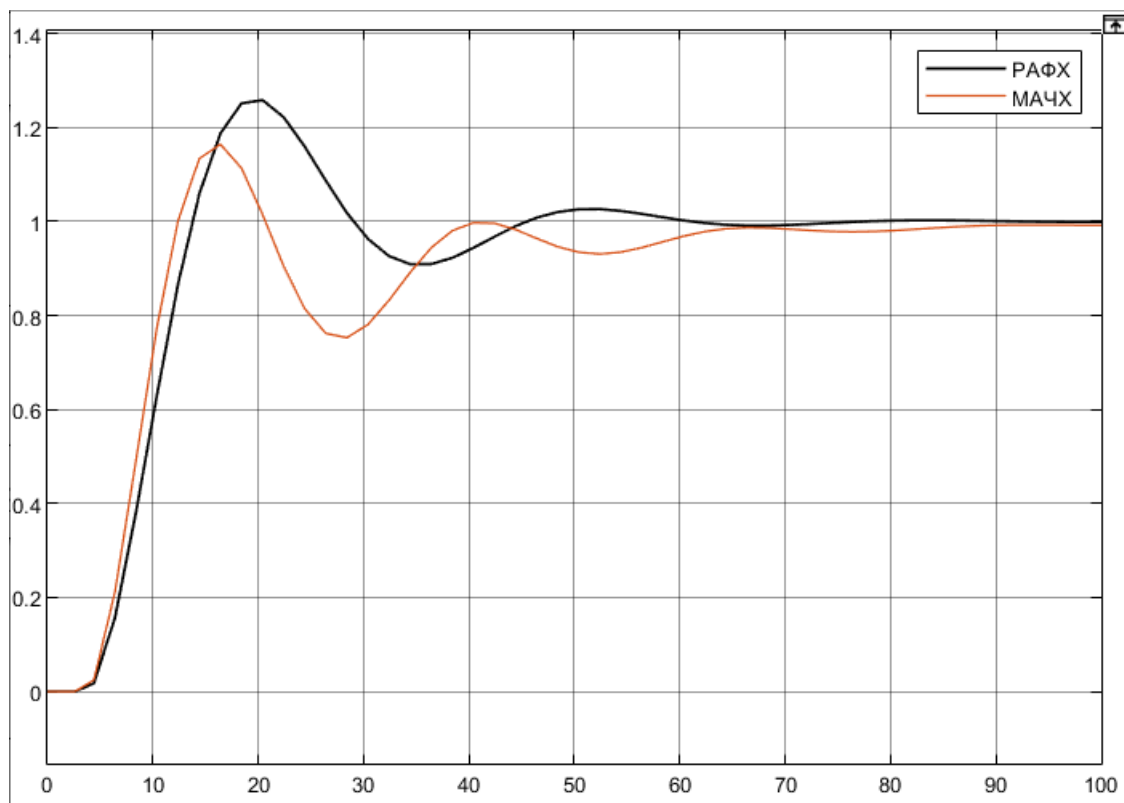


Рисунок 3.23 – Перехідна характеристика по каналу «завдання-вихід»

Таблиця 3.4 – Порівняння прямих показників по каналу «завдання-вихід»

Прямі показники якості	РАФХ	МАЧХ
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	1,25	1.147
Показник затухання	0,9	1
Час перехідного процесу, с	41	57
Перерегулювання, %	34.7	-

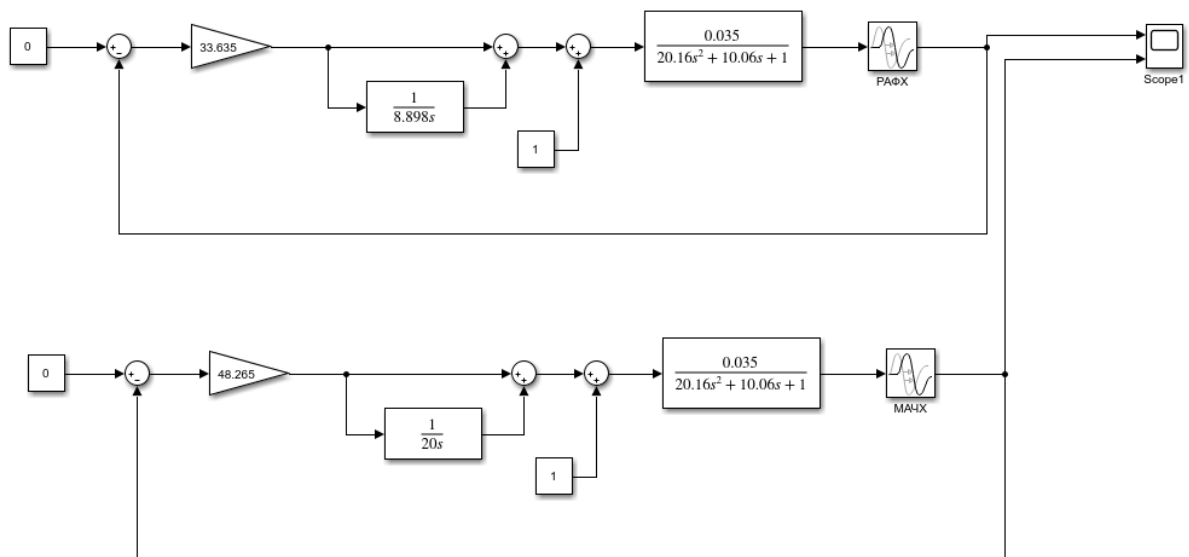


Рисунок 3.24 – Канал «збурення-вихід»

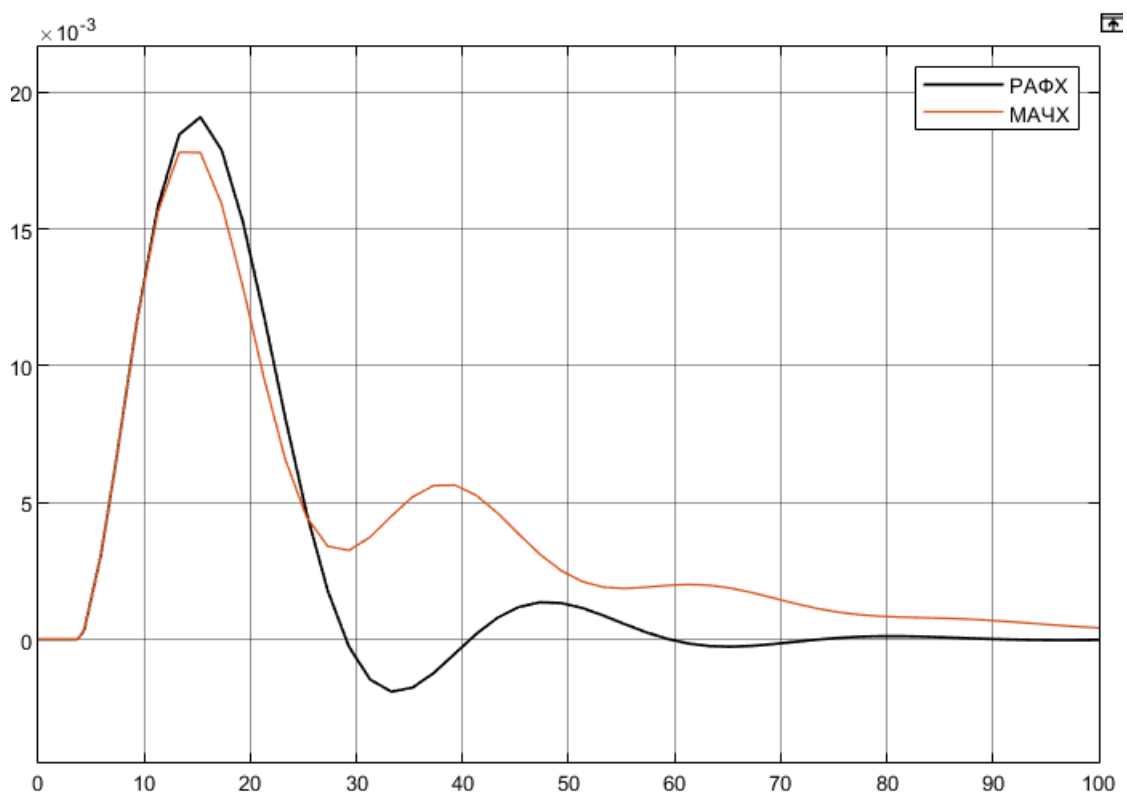


Рисунок 3.25 – Перехідна характеристика по каналу «збурення-вихід»

Таблиця 3.5 – Порівняння прямих показників по каналу «збурення-вихід»

Прямі показники якості	РАФХ	МАЧХ
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0.019	0.0177
Показник затухання	0.93	0.69
Час перехідного процесу, с	22.5	25
Перерегулювання, %	10	-

Вище наведена таблиця(Табл. 3.5), де ми можемо порівняти два методи по їх параметрам. Якщо розглядати канал «завдання-вихід», то кращим є метод МАЧХ, майже по всіх параметрах, а саме: в нього менша динамічна похибка, відсутнє перерегулювання та коливання, хоча час перехідного процесу трішки більший. По каналу «збурення-вихід» методи майже на одному рівні, РАФХ має менше коливань і час перехідного процесу, хоча має перерегулювання, хоч і не значне. В свою чергу метод МАЧХ має меншу динамічну похибку і взагалі не має перерегулювання. З огляду на вище сказане, я виберу для подальшої роботи метод МАЧХ. Отже основні параметри такі:

$$K_p = 48.265 \frac{C^\circ}{C^\circ};$$

$$T_u = 20c;$$

Далі потрібно наші параметри проваріювати в діапазоні 15%, для того щоб знайти оптимальні параметри для налаштування регулятора.[6] Отже наші параметри матимуть такий вигляд: $K_p = 41.025$, $K_p = 55.501$, $T_u = 17$, $T_u = 23$, $\tau_1 = 3.145$, $\tau_2 = 4.255$

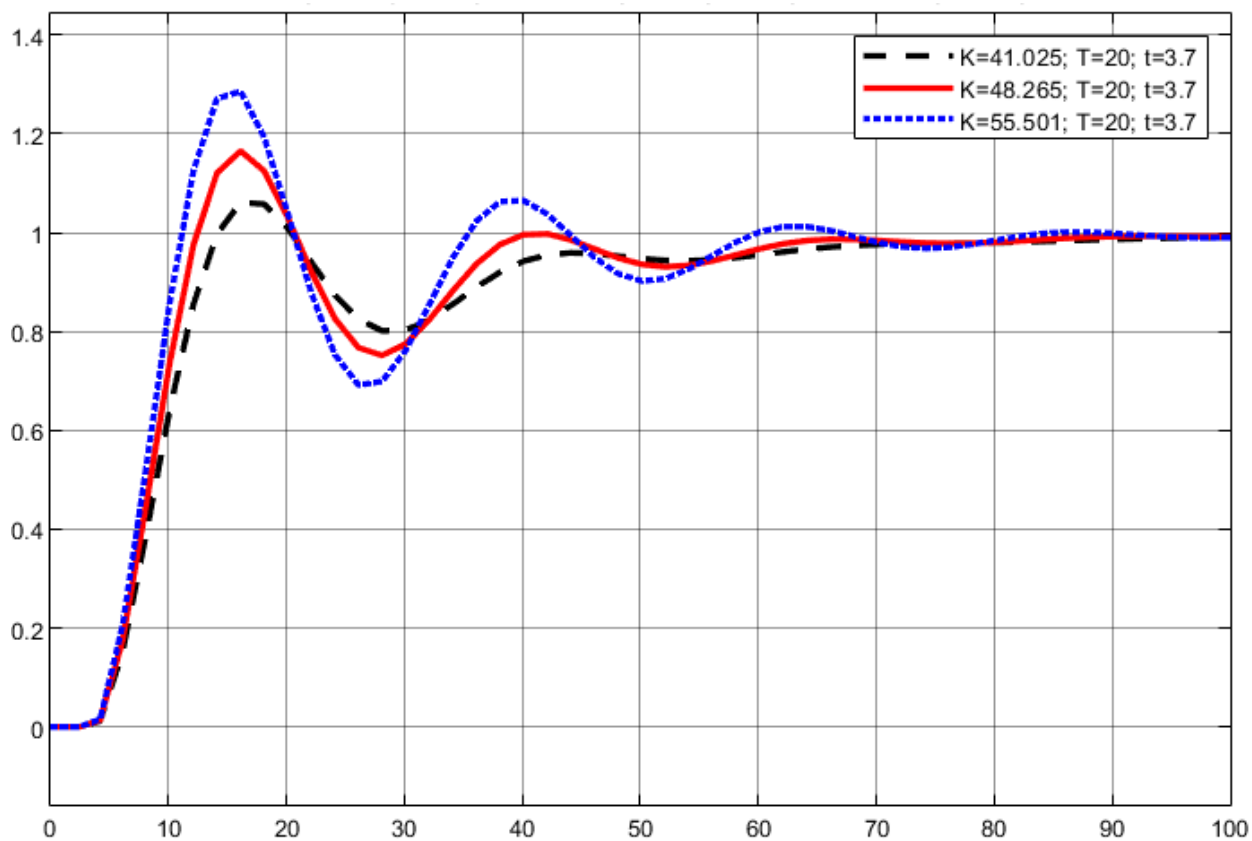


Рисунок 3.26 – Перехідна характеристика по каналу «завдання-вихід» для

$K = 41.025; K = 48.265; K = 55.501$

Таблиця 3.6 – Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

Прямі показники якості	$T = 20, \tau = 3.7$ $K = 41.025$	$T = 20, \tau = 3.7$ $K = 48.265$	$T = 20, \tau = 3.7$ $K = 55.501$
Статична похибка	0	0	0
Динамічна похибка	1.06	1.165	1.285
Показник затухання	1	1	0.77
Час перехідного процесу, с	58	57	56
Перерегулювання, %	-	-	28.5

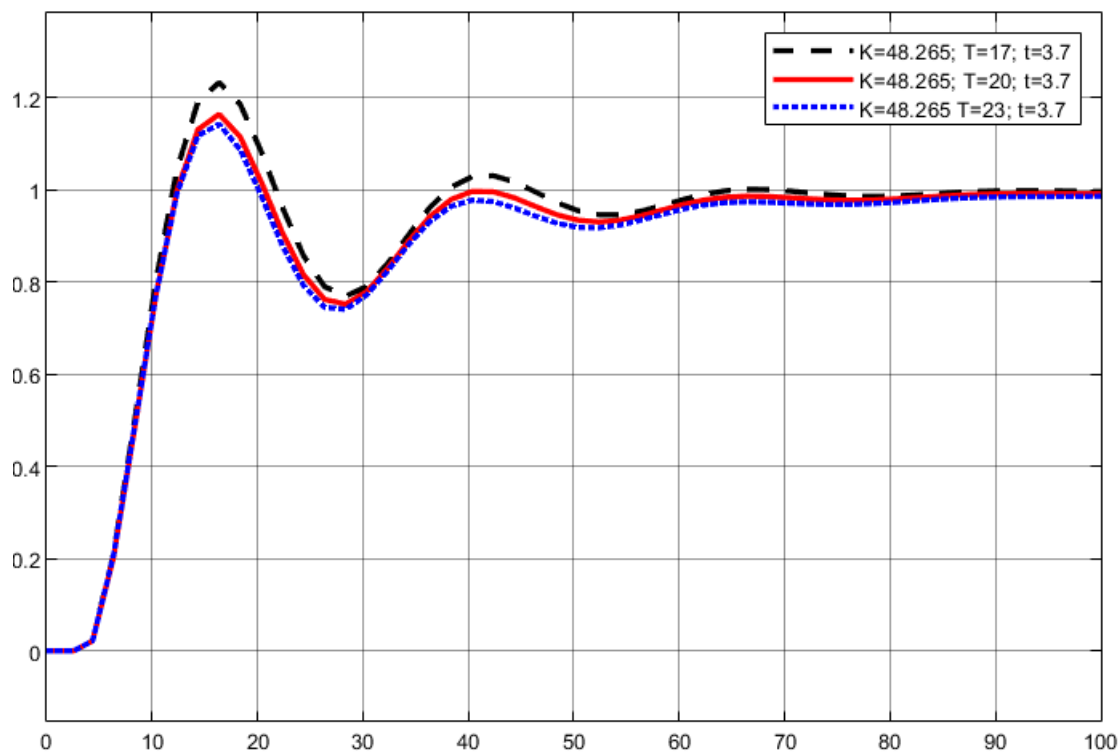


Рисунок 3.27 – Перехідна характеристика по каналу «завдання-вихід» для

$T = 17; T = 20; T = 23$

Таблиця 3.7 – Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

Прямі показники якості	$T = 17, \tau = 3.7$ $K = 48.265$	$T = 20, \tau = 3.7$ $K = 48.265$	$T = 23, \tau = 3.7$ $K = 48.265$
Статична похибка	0	0	0
Динамічна похибка	1.234	1.165	1.14
Показник згасання	0.87	1	1
Час перехідного процесу, с	56	57	59
Перерегулювання, %	23.4	-	-

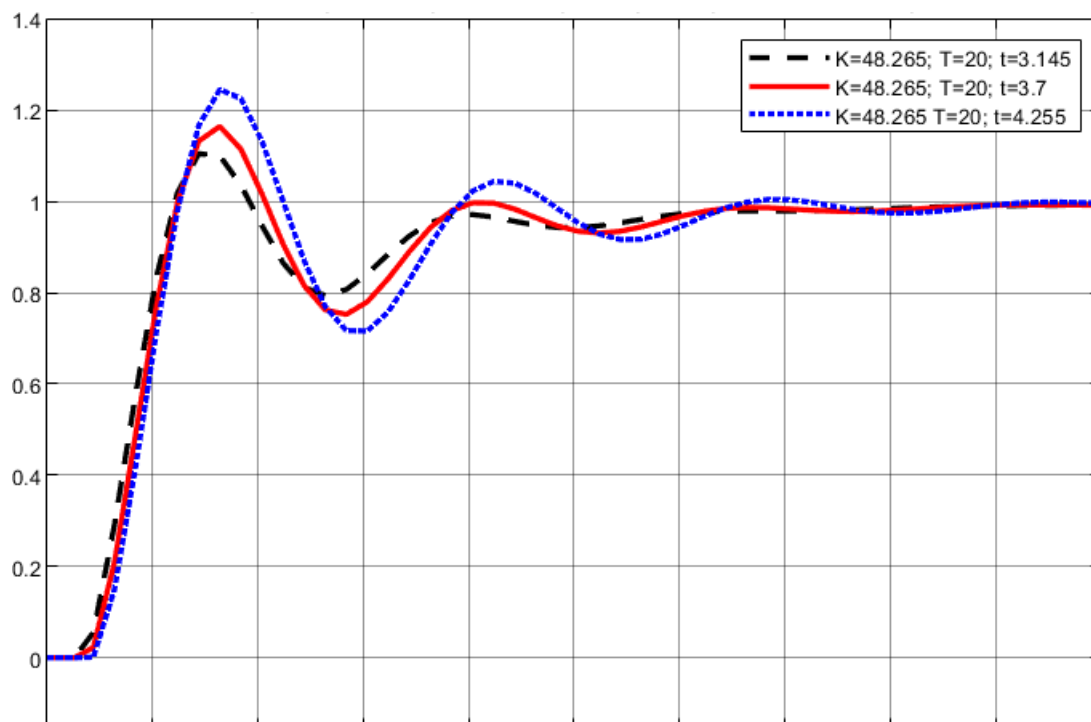


Рисунок 3.28 – Перехідна характеристика по каналу «завдання-вихід» для

$$\tau = 3.145, \tau = 3.7, \tau = 4.255$$

Таблиця 3.8 – Прямі показники якості по каналу «завдання-вихід»

Прямі показники якості	$T = 20, \tau = 3.145$ $K = 48.265$	$T = 20, \tau = 3.7$ $K = 48.265$	$T = 20, \tau = 4.255$ $K = 48.265$
Статична похибка	0	0	0
Динамічна похибка	1.1	1.165	1.245
Показник згасання	1	1	0.86
Час перехідного процесу, с	53	57	60
Перерегулювання, %	-	-	24.5

Відносні коефіцієнти чутливості будемо розраховувати за формулою:

$$k_z = \frac{\left| \frac{R - R^{opt}}{R^{opt}} \right|}{\left| \frac{Z - Z^{opt}}{Z^{opt}} \right|} \quad (3.3)$$

де k_z - відносний коефіцієнт чутливості для варійованого параметру Z для показника якості R ;

Z^{opt} - значення параметра за отриманих оптимальних параметрів налаштувань;

R^{opt} - показник якості за отриманих оптимальних параметрів налаштувань.

Варіація K :

$$k_{K_{t_{nn1}}} = \frac{\left| \frac{t_{nn1} - t_{nn}^{opt}}{t_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{K_1 - K^{opt}}{K^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{58 - 57}{57} \right|}{\left| \frac{41.025 - 48.265}{48.265} \right|} = 0.117$$

$$k_{K_{t_{nn2}}} = \frac{\left| \frac{t_{nn2} - t_{nn}^{opt}}{t_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{K_2 - K^{opt}}{K^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{56 - 57}{57} \right|}{\left| \frac{55.501 - 48.265}{48.265} \right|} = 0.117$$

$$k_{K_{\Delta_{дин1}}} = \frac{\left| \frac{\Delta_{дин1} - \Delta_{nn}^{opt}}{\Delta_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{K_1 - K^{opt}}{K^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{1.06 - 1.165}{1.165} \right|}{\left| \frac{41.025 - 48.265}{48.265} \right|} = 0.6$$

$$k_{K_{\Delta_{\text{дн}2}}} = \frac{\left| \frac{\Delta_{\text{дн}2} - \Delta_{nn}^{opt}}{\Delta_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{K_2 - K^{opt}}{K^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{1.285 - 1.165}{1.165} \right|}{\left| \frac{55.501 - 48.265}{48.265} \right|} = 0.69$$

$$k_{K_{\psi 1}} = \frac{\left| \frac{\sigma_1 - \sigma^{opt}}{\sigma^{opt}} \right|}{\left| \frac{K_1 - K^{opt}}{K^{opt}} \right|} = 0$$

$$k_{K_{\psi 2}} = \frac{\left| \frac{\sigma_2 - \sigma^{opt}}{\sigma^{opt}} \right|}{\left| \frac{K_2 - K^{opt}}{K^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{0.77 - 1}{1} \right|}{\left| \frac{55.501 - 48.265}{48.265} \right|} = 1.53$$

Варіація T :

$$k_{K_{t_{nn1}}} = \frac{\left| \frac{t_{nn1} - t_{nn}^{opt}}{t_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{T_1 - T^{opt}}{T^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{56 - 57}{57} \right|}{\left| \frac{17 - 20}{20} \right|} = 0.117$$

$$k_{K_{t_{nn1}}} = \frac{\left| \frac{t_{nn2} - t_{nn}^{opt}}{t_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{T_2 - T^{opt}}{T^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{59 - 57}{57} \right|}{\left| \frac{23 - 20}{20} \right|} = 0.234$$

$$k_{K_{\Delta_{\partial u n 1}}} = \frac{\left| \frac{\Delta_{\partial u n 1} - \Delta_{n n}^{opt}}{\Delta_{n n}^{opt}} \right|}{\left| \frac{T_1 - T^{opt}}{T^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{1.234 - 1.165}{1.165} \right|}{\left| \frac{17 - 20}{20} \right|} = 0.395$$

$$k_{K_{\Delta_{\partial u n 2}}} = \frac{\left| \frac{\Delta_{\partial u n 2} - \Delta_{n n}^{opt}}{\Delta_{n n}^{opt}} \right|}{\left| \frac{T_2 - T^{opt}}{T^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{1.14 - 1.165}{1.165} \right|}{\left| \frac{23 - 20}{20} \right|} = 0.143$$

$$k_{K_{\psi 1}} = \frac{\left| \frac{\sigma_1 - \sigma^{opt}}{\sigma^{opt}} \right|}{\left| \frac{T_1 - T^{opt}}{T^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{0.87 - 1}{1} \right|}{\left| \frac{17 - 20}{20} \right|} = 0.87$$

$$k_{K_{\psi 2}} = \frac{\left| \frac{\sigma_2 - \sigma^{opt}}{\sigma^{opt}} \right|}{\left| \frac{T_2 - T^{opt}}{T^{opt}} \right|} = 0$$

Варіація τ :

$$k_{\tau_{t_{nn1}}} = \frac{\left| \frac{t_{nn1} - t_{nn}^{opt}}{t_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{\tau_1 - \tau^{opt}}{\tau^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{53 - 57}{57} \right|}{\left| \frac{3.145 - 3.7}{3.7} \right|} = 0.47$$

$$k_{\tau_{t2}} = \frac{\left| \frac{t_{nn2} - t_{nn}^{opt}}{t_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{\tau_2 - \tau^{opt}}{\tau^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{60 - 57}{57} \right|}{\left| \frac{4.255 - 3.7}{3.7} \right|} = 0.35$$

$$k_{\tau_{\Delta_{\partial uH1}}} = \frac{\left| \frac{\Delta_{\partial uH1} - \Delta_{nn}^{opt}}{\Delta_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{\tau_1 - \tau^{opt}}{\tau^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{1.1 - 1.165}{1.165} \right|}{\left| \frac{3.145 - 3.7}{3.7} \right|} = 0.37$$

$$k_{\tau_2} = \frac{\left| \frac{\Delta_{\partial uH2} - \Delta_{nn}^{opt}}{\Delta_{nn}^{opt}} \right|}{\left| \frac{\tau_2 - \tau^{opt}}{\tau^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{1.245 - 1.165}{1.165} \right|}{\left| \frac{4.255 - 3.7}{3.7} \right|} = 0.46$$

$$k_{\tau_{\psi 1}} = \frac{\left| \frac{\sigma_1 - \sigma^{opt}}{\sigma^{opt}} \right|}{\left| \frac{\tau_1 - \tau^{opt}}{\tau^{opt}} \right|} = 0$$

$$k_{\tau_{\psi 2}} = \frac{\left| \frac{\sigma_2 - \sigma^{opt}}{\sigma^{opt}} \right|}{\left| \frac{\tau_2 - \tau^{opt}}{\tau^{opt}} \right|} = \frac{\left| \frac{0.86 - 1}{1} \right|}{\left| \frac{4.255 - 3.7}{3.7} \right|} = 0.93$$

Система чутлива до зміни параметра К, тому що $k_z > 1$.

3.2 Розрахунок вимірювальних каналів САР

Вимірювальний канал АСК температури зерносушарки:

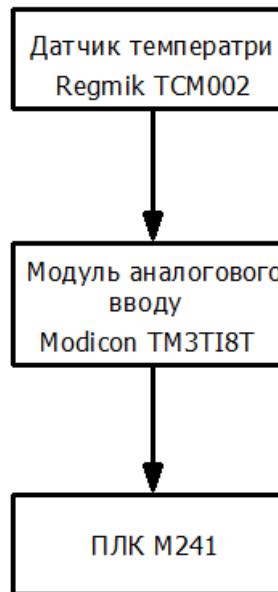


Рисунок 3.29 – Структурна схема вимірювального каналу температури в зерносушарці

Датчик температури Regmik TCM002: клас точності – 0.3; діапазон вимірювання – $(0-100) \text{ } ^\circ\text{C}$;

Модуль аналогового вводу modicon TM3TI8T: клас точності – 0.3; діапазон вимірювання – $(0-100) \text{ } ^\circ\text{C}$;

Для каналу температури в зерносушарці допустима абсолютна похибка - $1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Використовуючи формулу $\Delta = \frac{\varepsilon \cdot (X_{\max} - X_{\min})}{100\%}$ знайдемо абсолютну похибку всіх складових вимірювального каналу.

$$\text{Датчик температури: } \Delta_1 = \frac{0.3 \cdot (100 - 0)}{100\%} = 0.3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{Модуль аналогового вводу: } \Delta_2 = \frac{0.3 \cdot (100 - 0)}{100\%} = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{BK} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} = \sqrt{0.3^2 + 0.3^2} = 0.4$$

Для каналу вимірювання температури було підібрано правильно обладнання, тому що отриманий результат не більший за заданий.

3.3 Розрахунок виконавчих каналів САР

3.3.1 Вибір типорозміру регулюючого органу

Контролювання температури в елеваторній зерносушарці відбувається за допомогою подачі повітря, змішаного з теплоносієм. Повітря нагнітається вентилятором, який в свою чергу керується частотним перетворювачем. В системі використовується частотний перетворювач фірми Schneider Electric, а саме ATV312. Принцип за яким я вибрав саме цей перетворювач полягає в тому, що він повністю сумісний з контролером цієї ж фірми, а також його надійність.

3.4 Розрахунок надійності функціонування САР

3.4.1 Вимоги до надійності реалізації функцій САР

Для надійної роботи нашої системи повинні виконуватися такі умови:

- Середнє напрацювання на відмову для усіх функцій $T_{сер} > 15000$ год;
- Середній час відновлення для керуючої функції $T_{\epsilon} < 5$ год;
- Коефіцієнт готовності для захисної функції $K_{гот} > 0.998$.

3.4.2 Структурні схеми надійності

1) Інформаційна функція:

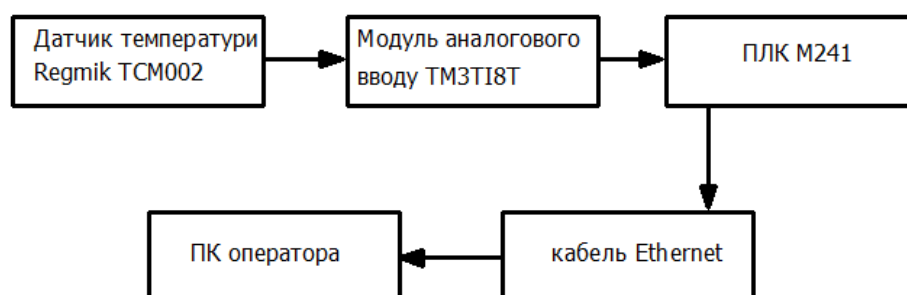


Рисунок 3.30 – Інформаційна функція

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						60
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Регулююча функція:

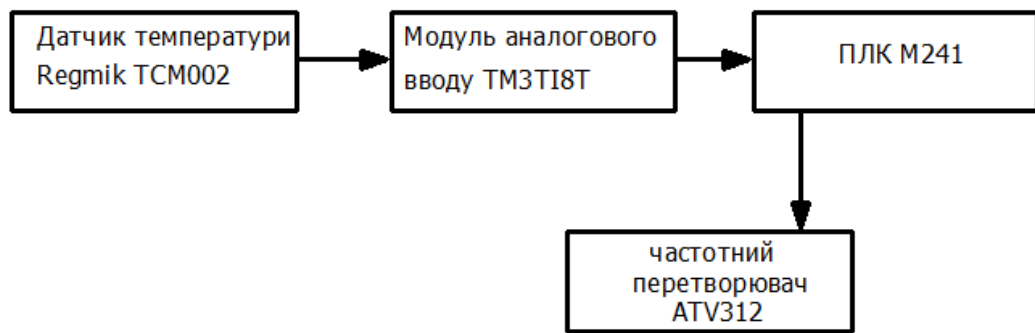


Рисунок 3.31 – Регулююча функція

3) Захисна функція:

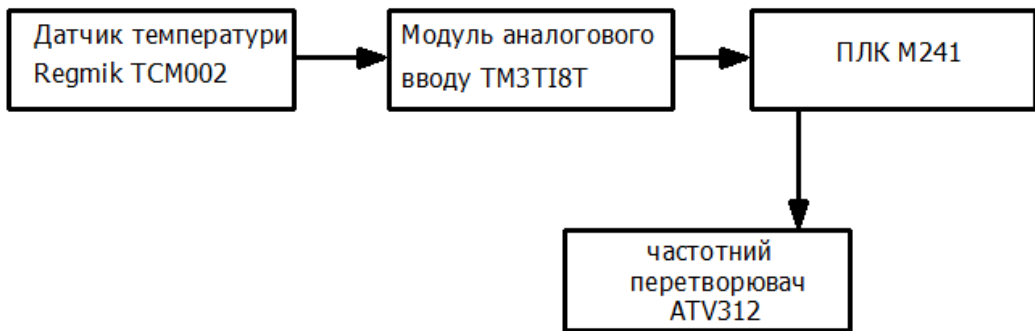


Рисунок 3.32 – Захисна функція

3.4.3 Розрахунок надійності АСК

Для розрахунку надійності АСК ми використовуємо середній час напрацювання на відмову ($T_{сер} = \frac{1}{\lambda}$, год), та інтенсивність відмов ($\lambda, \frac{1}{год}$).

Таблиця 3.7 – Надійність елементів АСК

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6} \frac{1}{год}$	$T_{сер}, год$
Датчик температури Regmik TCM002	5	200000
Модуль аналогового вводу ТМЗТІ8Т	3.5	285000
ПЛК М241	10	100000

Продовження таблиці №3.7

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$	$T_{\text{сер}}, \text{год}$
Частотний перетворювач ATV312	5	200000
Ethernet-кабель	7	140000
Станція оператора	2.5	400000

Вирахуємо інтенсивність відмов:

1) Інформаційна функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 5 + 3.5 + 10 + 7 + 2.5 = 28 * 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{год}} \right)$$

2) Регулююча функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 5 + 3.5 + 10 + 5 = 23.5 * 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{год}} \right)$$

3) Захисна функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 5 + 3.5 + 10 + 5 = 23.5 * 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{год}} \right)$$

Тепер ми можемо вирахувати середнє відпрацювання на відмову:

1) Інформаційна функція:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{28 * 10^{-6}} = 35714.2857 \text{ год}$$

2) Регулююча функція:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{23.5 * 10^{-6}} = 42553.1915$$

3) Захисна функція

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{23.5 * 10^{-6}} = 42553.1915$$

4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ АТК

4.1 Моделювання технологічного об'єкта управління

Процес моделювання відбувається в трьох основних програмних середовищах: MATLAB, Codesys та Indusoft Web Studio. Кожна програма виконує свою окрему функцію.

В MATLAB ми можемо змодельовати наш об'єкт і проводити над ним дослідження, те що ми робили в попередніх пунктах.

Codesys в нас виступає в ролі програми, для програмування контролера, там ми будемо реалізовувати ПІ-регулятор з підібраними нами параметрами.

Indusoft Web Studio є SCADA системою, де ми візуалізуємо наш об'єкт для зручнішої роботи над ним.

Для побудови моделі об'єкта використовуємо MATLAB:

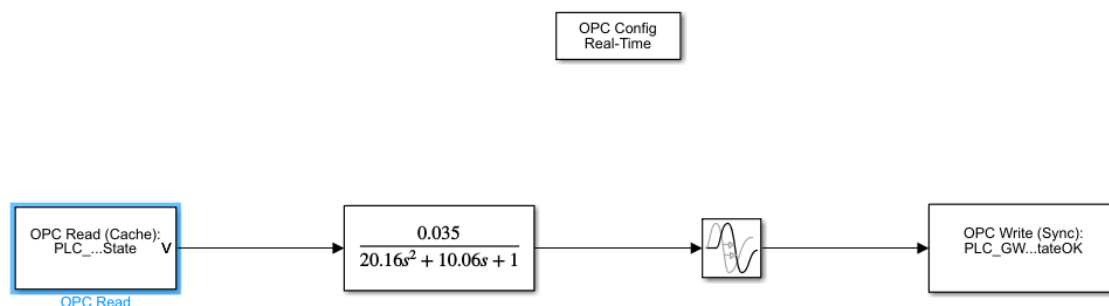


Рисунок 4.1 – Модель об'єкта в середовищі Simulink

Підключення MATLAB та Codesys відбувалося за допомогою OPC сервера. Блок OPC Read приймає змінну з виходу регулятора, який реалізований в Codesys і передає цю змінну на об'єкт. Потім блок OPC Write приймає значення з об'єкта і передає на регулятор.

Зв'язок між SCADA та Codesys відбувався також через сервер OPC.

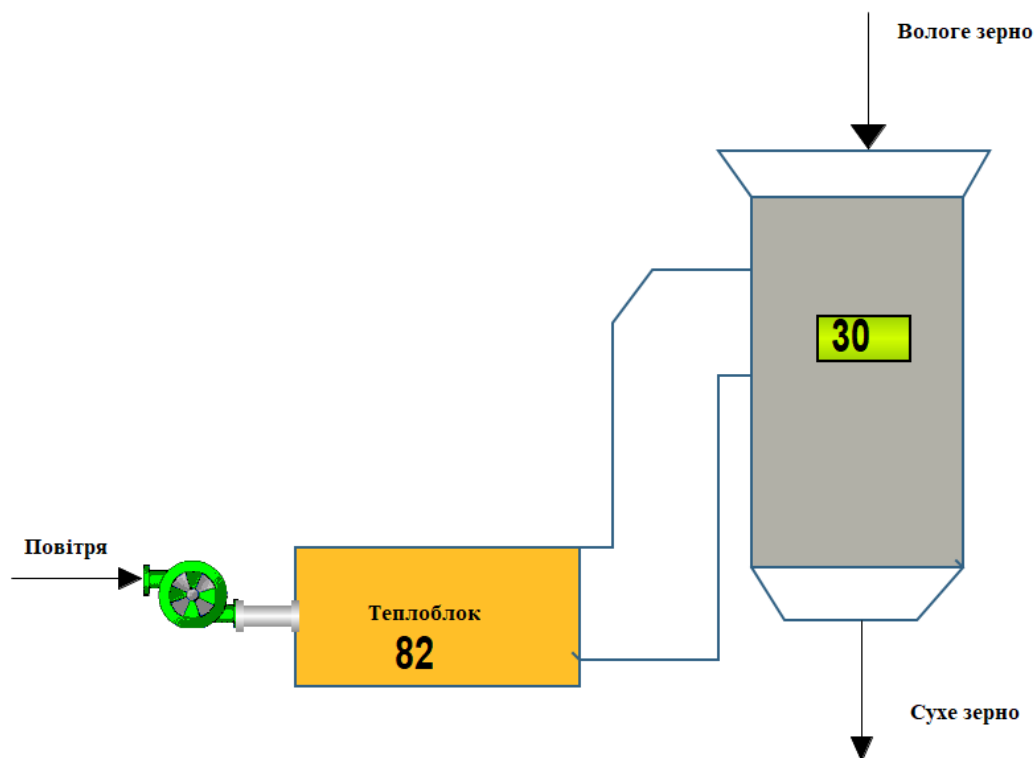


Рисунок 4.2 – SCADA зерносушарки

4.2 Програмування ПЛК

За допомогою Codesys ми запрограмували наш ПЛК. В автоматизованій системі керування елеватором використовується одноконтурна система регулювання температури в зерносушарці:

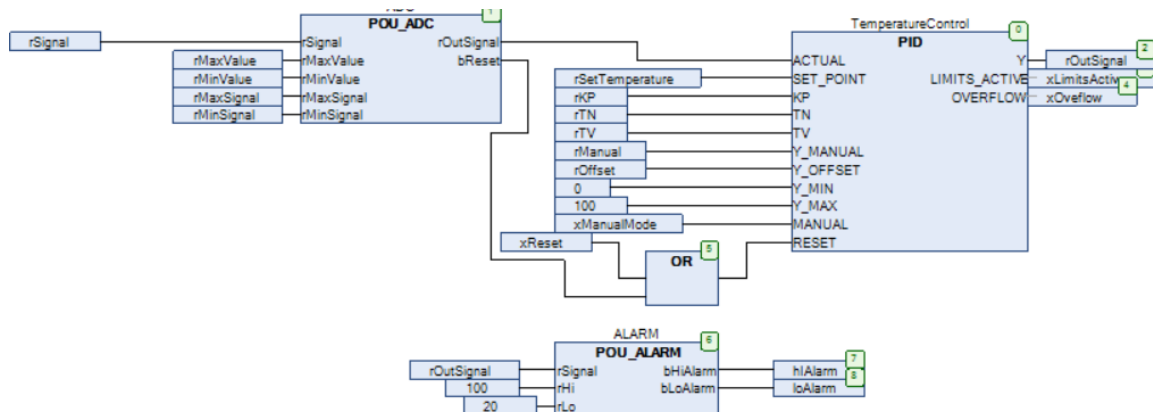


Рисунок 4.3 – Код програми

Сигнал від датчика проходить на аналого-цифровий перетворювач, де він перетворюється на вимірне значення датчика і поступає на ПІД-регулятор. Блок POU_ALARM ми перевіряємо чи наше значення з датчика входить у встановлені межі. Потім, після ПІД-регулятор сигнал подається в Matlab до об'єкту.

Розглянемо блок, де реалізований аналого-цифровий перетворювач:

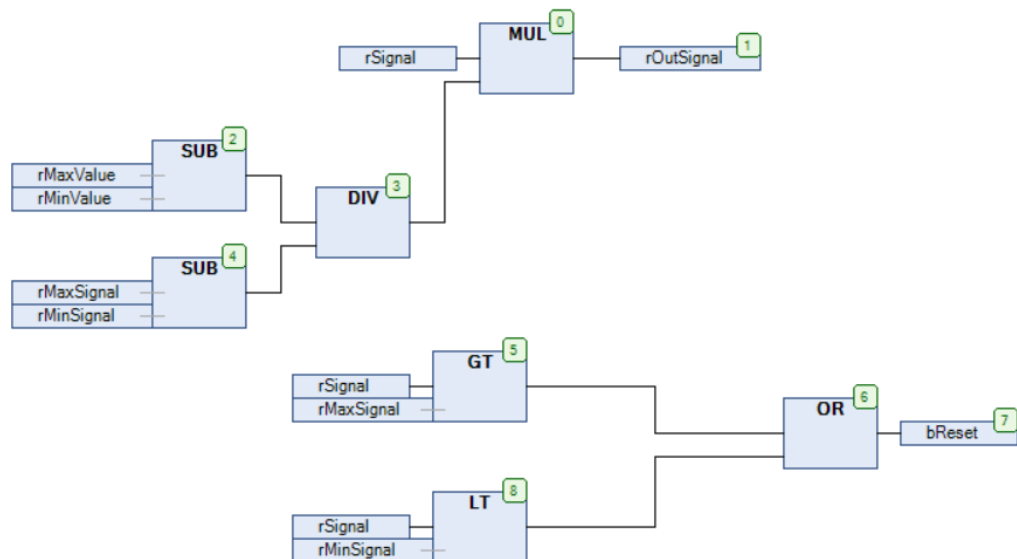


Рисунок 4.4 – Код програми блоку АЦП

Для перетворення аналогового сигналу в цифровий ми шукаємо різницю значень датчика, потім різницю значень сигналів датчика і їхнє співвідношення. Якщо наш сигнал не входить в діапазон заданих значень, то ПІД-регулятор перезавантажується.

Розглянемо блок де реалізована сигналізація:

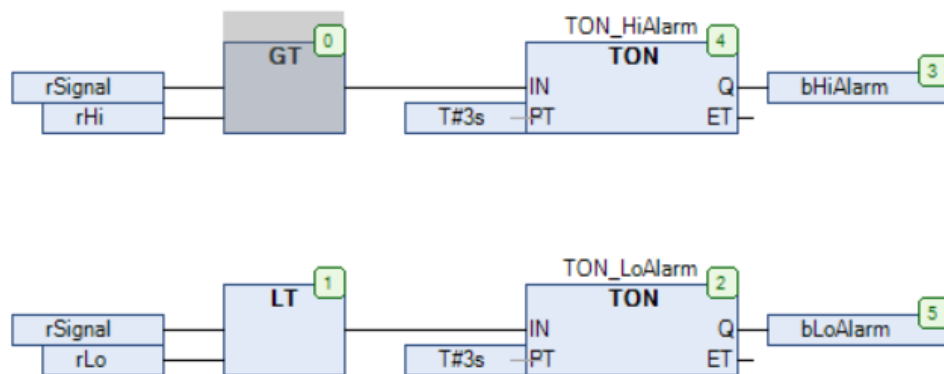


Рис. 4.5 – Блок сигналізації

При перевищенні верхнього або нижнього межі значення, спрацьовує сигналізація після 3с.

4.3 Розробка людино-машинного інтерфейсу

В програмному середовищі Indusoft Web Studio я створював SCADA-систему.

В першу я зробив вікно «меню», для того, щоб було зручно переходити з одного вікна до іншого. Також кнопкою Accounts відбувається вхід в систему.

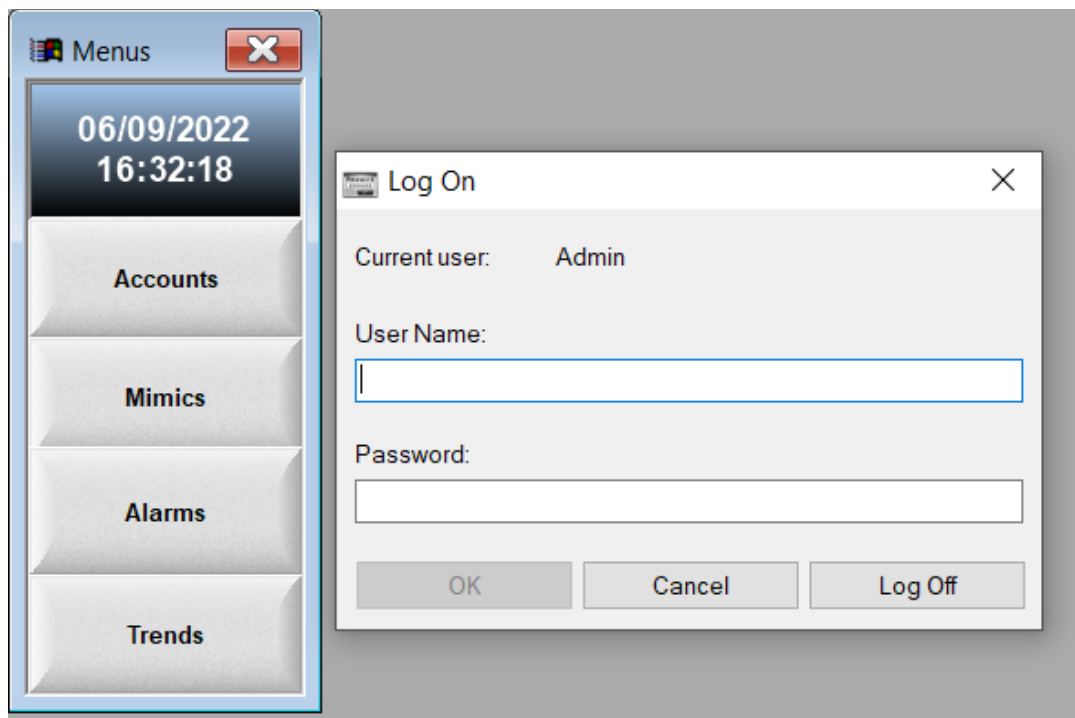


Рис. 4.6 – Вікно «Menu»

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально економічних, організаційно-технічних засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Тема дипломного проєкту - «АСК елеватора». Ця система призначена для підготовки зерна до довготривалого зберігання.

Номінальні значення основних параметрів:

- Температура зерносушарки - 100°C ;
- Температура теплоблока зерносушарки – 500°C ;
- Тиск повітря на вентиляторі зерносушарки – $0,5\text{ кПа}$

АСК елеватора виконана на основі контролера Modicon TM241. АСК складається з: термометрів опору, перетворювачів диференціального тиску, датчиків обертів, датчиків рівня, датчиків вологості. Виконавча частина складається з частотних перетворювачів ALTIVAR 312 і виконавчих механізмів.

Технічні засоби системи автоматизації розміщуються на технологічному обладнанні та біля нього – засоби відбору та отримання технологічної інформації, нормуючі перетворювачі, виконавчі механізми, місцеві органи керування; в приміщенні пункту комплексу для оператор – засоби відображення інформації та оперативного керування, засоби мікропроцесорної та обчислювальної техніки.

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації засобів автоматизації, технологічного обладнання та засобів обчислювальної техніки

Оператор знаходить в окремому приміщенні з пультом керування. Ця кімната вміщує в собі щити та пульти керування для контролю і спостереження

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						68
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

за технологічним процесом. Для того, щоб оператору було зручно керувати процесом потрібно раціонально розмістити щити і пульти.

Щоб оператор не виснажувався протягом робочого дня, тому що робота досить монотонна, встановлюється позмінний графік з протяжністю робочого дня в 8 годин.

Для того, щоб оператора під час роботи нічого не відволікало потрібно правильно встановлювати органи керування, такі як кнопки та перемикачі. Стіни повинні бути закрашені в неяскравий колір, щоб увагу оператора нічого не відволікало. Підлога повинна бути рівно. Також висота приміщення – 3,5 м.

Якщо в приміщенні будуть розташовані сходи, то вони повинні бути облаштовані поручнями, висота яких - не менше 1м. Навколо таких агрегатів, як зерносушарка, сепаратора встановлені майданчики для обслуговування.

Всі органи керування нашою системою забезпечені електричними приводами, а всі двигуни частотними перетворювачами, які встановлені безпосередньо біля двигунів.

Для уникнення будь-яких видів опіків у працівників, всі гарячі частини устаткування обладнані тепловою ізоляцією. Матеріал цієї ізоляції повинен стримувати температуру так, щоб на її поверхні було не більше 40 С° .

5.1.1 Електробезпека

Основні нормативні документи, за якими регламентується вимога з електробезпеки у виробничих приміщеннях це – ПУЕ-2017, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01097, НПАОП-40.1-1.32-01.

Для того, щоб уникнути ураження працівника струмом потрібно, щоб всі електронні прилади мали такі види захисту:

- ізолювання струмопровідних частин;
- встановлення знаків попередження;
- правильне встановлення струмопровідних частин;

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						69
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановлення захисних огорож;
- ізолювання робочого місця;

Операторське приміщення повинно бути добре провітреним і відносно сухим, вологість не більше 60%.

В нашій системі використовується 3-х фазна електромережа змінного струму із заземленою нейтраллю. Напруга – 220/380В і частотою 50 Гц.

Живлення датчиків, приводів, контролера та його модулів відбувається за допомогою блока живлення 24 В, на який поступає постійна фазна напруга 220В частотою 50 Гц через пакетний силовий вимикач. Напруга 24 В підводиться до рейки клемних затискачів і через неї розподіляється на прилади. Для уникнення ураження людей струмом рейка закрита кришкою.

Щоб уникнути будь-яких пошкоджень персоналу всі елементи електроприладів виконані відповідно до вимог з електробезпеки, мають відповідне ізоляційне покриття.

Висновок: вимоги техніки безпеки в приміщенні оператора відповідають діючим нормам.

5.2 Вимоги гігієни праці та виробничої санітарії при використанні засобів обчислювальної техніки

Для правильно організації робочого місця слід дотримувати відповідних стандартів:

- ДСТУ ISO 9241-3-2001 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 3. Вимоги до відеотерміналів (ISO 9241-3:1992, IDT)
- 6ДСТУ ISO 9241-6-2004 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 5. Вимоги до компонування робочого місця та до робочої пози.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						70
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 6ДСТУ ISO 9241-6-2004 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 6. Вимоги до робочого середовища.
- ДСТУ ISO 9241-7-2004 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 7. Вимоги до дисплеїв з відбитками.

5.2.1 Мікроклімат робочої зони

Для комфортного перебування персоналу на робочих місцях повинні бути нормовані такі параметри мікроклімату: температура, відносна вологість та швидкість руху повітря повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», затверджених Міністерством охорони здоров'я та ДСанПіН 3.3.2.007-98

Оптимальні значення параметрів мікроклімату:

Таблиця 5.1– Оптимальні норми мікроклімату для приміщень

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		оптимальна	оптимальна	оптимальна
Холодна	легка-1а	21-23	45-60	0.1
	легка-1б	21-23	45-60	0.1
Тепла	легка-1а	22-24	45-60	0.1
	легка-1б	23-24	45-60	0.2

Для забезпечення відповідних параметрів приміщення повинні бути обладнані системами кондиціонування повітря, опалення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Повітря в приміщеннях повинно відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»

5.2.3 Виробниче освітлення

Приміщення, де працює персонал повинне мати природне і штучне освітлення відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Штучне освітлення повинно бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Рівень освітленості на робочому столі має бути в межах 300-500 лк.

5.2.4 Виробничий шум

Так як основне джерело шуму знаходиться поза межами приміщення оператора, то достатньо для зменшення шуму стіни виробничого цеху покрити керамічною плиткою, що поглинає звук. А в самих робочих приміщеннях зниження шуму здійснюється за допомогою використання на джерелах шуму звукобійними, звукоізолюючими матеріалами.

5.3 Пожежна безпека та профілактика

Приміщення підприємства повинні мати не нижче II ступеня вогнестійкості. За вибухопожежною небезпекою приміщення операторської згідно з ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 має категорію В, а робочі зони приміщення за пожежонебезпекою відносяться, згідно з НПАОП 40.1-1.32-01, до класу П-Па.

Основними небезпечними джерелами загоряння в приміщенні можуть бути: коротке замикання, несправність електроприладів, дії самого персоналу.

Для забезпечення запобігання пожежі слід прийняти наступні заходи:

- Проводити контроль справності електроприладів;
- Всі проводи знаходять у захисних трубах, прокладе в підлозі і стінах;

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						72
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Застосування плавких запобіжників для захисту від короткого замикання;

Про загрозу пожежі персонал повинен повідомлятися за допомогою пожежними сповіщувачами. Відстань між сповіщувачами не повинна бути більшою 9м, а відстань до стіни не повинна бути більшою 4,5 м.

Всі приміщення повинні бути облаштованими переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку 2 шт. на кошні 20 м².

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						73
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АСК

Система автоматизації елеватора досить дорога, тому що включає в себе багато різноманітних датчиків з електроприводами і комплектуючими до них, тому така система буде вважатися доцільною, якщо буде виконуватися нерівність $T_{ok} \leq T_{ok}^*$.

Щоб ми могли порахувати суму, яку доведеться потрати на впровадження автоматизації, припустимо, що $T_{ok}^* = 2$ років.

В табл. 6.1 було проведено розрахунки і ми дізналися повну вартість всього обладнання, $B_{об} = 675791$ грн. Але це сума без врахування роботи програмістів, проектувальників та монтажників.

Тому припустимо, що за роботу програмістів та проектувальників ми заплатимо: $B_{пр} = 45000$ грн.

На монтажні роботи витрачаємо 15% від вартості обладнання:
 $B_{м} = 675791 \cdot 0.15 = 101368$ грн.

А затрати на пуско-налагоджувальні роботи коштуватиме:
 $B_{пн} = 675791 \cdot 0.1 = 67579$ грн.

Тепер знаючи всі витрати, ми можемо порахувати загальну суму:
 $\Sigma K_{авт} = B_{об} + B_{пр} + B_{м} + B_{пн} = 675791 + 45000 + 101368 + 67579 = 889738$ грн

Впровадження АСК на об'єкт призводить до економії витрат, а знайти цю економію ми можемо скориставшись формалою:

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{авт} \quad (6.1)$$

Якщо розглядати впровадження АСК саме в елеватор, то якість регулювання процесами покращиться, що призведе до зменшення витрат на електроенергію.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						74
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Припустимо, що $E_k = 5.000.000$ грн

Для розрахунку витрат на електроенергію та обслуговування об'єкту скористаємося формулою: $\Delta B_{авт} = B_e + B_a + B_p + B_z$

$$B_e = C_e \cdot T \cdot N = 1.68 \cdot 8000 \cdot 250 = 3360000 \text{ грн} - \text{річна вартість електроенергії};$$

C_e – тариф з НДС, при споживанні вище 100 кВт/год

T – час роботи за рік, год;

N – потужність приладів, кВт/год

Тепер порахуємо суму на інші види затрат (реновація, ремонт та зарплата):

$$B_a = 0.05 \cdot \sum K_{авт} = 0.05 \cdot 889738 = 44487 \text{ грн}$$

$$B_p = 0.1 \cdot \sum K_{авт} = 0.1 \cdot 889738 = 88974$$

$$B_z = B_{zn} \cdot T \cdot n = 15000 \cdot 12 \cdot 3 = 540000 \text{ (грн/рік)}$$

Знайдемо загальну суму:

$$\sum B_{авт} = B_e + B_a + B_p + B_z = 3360000 + 44487 + 88974 + 540000 = 4033461 \text{ (грн/рік)}$$

Отже наша економія буде дорівнювати:

$$\Delta U = E_k - \sum B_{авт} = 5000000 - 4033461 = 966539 \text{ (грн/рік)}$$

Також можемо порахувати час, за який наша система окупиться:

$$T_{ок} = \frac{\sum K_{авт}}{\Delta U} = \frac{889738}{966539} = 11 \text{ місяців і 4 дня.}$$

$T_{ок} \leq T_{ок}^*$, отже впровадження автоматизації є досить вигідним.

Таблиця 6.1 – Вартість обладнання для АСК

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	К-сть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4	5	6
1	ПЛК modicon M241	шт.	1	16238	16238
2	Модуль аналогового виводу Modicon TM3AQ4G	шт.	2	4074	8148
3	Модуль аналогового вводу Modicon TM3AI8	шт.	2	7266	14532
4	Модуль аналогового вводу Modicon TM3AI4G	шт.	1	5922	5922
5	Модуль аналогового виводу Modicon TM3AQ2	шт.	1	5460	5460
6	Модуль аналогового вводу Modicon TM3TI8T	шт.	1	7728	7728
7	Модуль дискретного вводу Modicon TM3DI16	шт.	1	5040	5040
8	Модуль дискретного виводу Modicon TM3DQ8R	шт.	1	4074	4074

Продовження таблиці 6.1

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	К-сть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
9	Блок живлення ABLM1A24025	шт.	1	3938	3938
10	Ємнісний сигналізатор рівня ECAS 301	шт.	7	11194	78358
11	Датчик рівня IFM O1D100	шт.	2	12524	25048
12	Датчик вологості DOL 104	шт.	3	6548	19644
13	Перетворювач диф. тиску WIKA A2G-50	шт.	4	8072	32288
14	Датчик температури Regmik ТСП002	шт.	1	820	820
15	Датчик температури Regmik ТСМ002	шт.	7	720	5040
16	Датчик температури Regmik 301	шт.	1	430	430
17	Датчик обертів двигуна TY395	шт.	7	420	2940
18	Частотний перетворювач ALTIVAR 312 3кВт	шт.	6	20809	124854
19	Частотний перетворювач ALTIVAR 312 1.5 кВт	шт.	1	15659	15659

Продовження таблиці 6.1

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	К-сть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
20	Електричний привід MF40-24M	шт.	2	17900	35800
21	Електричний привід MF20-24F	шт.	6	9086	54516
22	Силовий автоматичний вимикач HNB125H	шт.	8	6260	50080
23	Вимикач автоматичний C60N 3P 10A	шт.	8	460	1380
24	Реле автоматичне RPM11BD	шт.	13	178	2314
25	Монтажна рейка	м	5	60	300
26	Перфокороб 30мм	м	8	62	496
27	Шкаф металевий підвісний 1400*100*400	шт.	1	11500	11500
28	Кабель ВВГ 3х1.5	м	25	20	500
29	Кабель КВВГ 4х0.75	м	800	10	8000
30	Кабель КВВГ 7х0.75	м	880	15	13200
31	Кабель КВВГЕ 7х0.75	м	500	16	8000
32	Кабель ВВГЕ 3х1.5	м	300	20	6000
33	Кабель ВВГЕ 3х3.35	м	100	300	30000
34	Гофротруба ДКС91963	м	800	34	27200
35	Гофротруба ДКС91916	м	3400	5	17000
36	Клема силова 1.5mm	шт.	28	80	2240
37	Клема прохідна 24В	шт.	246	35	8610

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						78
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Кінець таблиці 6.1

№ п/п	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	К-сть	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
38	Маркувальний окінцьовувач РА-02	пачка	25	100	2500
39	Супервізорна система	шт.	1	20000	20000
			Загальна сума		675791

ВИСНОВОК

Під час виконання даного дипломного проєкту мені вдалося розробити автоматизовану систему керування елеватором.

Але перед цим я ознайомлювався з цим об'єктом, для того щоб добре зрозуміти принцип його роботи, можливі проблеми, які можуть трапитися на етапах проектування. А також склав план дій за яким і автоматизував елеватор.

Мною було розглянуто основний контур регулювання – керування температурою в зерносушарці. Температура є важливим параметром в системі регулювання зерносушаркою, тому що від правильно висушування зерна залежить його якість.

Однією з основних задач було провести дослідження параметрів для налаштування ПІ-регулятора для контуру регулювання температури в зерносушарці. Дослідження проводилося двома методами: РАФХ та МАЧХ, мною було вибрано метод МАЧХ, та отримано такі параметри: $K_{об} = 48.265 \frac{C^{\circ}}{\%PO}$, $T_{об} = 20c$ та $\tau = 3.7c$. Метод МАЧХ він мав кращі показники параметрів, що сприяє точнішій роботі нашого регулятора.

Також я підбирав необхідне обладнання. Об'єкт досить складний і потребує велику кількість датчиків та електроприводів. Це обладнання підбиралося з певними критеріями, що найкраще підходили до нашої системи. А для правильного функціонування всього об'єкта було вибрано програмований логічний контролер від Schneider Electric – M241, так як він досить надійний та має можливість змінювати свій функціонал модулями розширення, що буде досить корисно при збільшенні, в майбутньому, кількості обладнання. В системі я використав ще 8 додаткових модулів: Modicon TM3AQ4G Modicon TM3AI8 Modicon TM3AI4G TM3AQ2 TM3TI8T Modicon TM3DI16 TM3DQ8R. Контролер з'єднується з модулями по внутрішньому протоколу Ethernet.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						80
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Також було створено функціональну схему автоматизації, принципову електричну схему та специфікацію обладнання. Креслення схем відбувалося в середовищі EPLAN, перевагою використання EPLAN над AutoCad є можливість під час проектування відслідковувати потенціал і тим самим перевіряти правильність підключення електронних пристроїв. І завдяки великій базі цих пристроїв креслення відбувалося досить швидко.

Керування всією системою відбувається оператором ПК, за допомогою SCADA-системи, яка була розроблена в середовищі Indusoft Web Studio. Це дозволяє контролювати параметри нашої системи, ти при потребі їх змінювати. Імітація об'єкта відбувалася в MATLAB. Контролер ми програмували в середовищі Codesys. В результаті ми отримали систему, яка поводити себе ніби справжній об'єкт.

					ТА7104.0001.001.АТХ.П	Арк.
						81
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адріанов Н. М. Дослідження шахтної зерносушарки як об'єкта керування. 6с
2. Несторов А. Л. Проектування АСУ ТП: методичний посібник 2-ге видання. СПБ: ДЕАН, 2009. 944 с.
3. Tore Hagglund PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. North Carolina: ISA, 1995. 343с
4. Шаповаленко О. І., Євтушенко О. О., Янюк Т. І., Рибчинський А. С. Сушіння та зберігання зерна. Херсон: ОЛДІ+, 2019. 396с
5. Плетнев Г. П., Зайченко Ю. П., Зверев Е. А., Киселев Ю., Е. Проектування, монтаж та експлуатація автоматизованих систем керування теплоенергетичними процесами. Москва: МЕІ, 1195. 316с
6. Довідник з теплопостачання і вентиляції. Книга перша. Отоплення та теплопостачання. Щьолкін Р. В. та ін. 4-те вид. переробл. та допов. Київ: Будівельник, 1976. 416с
7. Математичне моделювання об'єктів керування URL:
<https://studfile.net/preview/7239646/page:2/>