

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

Гомелюк Михайло Васильович

Система автоматизованого управління процесом сушіння та зберігання зерна
System of automated grain drying and storage control

напрямок підготовки :
фахове спрямування –
Дипломна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр"

Виконав: студент групи АКІТ-41
М.В. Гомелюк

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Дипломну роботу допущено до захисту
" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри СКС

А. І. Сегін

«___» _____ 2023

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ
Гомелюку Михайлу Васильовича
(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління процесом сушіння та зберігання зерна
System of automated grain drying and storage control
керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А.І.

Затверджено наказом по університету від "12" грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 15.05.2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи

1. Сучасні технічні та програмні засоби автоматизації
2. Вимоги до систем автоматизованого управління сушаркою

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Розробити структуру та математичну модель системи автоматичної сушарки
2. Здійснити моделювання роботи систем автоматичного регулювання для підтвердження якості управління.
3. Розрахувати параметри модального регулятора для забезпечення стабільної роботи сушарки.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

- 1.Класифікація сушильних апаратів.
- 2.Структурна схема моделі системи керування.
- 3.Цифрова модель системи керування температурою.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А.І.		
2	Сегін А.І.		
3	Сегін А.І.		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Узагальнений опис сушарок та сфера їх використання	11.2023р. – 12.2023р.	виконано
2	Побудова математичної моделі системи управління сушарками, передавальною функцією та розрахунок їх параметрів	01.2024р. – 02.2024р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	03.2024р. – 04.2024р.	виконано

Студент _____
(підпис)

Гомелюк М.В.

Керівник роботи _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сегін А.І.

АНОТАЦІЯ

Гомелюк М.В. Система автоматизованого управління процесом сушіння та зберігання зерна.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі розглядаються сучасні методи і технології автоматизації, які дозволяють забезпечити високу якість зерна, знижуючи при цьому енергетичні витрати і мінімізуючи вплив людського фактора. Основною метою дослідження є створення надійної системи, яка забезпечить стабільні умови сушіння, запобігаючи перегріву або недосушуванню зерна, а також ефективно управління зберіганням, що зменшить втрати від шкідників і псування.

У роботі проведено аналіз існуючих технологій і визначено основні вимоги до системи автоматизації. Розроблено математичну модель процесу сушіння, яка враховує основні параметри технологічного процесу. На базі цієї моделі розроблено алгоритми управління, які реалізовано у програмному забезпеченні контролера.

В результаті експериментальних досліджень підтверджено ефективність розробленої системи, що дозволяє значно покращити якість кінцевого продукту і підвищити економічну ефективність виробництва.

ANNOTATION

Homelyuk M.V. System of automated management of grain drying and storage process.

Doctoral studies for the education level «Bachelor'» with the title 151 "Automation and computer-integrated technologies". – West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The work examines modern methods and technologies of automation, which allow to ensure high quality of grain, while reducing energy costs and minimizing the influence of the human factor. The main goal of the research is to create a reliable system that will provide stable drying conditions, preventing overheating or under-drying of the grain, as well as effective storage management, which will reduce losses from pests and spoilage.

The paper analyzes the existing technologies and defines the main requirements for the automation system. A mathematical model of the drying process was developed, which takes into account the main parameters of the technological process. On the basis of this model, control algorithms have been developed, which are implemented in the controller software.

As a result of experimental studies, the effectiveness of the developed system was confirmed, which allows to significantly improve the quality of the final product and increase the economic efficiency of production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗЕРНОВИХ СУШАРОК.....	10
1.1 Роль зернових сушарок у сільському господарстві.....	10
1.2 Технологія процесів сушіння.....	13
1.3 Пристрій і робота шахтної зерносушарки.....	15
1.4. Системи електроприводу та автоматизації сушильних агрегатів.....	21
2. АНАЛІЗ МОДЕЛІ ТА ЯКОСТІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	22
2.1 Модель об'єкта керування.....	22
2.2 Критерії якості функціонального об'єкта керування.....	25
3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КУРУВАННЯ.....	27
3.1 Модель системи керування.....	27
3.2 Структура регулятора.....	29
3.3 Оцінка якості функціонування системи керування.....	36
4. РОЗРОБКА ТА ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ.....	45
4.1 Цифрова модель об'єкта управління.....	45
4.2 Розробка програмного забезпечення керування.....	50
4.3 Перевірка функціонування програмного забезпечення.....	52
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.00.000 ПЗ
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.		Гомелюк М.В.			Система автоматизованого управління процесом сушіння та зберігання зерна/System of automated grain drying and storage control
Перевірив.		Сегін А.І.			
Консульт.					
Н. Контр.		Заставний).М.			
Затверд.		Сегін А.І.			
					Літ. Арк. Акрушів
					6 57
ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41					

ВСТУП

Актуальність теми. Процес сушіння зерна є складним завданням управління через часті збої, що впливають на ефективність роботи обладнання. Обслуговуючий персонал не завжди може оперативно реагувати на випадкові переривання. Ручне управління агрегатами в поточних умовах є неефективним, непродуктивним і може погіршити якість сушеного зерна, якщо необхідно збільшити продуктивність. Якісні показники процесу сушіння зерна, такі як стабільність якості зерна після сушіння та режим керування температурою, можна покращити. Це вимагає ретельного вивчення існуючої системи управління та її вдосконалення або розробки нової системи. Проте, існуючі методи, моделі та інформаційне забезпечення для управління шахтними зерносушарками часто розроблені для конкретних типів і конфігурацій установок. Отже, створення універсальних методів, моделей і інформаційного забезпечення для управління зерносушарками різних типів і конфігурацій є актуальною науково-технічною задачею. Автоматизація процесів сушіння зерна забезпечить покращення якості управління.

Мета кваліфікаційної роботи є підвищення якості процесу регулювання температури зерна в шахтних зерносушарках шляхом визначення запасу стабільності під впливом збурень на вихідні параметри об'єктів контролю.

Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- підбір комплексу технічних та програмних засобів, розробка необхідної технічної документації для системи управління.
- розробка моделей систем управління під впливом збурень.
- розробка програмного забезпечення для системи управління SCADA з використанням програмованих логічних контролерів.

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Предметом дослідження є система автоматизованого управління температурою зерна в шахтних зерносушарках.

Об'єктом дослідження є процес контролю температури зерна в шахтних зерносушарках.

Методи дослідження. Системний аналіз та системний підхід використовувалися для дослідження системи контролю температури зерна в зерносушарній шахті. МТ поведінки системи здійснювалося за допомогою диференціальних рівнянь. Ефективність ПУ оцінювалася методами математичної статистики.

Практичне значення отриманих результатів. Отримано модель впливу збурень на вихідні параметри системи керування шахтної зерносушарки по каналу "температура агента сушіння – температура зерна". Це дозволяє визначити граничне значення коефіцієнта "к" як межу стійкості розробленої системи контролю температури зерна в зерносушарці.

Апробація.

Юрій ПОПИК, Катерина МАРЧУК, Михайло ГОМЕЛЮК Моделі систем автоматизованого управління установкою кондиціонування повітря / Збірник матеріалів науково-практичної міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»(АКІТ-2024), Тернопіль, 2024 С. 5-10

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ❖ СК - система керування
- ❖ ПУ - процес управління
- ❖ АПС - автоматизована процесна система
- ❖ ПНР - передпускових налагоджувальних робіт
- ❖ ДП - диференційна передавальна функція
- ❖ ЗОС - зерносушильний об'єкт системи
- ❖ ІО - інформаційне обладнання
- ❖ КК - контролер керування
- ❖ КП - керуючий параметр
- ❖ МЗ - модель зберігання
- ❖ МТ - математичне моделювання
- ❖ НД - нормативна документація
- ❖ ПЗ - програмне забезпечення
- ❖ ПТ - програмний таймер
- ❖ РП - регулюючий параметр
- ❖ СА - система автоматизації
- ❖ САК - система автоматизованого контролю
- ❖ СД - сенсорні дані
- ❖ ФЕ - функціональний елемент
- ❖ ШЗ - шахтна зерносушарка

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗЕРНОВИХ СУШАРОК

1.1 Роль зернових сушарок у сільському господарстві

Збереження зерна без втрат і підвищення його якості при зберіганні – головна мета елеваторного комплексу. У більшості випадків зерно збирають із високим вмістом вологи, що може призвести до глобального потепління, розвитку цвілі та зараження комахами. Тому дуже важливо налаштувати режим сушіння зерна.

Ця техніка виявилася найшвидшим і найефективнішим способом збереження зерна. Під час сушіння зерна тепло подається на зерно, яке висушується, щоб видалити вологу у вигляді пари та випустити її в атмосферу. Для сушіння зерна і стабільного видування зерносушаркою або зерносушаркою прийнято називати пристрій, який знижує вологість зернової сировини до рівня, який може безпечно зберігатися протягом тривалого часу[2]. Невеликий ризик саморозігрівання печей («теплих гнізд»), а правильно підібраний режим господарювання підвищує фізіологічне дозрівання та якість круп і зерна.

Види зерносушарок:

- Принцип сушіння.
- Принцип мобільності.
- Принципи побудови.
- Принцип дії.
- Напрямок потоку повітря.
- Вектор руху зерна.

За принципом сушіння:

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

- Модульна сушарка.

Це колонні агрегати з перехресним потоком повітря. Сушіння зерен здійснюють наступним чином. Продукт надсилається у верхню частину сушарки, де він розподіляється по всій довжині шнеками та завантажується по черзі в колони (модулі). Для сушарок у вигляді круглих башт заповнення здійснюється під дією сили тяжіння. Промисловий вентилятор вдуває повітря в камеру, яка розділена на два потоки. Один нагрівається, а другий негайно надсилається в камеру змішування, де обидва потоки змішуються і можна контролювати однорідність температури. Осушувач можна використовувати будь-де в камері. Гаряче повітря подається з боку внутрішньої перфорованої сітки та проходить через шар частинок назовні. Наприкінці процесу сухе зерно вивантажується.

- Шахтні зерносушарки.

Це агрегати, що складаються з вертикальної робочої камери (шахти) з п'ятикутним бічним повітророзподільником, в який подається і відводиться нагріте повітря.

- Карусельна сушарка.

Відмінністю даного типу конструкції є те, що зерно сушиться вертикальними шарами за допомогою конвеєрної стрічки. Такі пристрої зарекомендували себе ідеально для сушіння насіння, оскільки вони м'яко «обробляють» зерна. Крім того, карусельні зерносушарки можна використовувати і для незернових продуктів (пелет, тріски тощо).

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

1.2 Аналіз технологічного процесу сушіння зерна та класифікація сушильних апаратів.

Під час сушіння вода видаляється з твердих і пастоподібних матеріалів шляхом випаровування. Одночасно можна надати висушеному матеріалу бажані властивості, знизити витрати на транспортування, також зменшує корозію під час зберігання або подальшої обробки цих культур. У аграрній промисловості зазвичай використовується теплове сушіння зерна у спеціальних сушильних системах, оскільки природне сушіння на повітрі займає занадто багато часу.

Сушіння – це складний процес дифузії, швидкість якого залежить від дифузії вологи з глибини матеріалу, що підлягає сушінню. Цей процес включає в себе подачу тепла, тому є прикладом тепломасообміну. Видалення вологи з матеріалу можливе механічними методами, такими як відстоювання або фільтрування. Проте найбільш ефективно видалення вологи досягається шляхом випаровування води і видалення утвореної пари, тобто термічним сушінням. Цей метод широко застосовується в аграрній промисловості і часто є завершальним етапом перед отриманням готової продукції.

Залежно від типу тепла, що підводиться до об'єкта сушіння, розрізняють наступні види сушіння:

- Конвекція

Конвекційне сушіння — це спосіб сушіння, заснований на використанні конвекційних струмів. Рух теплого повітря навколо зерна для випаровування вологи. Цей процес часто використовується в сільськогосподарській промисловості для сушіння зерна.

- Контактний

									ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						13

Контактна сушка — це спосіб сушіння, при якому зерно безпосередньо контактує з нагрітою поверхнею. Принцип роботи контактної сушки полягає в розміщенні зерна на нагрітій поверхні, такій як металевий або керамічний ролик, конвеєрна стрічка або сушильна решітка. Під впливом нагрівання волога в зерні випаровується і видаляється із сушарки, залишаючи після себе висушене зерно.

- Випромінювання

Сушіння зерна випромінюванням передбачає використання енергетичного випромінювання, зазвичай інфрачервоного випромінювання, для видалення вологи із зерна. Цей метод можна використовувати як доповнення або альтернативу традиційним методам сушіння, таким як теплове сушіння та природне сушіння. Принцип сушіння зерна радіаційним способом полягає в тому, що зерно поміщається в спеціальну камеру, де опромінюється інфрачервоним випромінюванням. Ця енергія поглинається зерном і перетворюється на теплову енергію, яка випаровує воду з урожаю. Потім вологе повітря видаляється з камери, і процес продовжується до досягнення бажаного рівня вологості в зерні.

- Діелектричні

Діелектричне сушіння зерна — це спосіб сушіння, який використовує електричні поля високої частоти для випаровування води із зерна. Принцип роботи діелектричної сушки полягає в тому, що зерно поміщається в спеціальну камеру і в ній діє електричне поле високої частоти. Це поле проникає в зерно і збуджує молекули води, викликаючи їх нагрівання. Це випаровує вологу та видаляє її з камери, залишаючи сухе зерно.

Класифікація сушарок:

На фабриках існують різноманітні сушарки, які відрізняються за типом тепла, який вони подають на матеріал, що сушиться, конструктивним

									ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						14

оформленням та іншими особливостями[2]. Сушарки класифікуються відповідно до їх конструкції таким чином: Камери, тунелі, шахти, стрічки, барабани, ролики, сушарки з киплячим шаром тощо. Ці типи сушарок відрізняються багатьма характеристиками. Конфігурація процесу (періодичний і безперервний). Залежно від рівня тиску всередині сушильної камери (атмосферний тиск і вакуум). За типом транспортного обладнання: з візками, з вагонетками, з конвеєрними стрічками (стрічки, ланцюги, пластини).



Рисунок 1.1 - Класифікація сушильних апаратів

1.3 Принцип роботи шахтної зерносушарки

Шахтні прямоточні зерносушарки працюють у безперервному режимі та призначені для сушіння насіння пшениці, зерна кукурудзи, соняшника й інших продовольчих і насінневих культур[3]. Усередині сушильної шахти зерно рухається горизонтально вниз під дією тяжіння і проникає через осушувач.

Кукурудзяні зерна рухаються через шахту у вигляді твердої маси зі швидкістю, яка визначається роботою механізму періодичного або безперервного вивантаження. ШЗ є найбільш зручним і простим і широко використовуваним для сушіння зерна. Продуктивність шахтної зерносушарки від 1 до 50 т/год.

Зерносушарка М-819, колишнього виробництва ПНР відкритої конструкція, в металевому виконанні. Загальна схема сушарки наведена на рисунку 1.2.

Складається з топки з димовою трубою, завантажувального скребкового конвеєра, норії, двох розташованих паралельно шахт з камерою розподілу тиску між ними та загального надсушильного бункера, дифузоров та конфузоров, розвантажувального пристрою із сушильною лійкою загальною для обох шахт та пристрій для очищення відпрацьованого осушувача та повітря. Над сушильним бункером встановлений скребковий конвеєр (Рисунок.1.3) який розміщений у спеціальному жолобі з ситовим днищем.

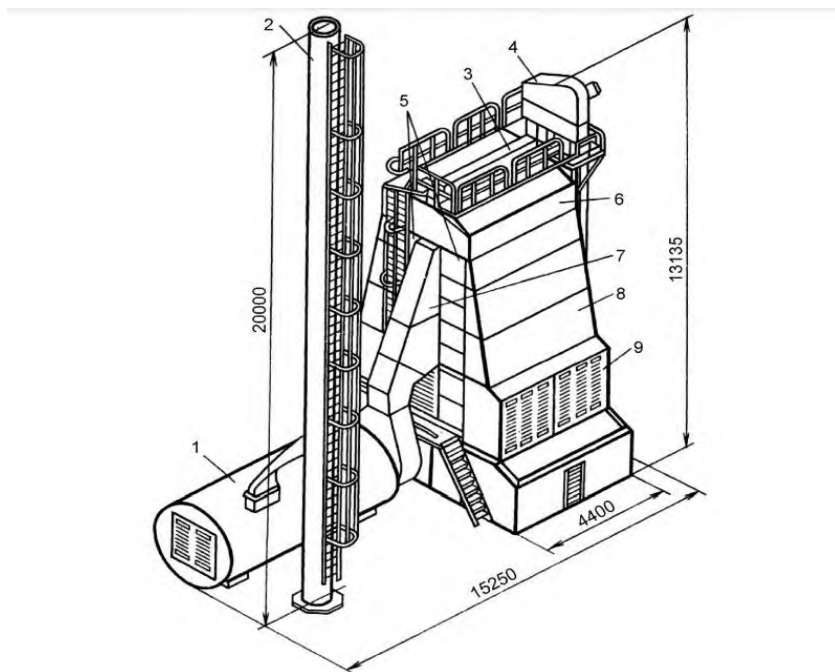


Рисунок 1.2 – Шахтна зерносушарка типу М-819:

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

1 - теплогенератор; 2 - труба; 3 - конвеєр; 4 - норія; 5 - сушильні шахти; 6 - надсушильний бункер; 7 - дифузор; 8 - конфузор; 9 - очисний пристрій;

Поверхня сита запобігає потраплянню великих забруднень (розміром 30x30x30 мм і більше) у шахту і видаляються з конвеєра скребком через спеціальні отвори. Щоб уникнути перевантаження та засмічення норії в бункері, встановлено сигналізатор рівня. Розміщений під вирівнювальним пристроєм, він підтримує стабільний рівень зерна в надсушильному бункері. Принцип його роботи заснований на натисканні, викликаному тиском зерна.

Шахта по висоті розділена на зони: суха зона, проміжна зона і зона охолодження. Крім того, зона сушіння містить п'ять секцій однакової висоти з вхідними і вихідними коробами, а зона охолодження складається з двох секцій однакової конструкції. Проміжна зона (не піддається впливу повітря або осушувача) оснащена датчиками та клапанами з ручним керуванням, які контролюють температуру нагрівання зерна.

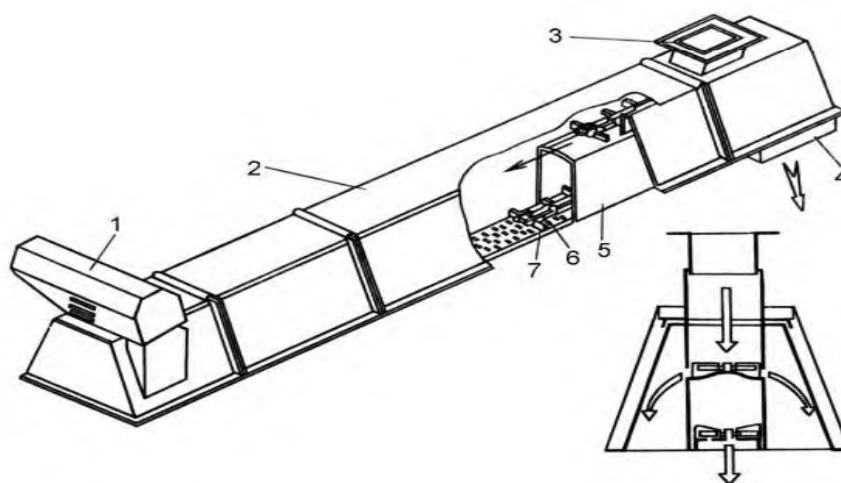


Рисунок 1.3 - Конвеєр зерносушарки М-819:

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

1 – механізм приводу; 2 - корпус; 3 - завантажувальний патрубок; 4 – випускний патрубок; 5 - жолоб; 6 – система скребків; 7 – фільтруючий елемент;

Вивантаження зерна та контроль продуктивності здійснюються за допомогою розвантажувальних пристроїв, які розташовані окремо під кожною шахтою. Для очищення використаного десиканту та видалення повітря зерносушарка має вбудовані пристрої для відділення пилу. (Рисунок 1.4).

Очищення проводиться в інерціонниках та мультициклонах. Інерціонники розташовані по обидва боки від шахти. Пил з мультициклонів потрапляє в бункер, а звідти в мішок, закріплений тримачем.

Робота сушарки полягає в наступному: За допомогою норії попередньо очищені кукурудзяні зерна подаються в ультрасухий бункер. Кукурудзяні зерна надходять у сушильну шахту з ультрасухих контейнерів. З сушильних шахт зерно кукурудзи направляється в шахту охолодження. Кукурудзяні зерна сушать або охолоджують у шахтах сухого охолодження. Потім її відправляють у сушильний бункер, звідки зерна кукурудзи транспортують на склад. Якщо зерно не висухло, повертається назад на повторну сушку. Десикант всмоктується вентилятором із печі через камеру розподілу тиску та сушильну шахту (заповнену зернами кукурудзи) через конфузор і подається в пиловловлювач із мультициклонами, звідки видалається використаний очищений осушувач[4].

Для відведення агента сушіння з сушильних шахт та зовнішнього повітря з охолоджувальних шахт використовуються однакові вентилятори. Конструкція конфузора вентилятора забезпечує можливість регулювання потоку осушувача та зовнішнього повітря в шахтах сушіння та охолодження. Вентилятори, пристрої для виловлення пилу та конвеєрні стрічки розташовані всередині корпусу сушарки. Біля сушарки розташована норія, яка постачає сире зерно[5].

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

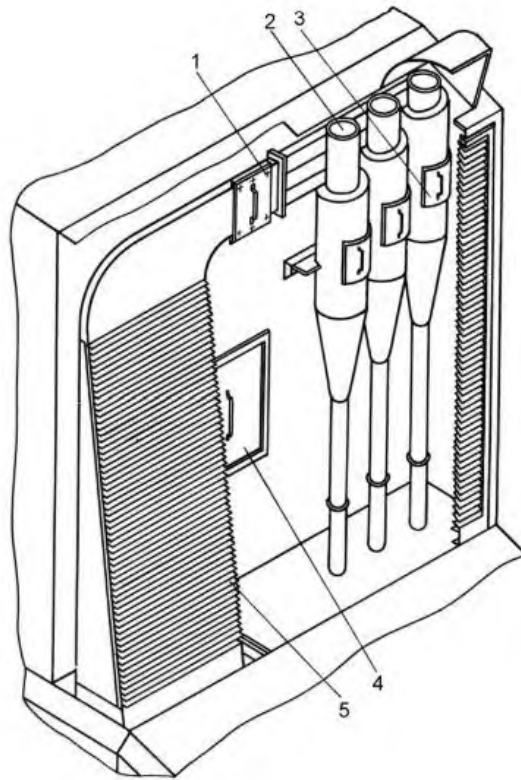


Рисунок 1.4 - Пилувідділюючі пристрої:

1 - кришка для очищення інерційного фільтру; 2 - мультициклони; 3 - люки очищення мультициклонів; 4 - кришка; 5 - інерційний фільтр;

Повітря нагрівається за допомогою нагрівального елемента, що працює на рідкому паливі. Сушарка має чотири вентилятори з продуктивністю 24000 м³/год, тиском 2250 Па, частотою обертання робочого колеса 1460 об/хв і потужністю електроприводу 18,5 кВт.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ

Арк.

19

Піч зерносушарки М-819 працює на рідкому паливі, такому як газ або дизельне паливо. Конструкція печі, що показана на рисунку 1.5, складається з горизонтально розташованих циліндричних сталевих пластин. Усередині розташовані камера згоряння і теплообмінник, а в передній частині печі знаходиться форсунка з вентилятором і блоком управління. Піч має димохід, завданням якого є створення необхідної тяги всередині камери згоряння для виведення димових газів за межі сушильної установки[6].

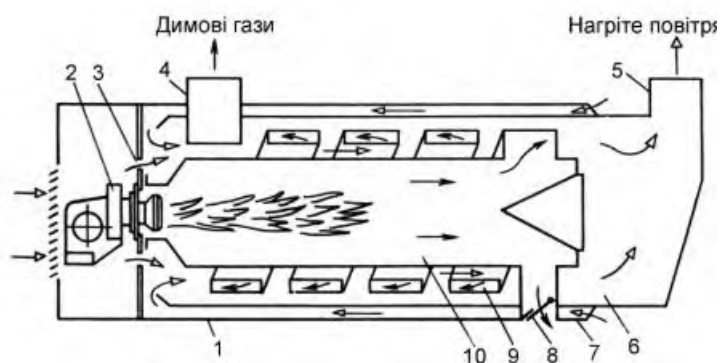


Рисунок 1.5 - Схема топки зерносушарки М-819:

1 - корпус; 2 - форсунка; 3 - щілина для підсосу повітря; 4 - патрубок димаря; 5 - патрубок нагрітого повітря; 6 - колектор; 7 - кільцевий канал; 8 - вибухорозрядний клапан; 9 - теплообмінник; 10 - камера згоряння;

Корпус печі має в собі колектор з приєднувальним клапаном, який збирає гаряче повітря і подає його в сушильні шахти, одночасно з'єднуючи печ з сушильними шахтами. На боках корпусу печі є отвір для відведення повітря для підключення до димоходу, а також вибухозахищений клапан. На передній стінці печі є проріз для забору атмосферного повітря, а на задній боці - кільцевий канал.

Вибухозахищений канал з'єднує камеру згоряння з атмосферою через вибухозахищений випускний клапан, який герметично закритий і має пломбу для аварійного розкриття. Цей клапан можна закрити лише після усунення причини вибуху, а дріт для пломбування повинен мати діаметр не більше 0,5 мм.

Форсунка УЛ-4В01-00 призначена для спалювання дизельного палива з максимальною продуктивністю 200 кг/год. Її інжектор містить єдиний блок, який з'єднує паливну систему, систему подачі повітря та електричну систему, автоматично підтримуючи задану температуру осушувача.

Піч оснащена фотоелектричним датчиком, який використовується для контролю наявності полум'я . Якщо полум'я згасне, це негайно викликає аварійне відключення форсунки. Для розпалювання печі встановлений трансформатор запалювання з електродами. Електромагнітний клапан призначений для керування подачею палива до форсунок на основі електричних імпульсів , що надаються пристроєм автоматичного впорскування. Відкриття повітряної заслінки при переході з режиму мінімального потоку повітря на режим максимального потоку повітря здійснюється за допомогою електромагніту[7].

1.4. Системи електроприводу та автоматизації сушильних агрегатів.

В даний час в сушильних установках в основному використовуються системи некерованого електроприводу на основі асинхронних електродвигунів із закоченими роторами.

Асинхронний електропривод Пуск - Прямий. Системи плавного пуску на основі тиристорних стабілізаторів напруги застосовують для об'єктів з великим моментом інерції.

Остання розробка пропонує регульований асинхронний електропривод з частотно-векторним керуванням. Синхронний електропривод з прямим асинхронним пуском використовується в високопродуктивних сушарках.

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

2. АНАЛІЗ МОДЕЛІ ТА ЯКОСТІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Модель об'єкта керування

У промисловості ідентифікація об'єктів керування є найпоширенішим способом отримання математичної моделі. Ідентифікація — це процес створення математичної моделі керованого об'єкта на основі обробки спостережуваних вхідних і вихідних сигналів. Процес ідентифікації об'єктів керування складається з трьох фаз:

- ідентифікація структури;
- ідентифікація параметрів;
- оцінка придатності моделі.

Передатні характеристики зерносушарки по каналу температура десиканта ($T_{ас}$) – температура зерна (T_z) визначали після ідентифікації процесу сушіння зерна в шахтній зерносушарці. Характеристики передачі виражаються у вигляді аперіодичного зв'язку другого порядку.

$$\frac{K_{T_{ас}T_z} e^{-\tau_0 p}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

де, $T_2=411,6$ сек.; $T_1=888$ сек.; $K_{T_{ас}T_z}=0,035 \square 0,35$ оС/ оС, $\tau_0=270$ сек.

Модель об'єкта керування у MATLAB має вигляд (Рис. 2.1) :

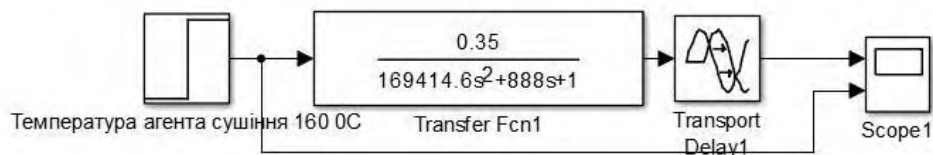


Рисунок 2.1 – Модель об'єкта керування.

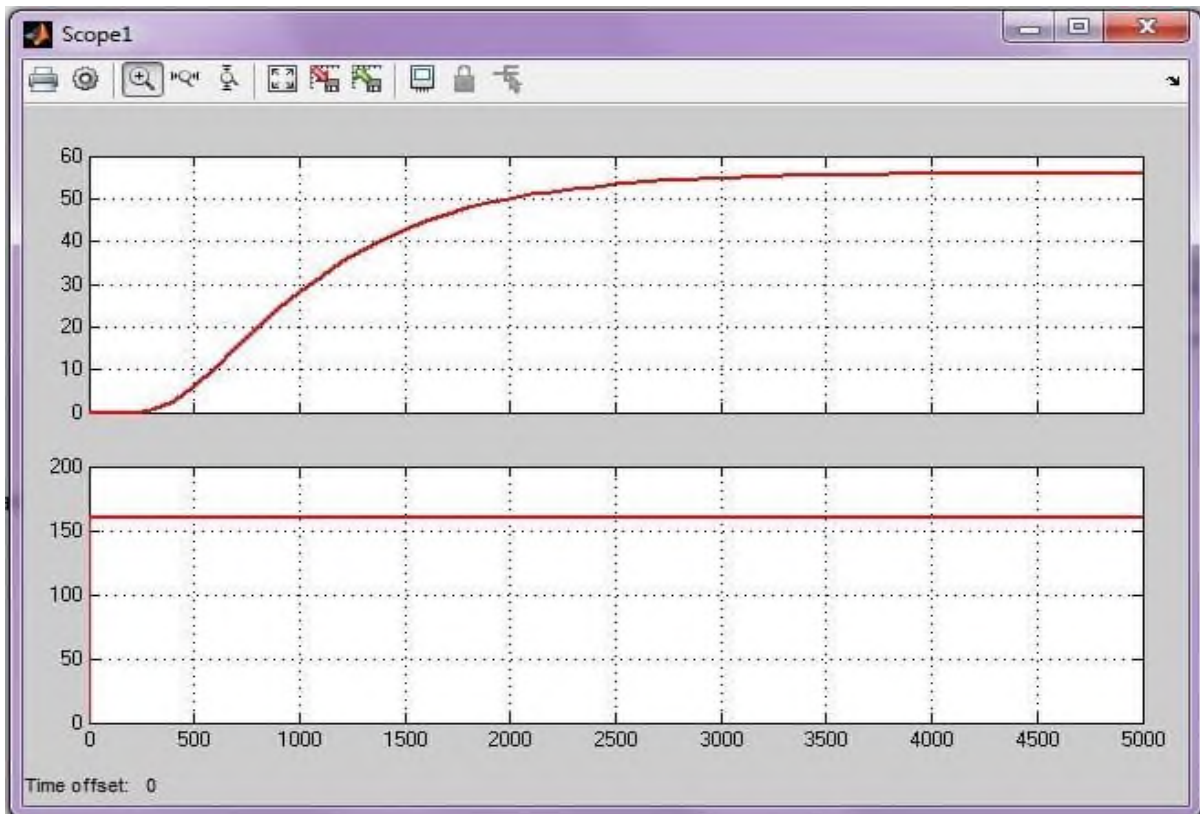


Рисунок 2.2 – Температура осушувача (T_{ac}) – температура частинок (T_z)
Відтворення результатів моделювання дії об'єкта керування через канал.



Рисунок 2.3 – Характеристика об'єкта з виконанням П-подібного впливу.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Дослідження проводилося з виконанням П-подібного впливу і показало симетричність і відсутність інтегрованого компонента в моделі (Рис.2.3).

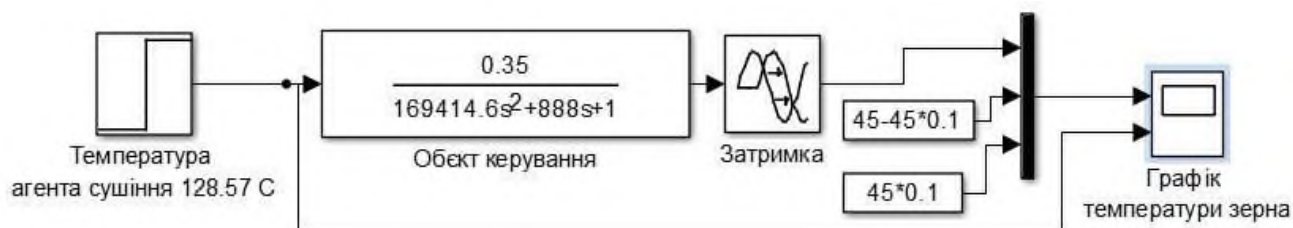


Рисунок 2.4 – Створення моделі об'єкта керування для вимірювання часу підйому та опадання.

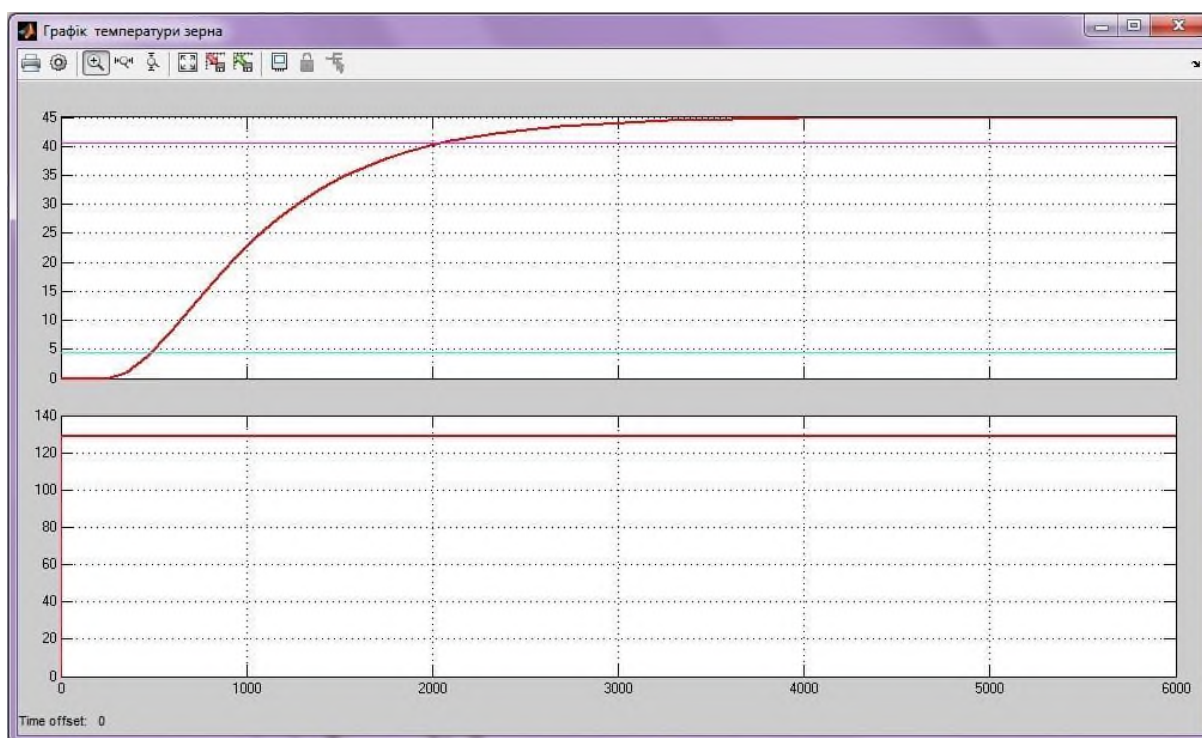


Рисунок 2.5 – Графічне зображення процесу керування об'єктами для визначення часу наростання та досягнення стабільного стану.

В результаті експерименту було проведено дослідження, під час якого отримано динамічні характеристики, а також зібрано перевіркові дані.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

2.2 Критерії якості функціонального об'єкта керування

Одним з критеріїв нагріву зерна у зерносушарці є мінімізація різниці між фактичною температурою зерна та заданим значенням.

$$\text{відхил } T_z = |T_z - T_{z.\text{зад}}| \rightarrow \min,$$

Відхилення температури зерна позначається як різниця між фактичною температурою зерна (T_z) та заданим значенням температури зерна ($T_{z.\text{зад}}$).

Крім того, надмірне нагрівання (перегрів) зерна може вплинути на погіршення якості зерна і, в результаті, зменшення його вартості. Перегрів зерна без втрати якісних показників може призвести до зменшення його маси та зниження вартості партії зерна. Якщо температура зерна падає нижче встановленого значення, то вологість зерна при проходженні через зерносушарку також зменшується, що може знизити ефективність роботи зерносушарки[8].

На основі Рисунка 2.5. встановіть параметри, які потрібно контролювати, час будівництва та час досягнення стабілізації/переналагодження за допомогою графічного методу. Час наростання – це інтервал часу, протягом якого вихідна потужність збільшується від 10% до 90% заданого значення. З Рисунок 2.5. час наростання становить приблизно 1450 секунд. Час схоплювання з похибкою схоплювання - це час, доки похибка схоплювання не перевищить задане значення. Якщо є помилка (10%), як показано на рисунку 2.5. час досягнення стабілізації становить приблизно 2500 секунд. Надмірне регулювання - перший викид, який перевищує певне значення змінної.

Використовуючи кілька типів контролерів, ви також повинні враховувати поведінку системи. Потім виведемо залежність якості поведінки системи від зміни параметрів системи.

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ				

Для цього об'єкта проводиться дослідження з визначенням найкращого регулятора на основі його характеристик, щоб визначити межі регуляторів P, PI та PID. Для об'єктів 1-2 найкращим рішенням є PID-регулятор.

Для проведення дослідження та визначення параметрів кожного регулятора використовується метод Зиглера-Ніколса. Алгоритми налаштування контролера за допомогою цих методів задовольняють основні цілі контролера. Під час налаштування фактор K вибирається для забезпечення найкращого балансу між продуктивністю та міцністю. За замовчуванням алгоритм вибирає граничну частоту (смугу пропускання) на основі динаміки моделі та мінімального фазового запасу 60 градусів.

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи керування

Імітаційна модель системи автоматичного контролю температури зерна в зерносушарці ґрунтується на структурній схемі системи. Ці локальні моделі є імітаційними для блоку керування зерносушарки, датчика температури, регульованого клапана пальника та сушильної шахти[9]. Таким чином, схема конфігурації імітаційної моделі системи контролю температури зерносушарки наведена на Рисунку 3.1.

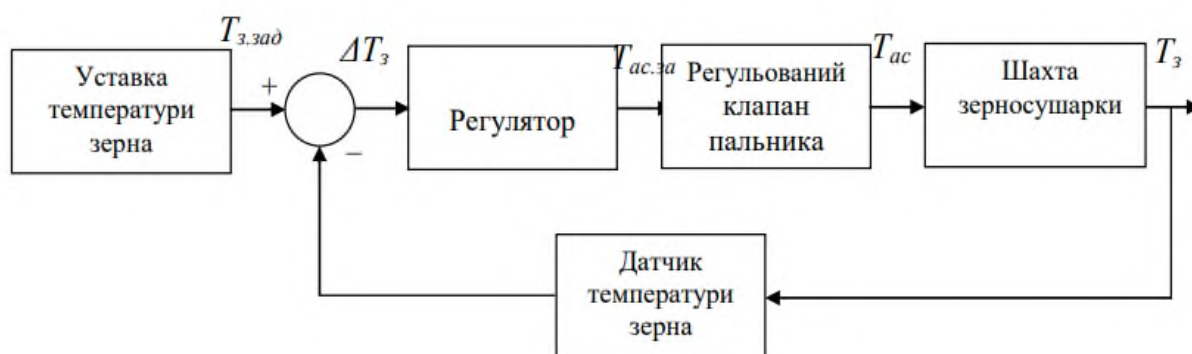


Рисунок 3.1 – Структурна схема імітаційної моделі системи керування температурою зерна у зерносушарці

На Рис. 3.1. наведено наступні позначення: $T_{з.зад}$ — задана температура зерна в сушарці (уставка), вимірюється в градусах Цельсія; T_z — фактична температура зерна в сушарці, також у градусах Цельсія; ΔT — відхилення фактичної температури зерна в сушарці від заданої (уставки), в градусах Цельсія; $T_{ас.зад}$ — задана температура агента сушіння, що подається на пальник сушарки, вимірюється в одиницях. $T_{ас}$ - фактичне значення температури агенту сушіння, °С.

Аналіз у розділах 1 та 2 вказує на значну інерційність зміни температури зерна як об'єкта контролю. Перехід температури на новий рівень займає до 4000 секунд. Проте зміна відкриття регульованої конфорки нагрівального елемента від одного крайнього положення до іншого відбувається лише за кілька секунд. Оскільки об'єкти керування мають велику інерцію порівняно з пальниками, які є виконавчими елементами системи (об'єкти працюють у 100-1000 разів повільніше, ніж виконавчі елементи), важко припустити, що об'єкти керування є виконавчими елементами роботи системи. Також припускаємо, що датчик температури в центрі зерносушарки також є інерційним елементом. Це пояснюється тим, що зміна температури вимірювального елемента датчика перетворюється на зміну електричного сигналу протягом кількох мілісекунд.

За результатами структурно-параметричної ідентифікації об'єкта керування передаточна функція об'єкта керування має:

$$W(s) = \frac{0.350e^{-270p}}{169414.6p^2 + 888p + 1},$$

де s – неперервний оператор Лапласа.

Проаналізуємо діапазони змін сигналів на входах і виходах елементів системи, щоб розрахувати коефіцієнти посилення локальних моделей цих елементів.

Температура зерна, коли пальник нагрівального елемента повністю відкритий, становить 56 °С. Відкритий клапан пальника реагує на сигнал положення 20 мА від електричного приводу. Коли вентиль пальника повністю закритий, температура становить 0°С. Закритий клапан пальника відповідає сигналу керування 4мА для положення електроприводу. Датчик OVEN ДТС105 вимірює температуру в діапазоні -50°С. ~ + 500°С.

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

3.2 Структура регулятора

Регулятор у системі автоматичного керування – це програмне забезпечення, яке моніторить фактичні значення об'єкта керування і обчислює відповідний вплив на виконавчий пристрій. Величина цього впливу визначається за допомогою алгоритму, вбудованого у регулятор. Вибір конкретного регулятора залежить від вимог до системи керування та очікуваної якості його функціонування.

Система контролю температури зерна в зерносушарці повинна забезпечувати постійне утримання температури на рівні 45°C з точністю до 10%. Статична похибка автоматичного керування має бути нульовою, а зміна температури повинна відбуватися без різких збурень і монотонно залежати від управління.

Під час ідентифікації шар зерна в зерносушарці виявився структурно стабільним, що самовирівнюється, лінійним об'єктом контролю. У промисловості для керування такими об'єктами часто викоМалтовують пропорційні, інтегральні та похідні регулятори.

За отриманими результатами ідентифікації визначено постійні часу (411,6 с, 888 с) та час затримки (270 с) об'єкта контролю.

На цій основі пропорційно-інтегрально-похідний регулятор (PID) або один із його підтипів може бути виконаний як контролер для автоматичної системи регулювання температури зерна в зерносушарці:

- пропорційний (P),
- пропорційний/інтегральний (PI)
- пропорційна похідна (PD).

Розрахунок параметрів P, PI та PID регулятора виконується за допомогою методу Зиглера-Ніколса. Для визначення параметрів регулятора за методом Зиглера-Ніколса потрібно розрахувати коефіцієнт підсилення (K),

									ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
										29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						

постійну часу (T) та час затримки (tau) об'єкту. Це виконується шляхом аналізу динамічних характеристик об'єкта за кривою розгону і визначенням дотичної в точці перегину передавальної характеристики.

Модель відповідає аперіодичній ланці другого порядку

$$K = 0.35, T = 1150 \text{ с.}, \tau = 270 \text{ с}$$

Пропорційний регулятор по методу Зиглера-Николса: $K_p = 13.2$

Пропорційно-інтегруючий регулятор по методу Зиглера-Николса

$$K_p = 11.9, T_i = 0.015$$

Пропорційно-інтегруючо-диференціюючий регулятор

$$K_p = 15.87, T_i = 0.029, T_d = 2143, N = 10.000$$

Таблиця 3.1 Параметри регуляторів розраховані методом Зиглера-Ніколса

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f	N
P	13.2				
PI	11.9	0.015			
PID	15.9	0,029	2143	214,3	10

Побудуємо модель системи, та реалізуємо усі типи регуляторів, перевіривши їх роботу з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Ніколса.

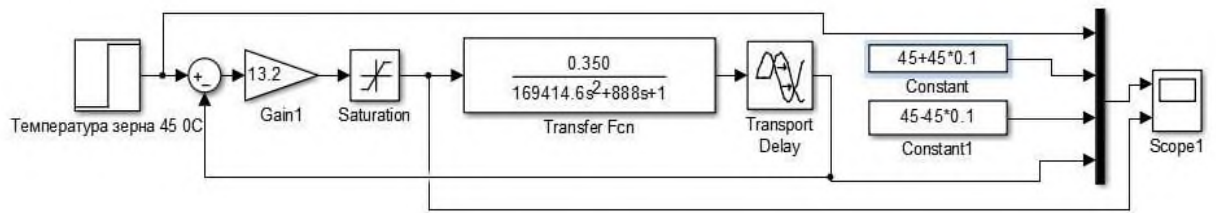


Рисунок 3.2– Модель системи керування з Р-регулятором за методом Зиглера-Ніколса

Графік моделювання системи керування з Р-регулятором показано на Рис. 3.3.

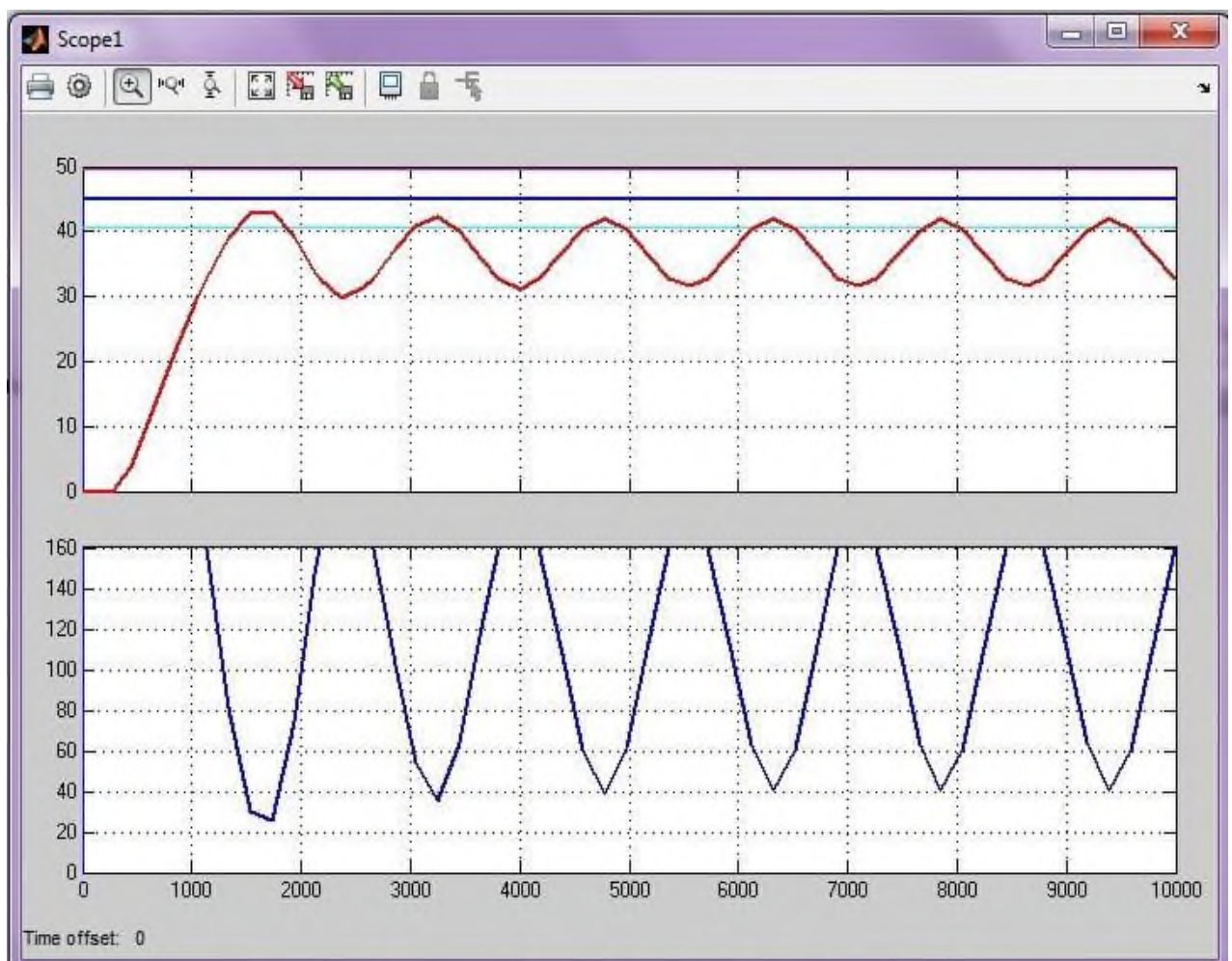


Рисунок 3.3 – моделювання системи керування з Р-регулятором, в якій параметри були визначені за методом Зиглера-Ніколса

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Таблиця 3.2 – Оцінка P-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час досягнення стабілізації		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°C	%	
1	Зиглера-Николса	1100		-		-	-	незадовільно

Проаналізувавши результати моделювання системи за допомогою P-регулятора з параметрами, розрахованими за методом Зиглера-Ніколса, робимо висновок про доцільність виконання P-регулятора для розробленої в цій роботі системи керування з наступних причин: що це неможливо через великі статичні похибки, великі відхилення значень від початкових значень. Для подальшого дослідження ми аналізуємо контролер PI, який може компенсувати статичні помилки за допомогою інтегрованих компонентів.

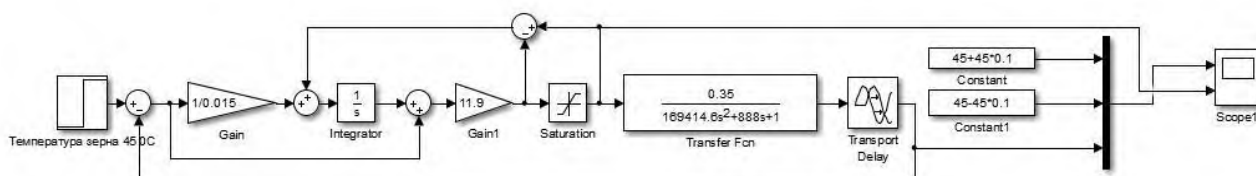


Рисунок 3.4 – Модель системи керування з PI-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графік моделювання системи керування з PI -регулятором показано на Рис. 3.5.

№	Метод	Час наростання		Час досягнення стабілізації		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°C	%	
1	Зиглера-Николса	1100		-		-	-	незадовільно

Таблиця 3.3 – Оцінка PI-регулятора відповідно до критеріїв

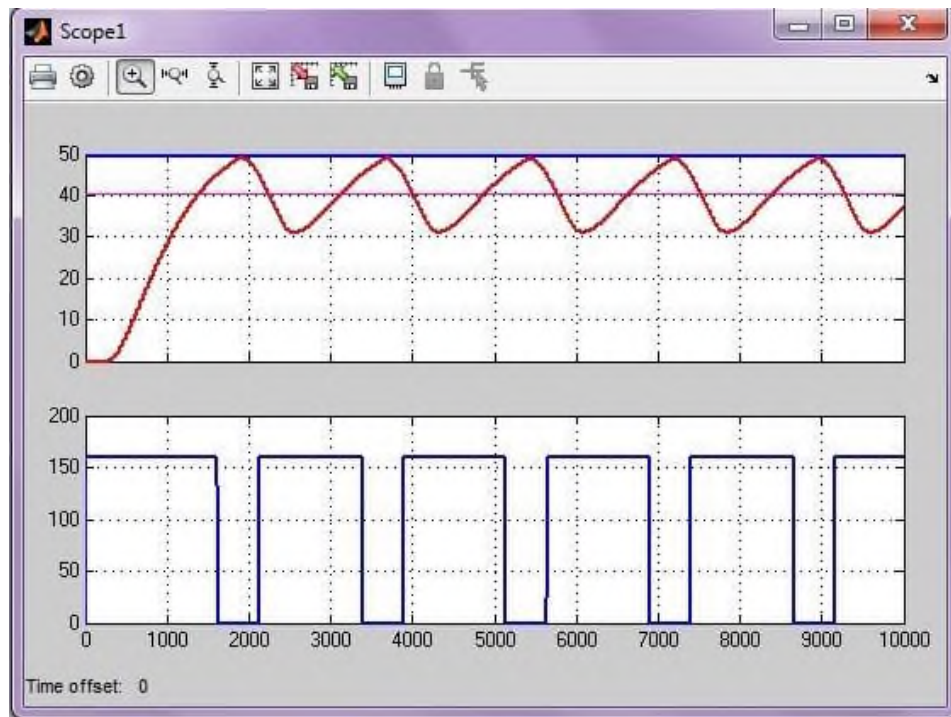


Рисунок 3.5 – Результат моделювання системи керування з PI-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса

Проаналізувавши результати моделювання системи з використанням PI-регулятора з параметрами, розрахованими методом Зиглера-Ніколса, можна зробити висновок, що використання PI-регулятора не відповідає вимогам через велике відхилення значень. Але для впевненості ми проаналізуємо PID-регулятор для подальшого дослідження. Це може використовувати диференціальні компоненти для компенсації великих розбіжностей і повільності виходу об'єкта керування відносно заданого значення.

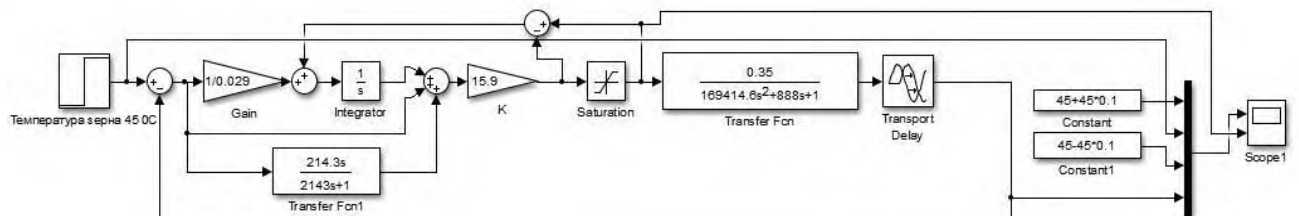


Рисунок 3.6 – Модель системи керування з PID-регулятором за методом Зиглера-Ніколса

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Графік моделювання системи керування з PID -регулятором показано на Рис. 3.7.

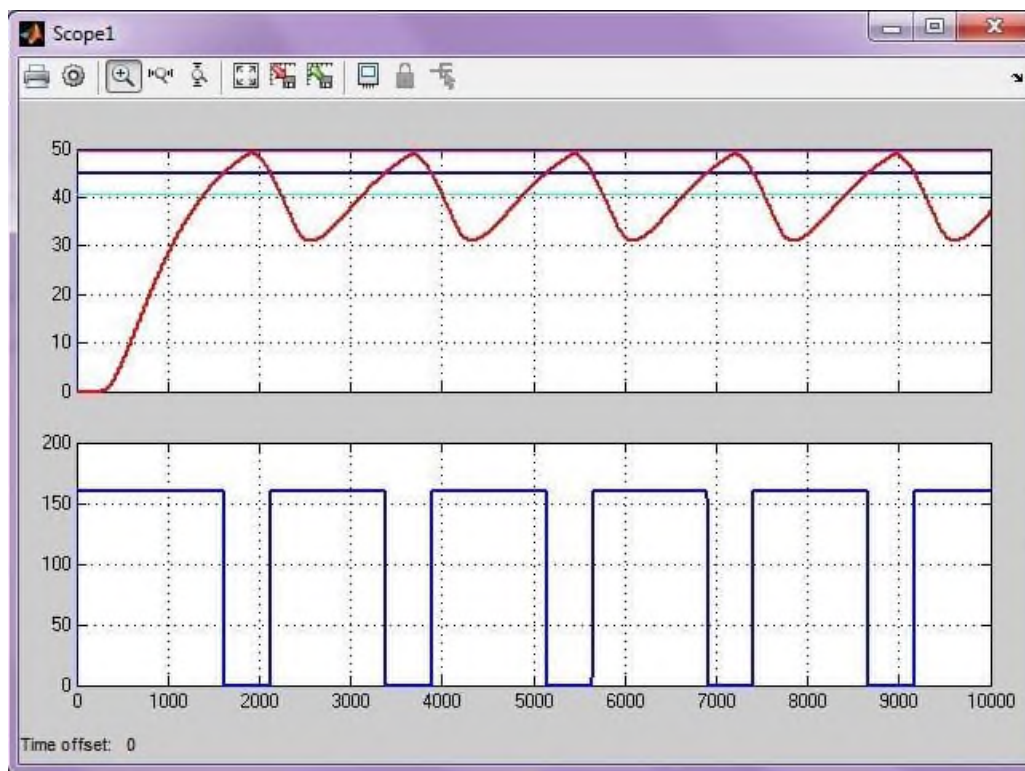


Рисунок 3.7 – Результат моделювання системи керування з PID-регулятором з параметрами, що розраховані за методом Зиглера-Николса

Таблиця 3.4 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

№	Метод	Час наростання		Час досягнення стабілізації		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	°С	%	
1	Зиглера-Николса	1100		-		-	-	незадовільно

Аналізуючи результати моделювання системи з використанням PID-регулятора із параметрами, отриманими за методом Зиглера-Ніколса, можна зазначити, що такий підхід не відповідає вимогам через значне відхилення

вихідних значень і постійні коливання. Однак, застосування середовища MatlabR2015b дозволить розрахувати нові параметри регулятора для отримання кращих результатів.

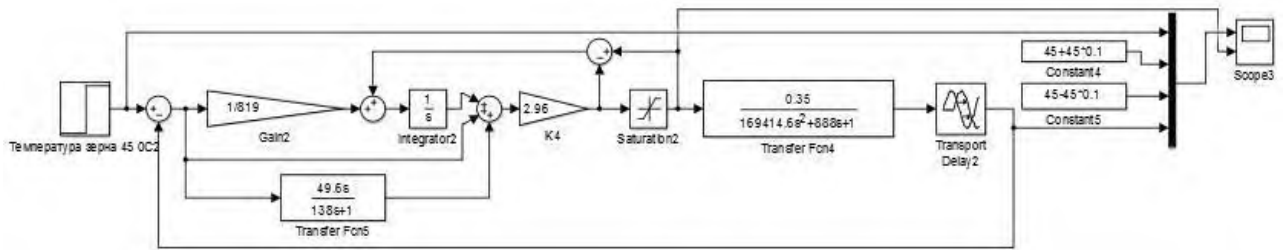


Рисунок 3.8 –Математична модель системи з регулятором у формі звичайного виразу.

Графік моделювання системи керування з регулятором PID після внесених корекцій показано на Рис. 3.9.

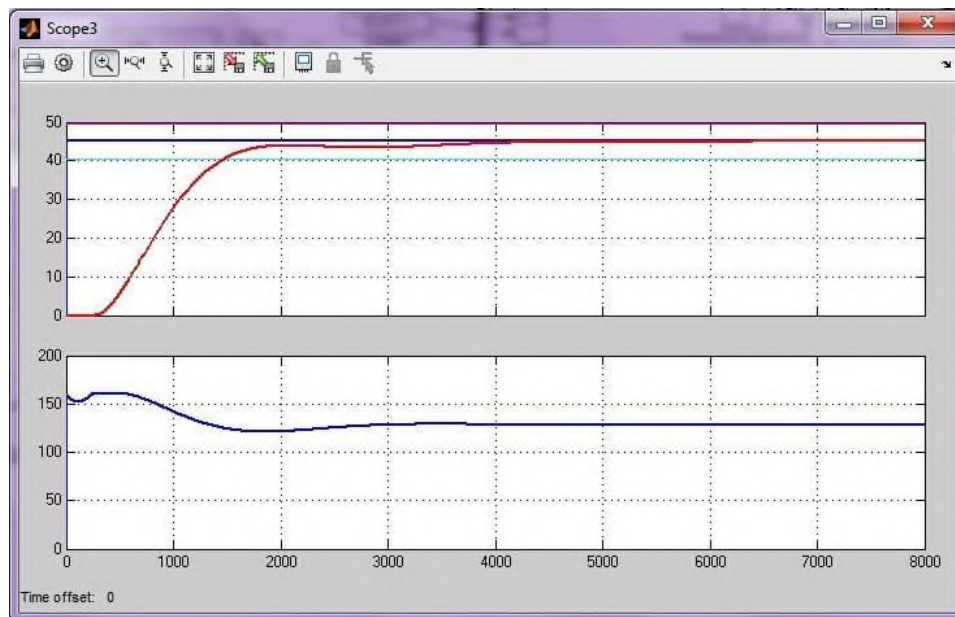


Рисунок 3.9– Результати моделювання скорегованої моделі системи с неперервним регулятором у стандартному вигляді

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Таблиця 3.5 – Оцінка PID-регулятора відповідно до критеріїв

Час наростання		Час досягнення стабілізації		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
С	%	с	%	°С	%	
1100		1700		-	-	відмінно

Як впливає з результатів, внесені корекції у значення регулятора призвели до покращення результатів. Тому ми продовжимо використовувати PID-регулятор із зазначеними параметрами: $K_p=2,96$, $T_i=819$, $T_d=49,6$, $T_f=138$

3.3 Оцінка якості функціонування системи керування

Остаточний вигляд системи керування представлено на Рис. 3.10.

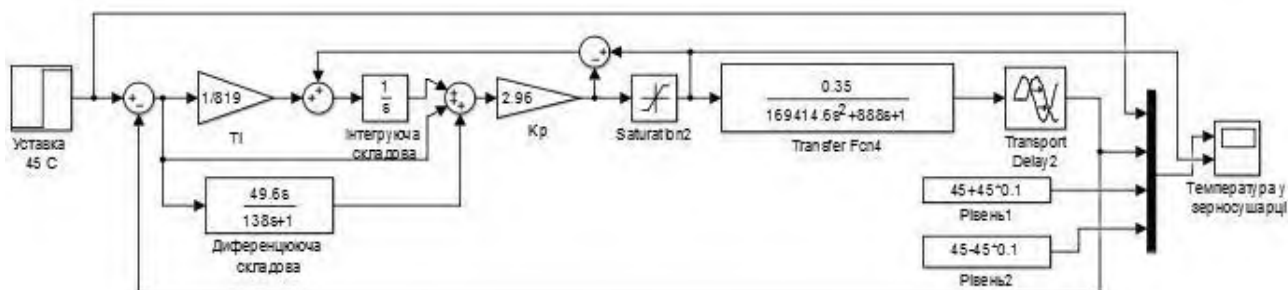


Рисунок 3.10 – Остаточна модель системи керування

Досліджується поведінка систем керування в умовах технологічних процесів, зокрема, їх стійкість та реакція на збурення. Під впливом перерв у технічному процесі сушіння зерна розуміється нерівномірність вологості зерна, що надходить у сушарку[10]. Якщо частина вологого зерна потрапляє до сушильної шахти, це може призвести до зниження температури зерна на виході. Натомість, якщо до сушильної шахти потрапить зерно з низькою вологості, це може підвищити температуру зерна на виході. У моделі системи

керування додано ступінчасте джерело сигналу, яке починає впливати через 5000 секунд після початку роботи системи. Відхилення від початкового або заданого значення відслідковується, а величина відхилення понад 5 °С вважається значною, оскільки вона може вплинути на якість процесу сушіння зерна.

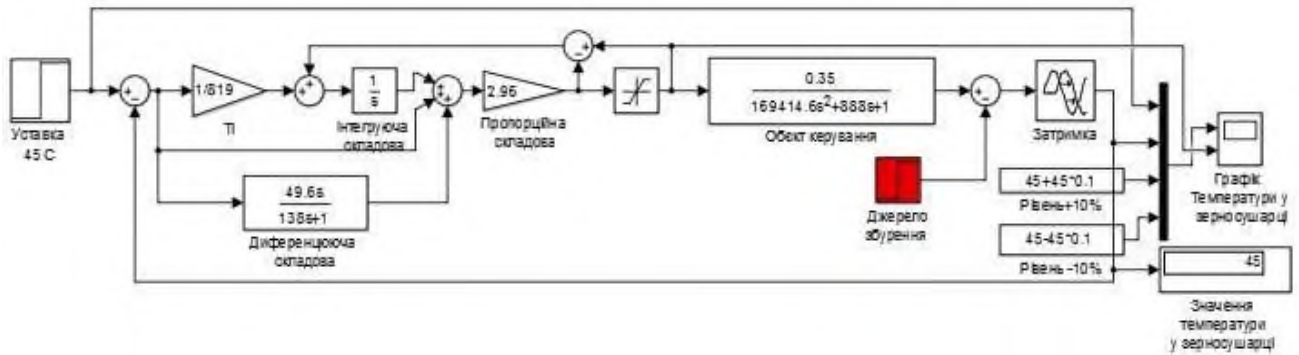


Рисунок 3.11– Модель перевірки системи керування на збурення

Таблиця 3.6 – Оцінка впливу непередбачених втручань на систему керування $k=0.35$

Значення температури зерна, як вплив збурення, °С	Значення температури зерна на виході системи керування, °С	Значення температури зерна, як вплив збурення, °С	Значення температури зерна на виході системи керування, °С
-1	45	+1	45
-2	45	+2	45
-3	45	+3	45
-4	45	+4	45
-5	45	+5	45
-6	45	+6	45
-7	45	+7	45
-8	45	+8	45
-9	45	+9	45

-10	45	+10	45
-11	45	+11	45
-12	44	+12	45
-13	43	+13	45
-14	42	+14	45
-15	41	+15	45
-16	40	+16	45
-17	39	+17	45
-18	38	+18	45

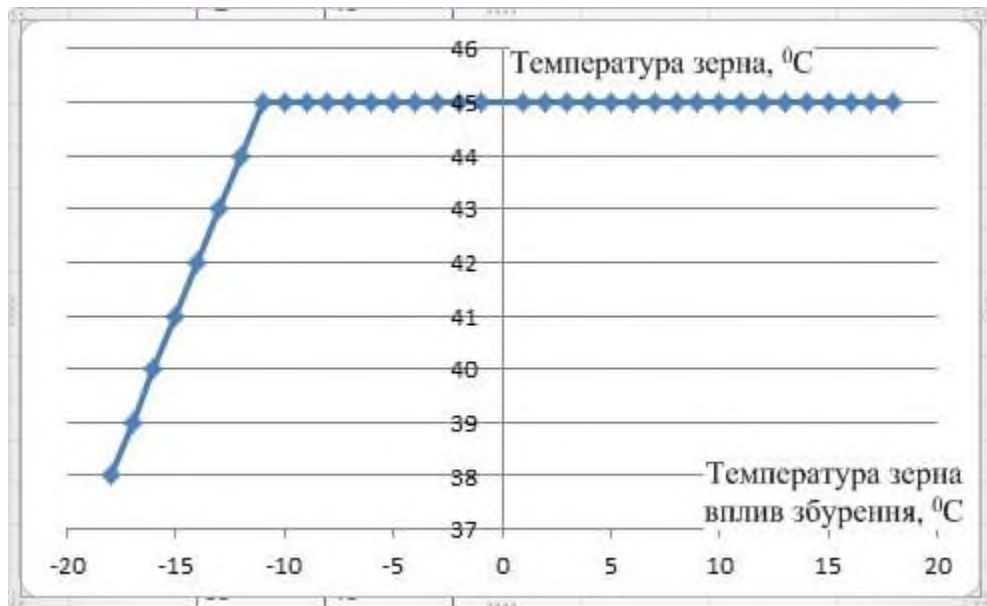


Рисунок 3.12– Графік аналізу впливу збурень на систему керування з коефіцієнтом 0.35.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

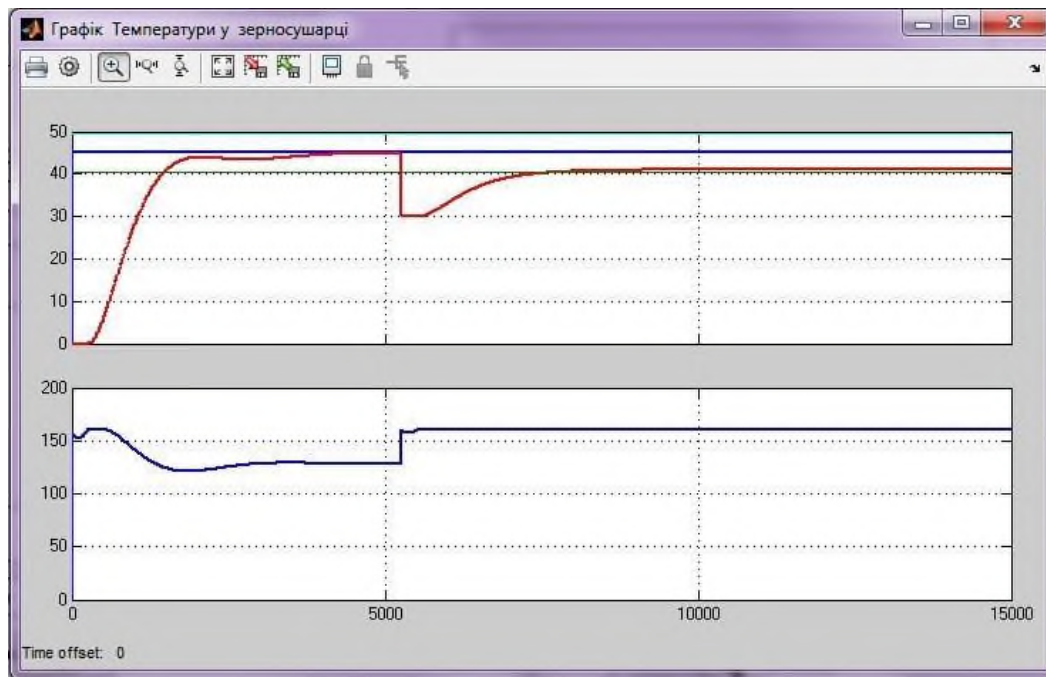


Рисунок 3.13 – Результати моделювання при впливі збурення температури зерна меншої на 15 °С, температура зерна на виході системи складає 41 °С

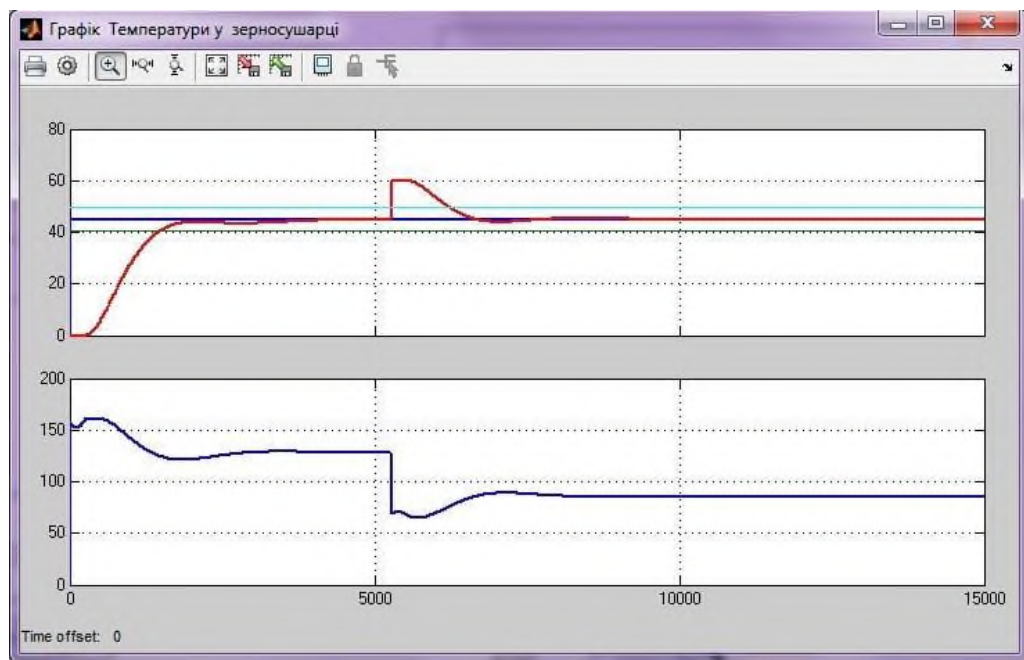


Рисунок 3.14 – Результати моделювання при впливі збурення температури зерна більшої на 15 0С, температура зерна на виході системи складає 45 0С

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Аналіз результатів моделювання показує, що негативний вплив збурення призводить до зниження температури зерна на виході на 1 °С при впливі мінус 12 °С, що перевищує критичне відхилення від 5 °С. Це відповідає абсолютному значенню 40 °С і мінус 16 °С в межах ударного впливу. Аналіз позитивного впливу збурення в діапазоні від плюс 1 °С до плюс 18 °С не відображає жодного впливу на вихідне значення системи керування. СК вдається компенсувати позитивне збурення до початкового значення. Проте, це не означає, що СК є ідеальною. Складний процес сушіння зерна в сушарці враховує лише один з багатьох параметрів, і інші показники якості зерна не враховуються.

Розуміння, що зерно з вищим вмістом вологи потребує більш тривалого процесу сушіння, призводить до необхідності зміни контрольованих коефіцієнтів[11]. У зв'язку з цим доцільно розглянути відхилення між початковим і заданим значенням при зміні коефіцієнта об'єкта керування. При $k=0,35$, максимальному значенні коефіцієнта, яке піддавалося контролю, значення зменшували з кроком 10%, звертаючи увагу на початкове значення системи керування. Метою цього експерименту є визначення критичного значення коефіцієнта, при якому вихідний параметр відхиляється більш ніж на 50 °С.

Таблиця 3.7 – Оцінка впливу зміни коефіцієнту на систему керування

Значення коефіцієнту об'єкту керування	Значення температури зерна на виході системи керування, °С
0,35	45
0,317	45

0,284	45
0,256	40,9
0,233	37
0,212	33,8

Згідно таблиці побудовано графік зміни параметрів.

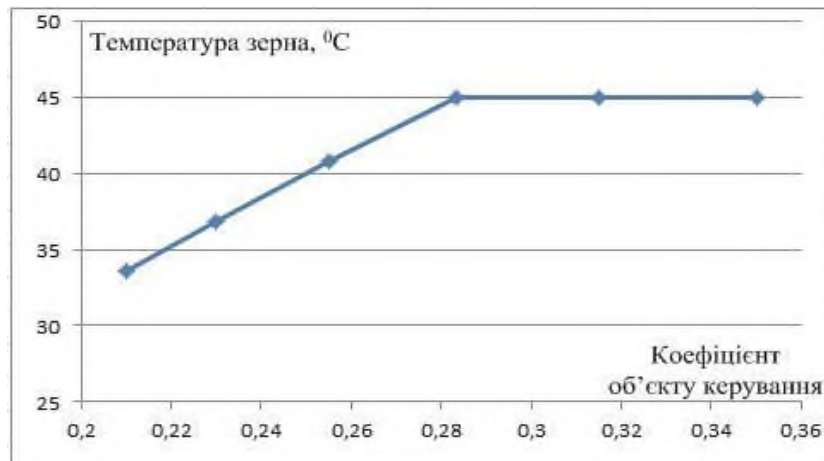


Рисунок 3.15 – Графік впливу зміни коефіцієнту на систему керування

Був проведений експеримент з вивчення впливу збурень на вихідний параметр системи, при цьому зменшувався коефіцієнт "к" об'єкта керування. Дослідження виконано за допомогою моделі системи керування у середовищі MatlabR2015b, а результати наведено у вигляді таблиць.

Таблиця 3.8 – Оцінка впливу збурення на систему керування $k=0.315$

Значення температури зерна, як вплив збурення, °C	Значення температури зерна на виході системи керування, °C	Значення температури зерна, як вплив збурення, °C	Значення температури зерна на виході системи керування, °C
-1	45	+1	45
-2	45	+2	45
-3	45	+3	45
-4	45	+4	45

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Згідно таблиць побудовано графік зміни параметрів.

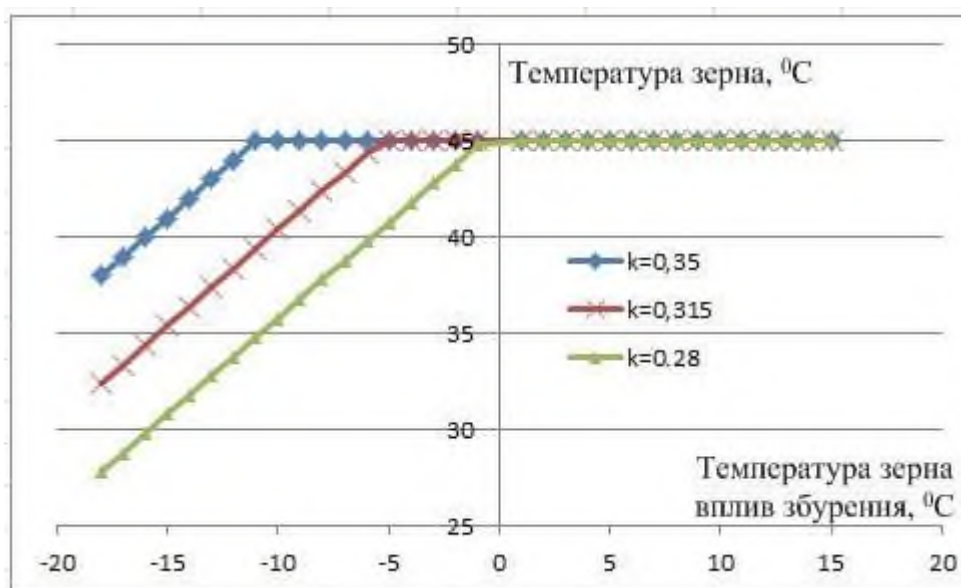


Рисунок 3.16– Графік тестування системи керування при різних значеннях коефіцієнта «к» об'єкта керування під впливом збурень

З графіка видно, що зменшення коефіцієнта k зменшує запас стійкості об'єкта контролю під впливом негативних величин збурень.

Вплив збурень на вихідні параметри системи керування пропорційний їхньому значенню та знаку, а також залежить від стійкості самої системи керування[12]. Сила, необхідна для компенсації збурень, пропорційна коефіцієнту " k " об'єкта керування і має межі за нижнім граничним значенням " $k=0,28$ ".

Надійність моделі перевіряли шляхом зміни параметрів об'єкта.

(Рис. 3.12): $K -10\%$, $T+10\%$.

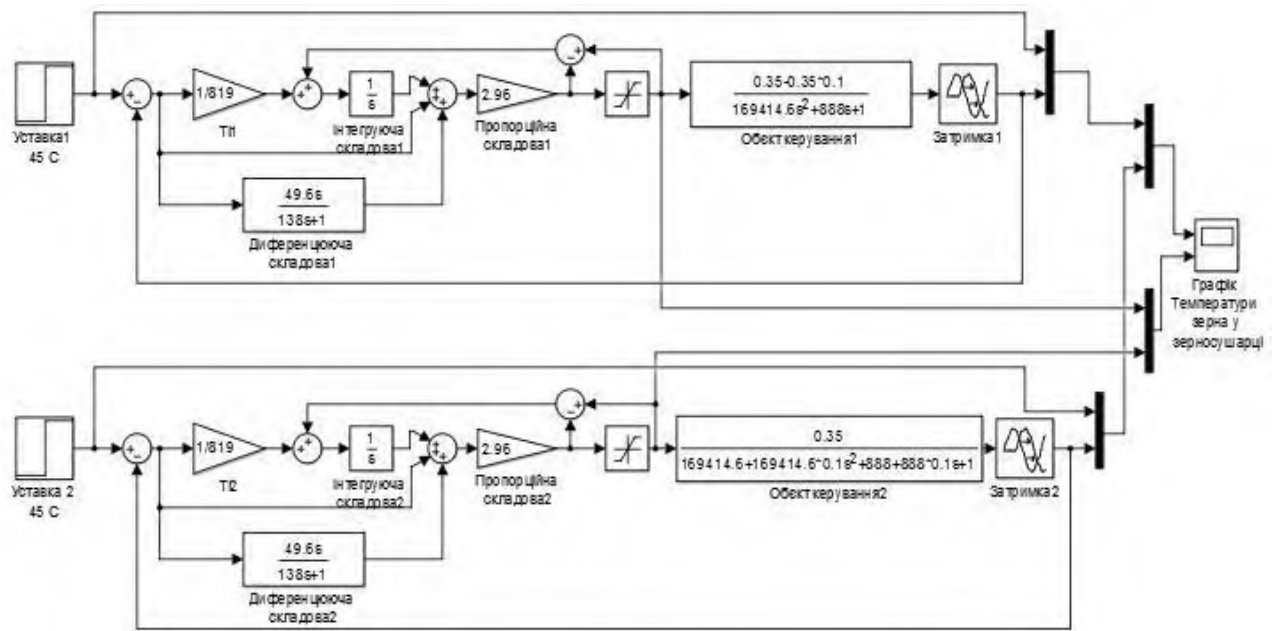


Рисунок 3.17 – Модель аналізу стійкості системи керування

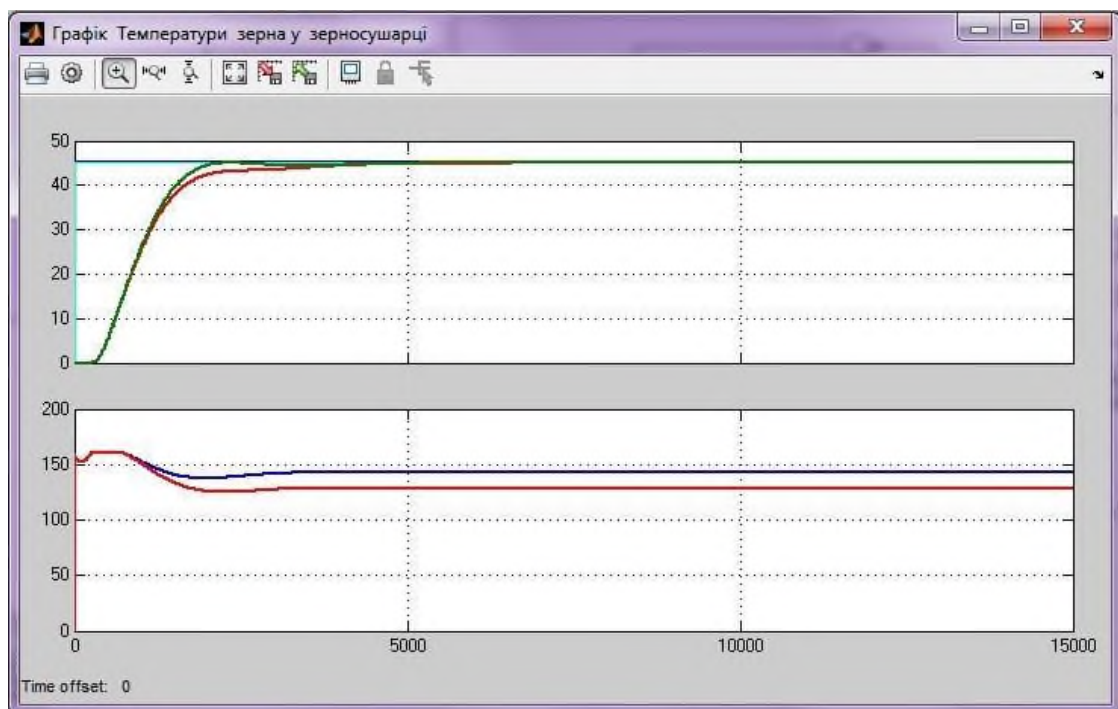


Рисунок 3.18 – Результати аналізу системи керування під час тестування її стійкості.

Результати показали (Рис. 3.18), що навіть при такій зміні параметрів об'єкта регулятор виконує свої функції відповідно до вимог.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

4. РОЗРОБКА ТА ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

4.1 Цифрова модель об'єкта управління.

Згідно з цим завданням, треба створити систему управління та програмне забезпечення для людино-машинного інтерфейсу з використанням SCADA zenon Supervisor7.10. Це програмне забезпечення призначене для створення програмних моделей як об'єктів управління. Модель управління складається з двох програмних модулів: контролеру і об'єкта управління.

Для перетворення моделі MATLAB у програмний текст всі елементи моделі повинні бути цифровими. Тому спочатку всі безперервні елементи в моделі системи керування замінюються цифровими елементами. Після цього модель розділяється на модель контролера та модель об'єкта керування. Після цього цифрова модель може бути перетворена на програмний код для програмного модуля.

Після проведення синтезу системи керування отримуємо безперервну модель, яка відповідає встановленим критеріям якості. Ця модель показана на Рисунку 4.1.

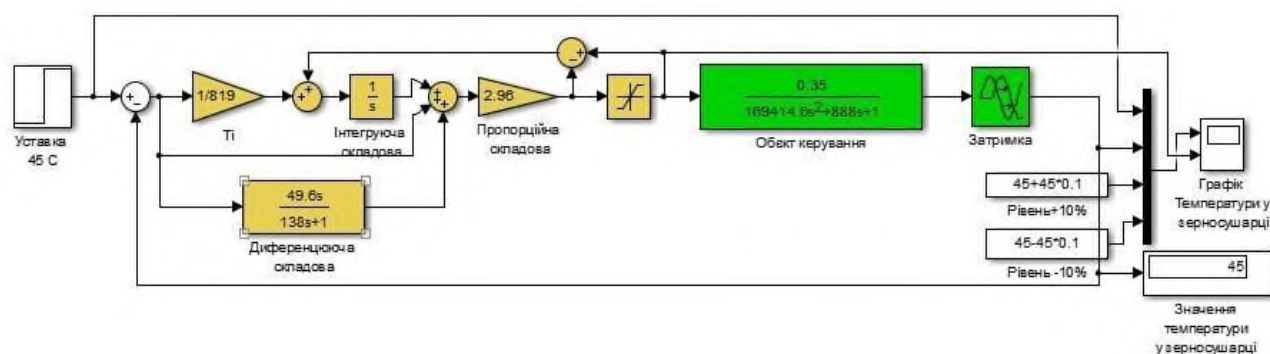


Рисунок 4.1 – Неперервна модель системи керування температурою зерна у зерносушарці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Для перетворення елементів моделі системи керування в цифровий формат необхідно визначити час дискретизації в системі. Виходячи з наданих даних, ми можемо повторити розрахунки з іншими параметрами.

Вихідні дані

Максимальна постійна часу об'єкта керування, T_{\max} :

- Для першого об'єкта $T_{\max 1}=0.003T$
- Для другого об'єкта $T_{\max 2}=0.002T$

Визначення часу вибірки

Час вибірки для кожного об'єкта визначається за формулою:

$$\text{cycle} = T_{\max} / 10$$

$$\text{cycle1} = 0.003 / 10 = 0.0003$$

$$\text{cycle2} = 0.002 / 10 = 0.0002$$

А також він повинен бути більше ніж:

$$\text{cycle1} = 0.003 / 200 = 0.000015$$

$$\text{cycle2} = 0.002 / 200 = 0.00001$$

Перевірка часу вибірки

Якщо отримане значення часу вибірки перевищує 100 мс (0.1 с), то час вибірки автоматично встановлюється на рівні 1000 мс (1 с). У нашому випадку отримані значення не перевищують 100 мс.

Перетворення передавальної функції в цифрову форму

Для першого об'єкта з постійною часу 0.003:

$$\gg \text{tfz} = \text{c2d}(\text{tf}([0.35],[3001]),1);$$

$$\text{b} = [\text{tfz.num1}(2)];$$

									ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
										46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата						

```
a=[1,tfz.den1(2)];
```

```
fprintf('b0=
```

b0=значення, a0=значення

Для другого об'єкта з постійною часу 0.002:

```
>>tfz=c2d(tf([1],[2001]),1);
```

```
b=[tfz.num1(2)];
```

```
a=[1,tfz.den1(2)];
```

```
fprintf('b0=
```

b0=значення,a0=

Ланка чистого запізнення

```
>>tfz=c2d(tf([1],'ioDelay',270),1
```

```
delayLength=tfz.ioDelay;
```

```
fprintf('Delaylength=
```

Delaylength=270.000

Для регулятора

Замінімо потрібні блоки з безперервних на цифрові і обчислимо параметри для диференційної ланки регулятора:

```
>>c2d(tf([49.61],[1381]),1
```

```
ans=0.359420289855072z-0.35942028985507
```

```
z-0.992779814873728
```

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Модель цифрової системи керування, показана на Рисунку 4.2, є результатом заміни безперервних елементів моделі системи керування цифровими параметрами з відповідним чином розрахованими значеннями параметрів.

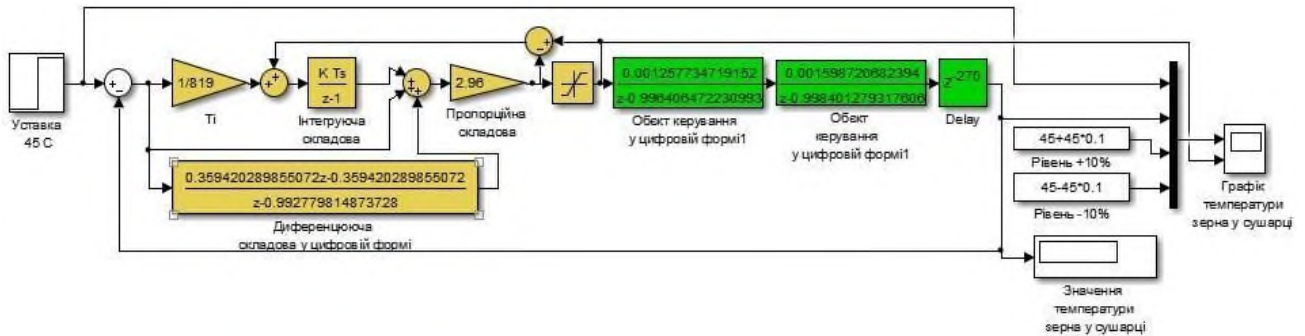


Рисунок 4.2 – Цифрова модель системи керування температурою

Розмір зерна в зерносушарці Оцінка придатності цифрової моделі системи керування безперервною моделлю виконується за допомогою нормованого середньоквадратичного відхилення.

Щоб оцінити безперервну цифрову модель, вкажіть цільове значення та запишіть його ефективне значення з періоду, який відповідає часу дискретизації цифрової моделі. Відхилення має бути менше 20%.

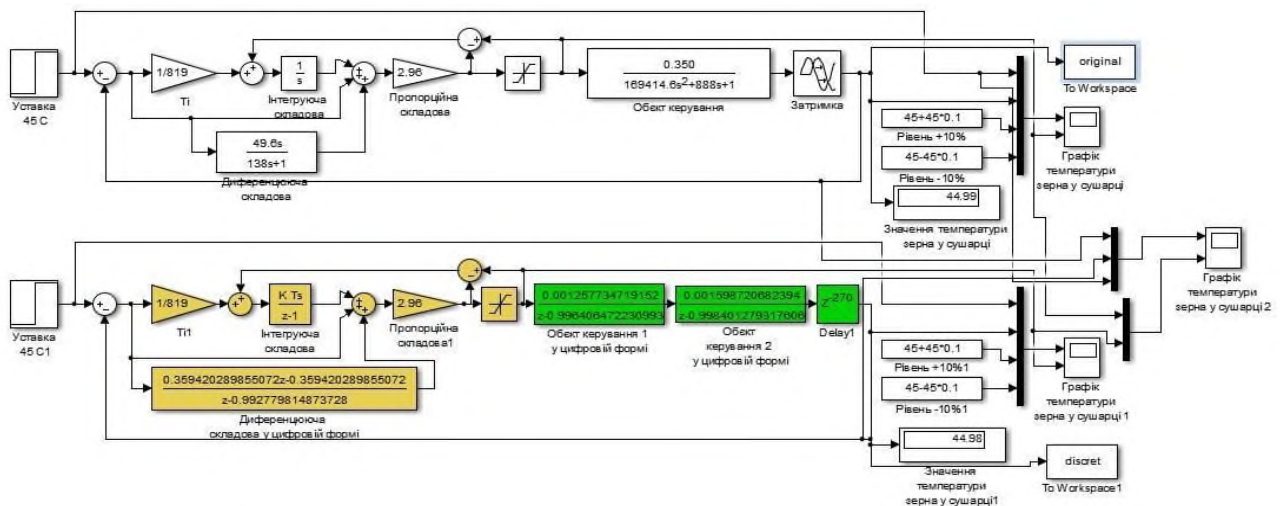


Рисунок 4.3 – Схема моделі порівняння неперервної та цифрової систем керування температурою зерна у зерносушарці

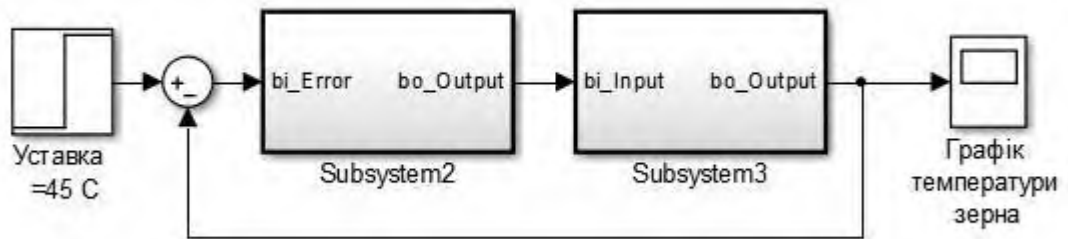


Рисунок 4.5 – Модель системи керування у вигляді двох підсистем

За допомогою стандартних інструментів математичного пакету MATLAB було перетворено блоки підсистеми, які відповідають контролерам, і блоки підсистеми, що відповідають об'єктам керування, у програмні модулі, використовуючи мову програмування стандарту MEK 61131-3 "Структурований текст". Подальший план включає розробку програмного забезпечення для SCADA системи zenon на основі цих модулів.

4.2 Розробка програмного забезпечення керування

Розробка програмного забезпечення для керування відбувається в SCADA-системі zenon для програмованого логічного контролера zenon Logic. Керуюче програмне забезпечення створено спеціально для програмованого логічного контролера zenon Logic, що є складовою частиною системи SCADA zenon.

Для SCADA-системи Zenon необхідно створити драйвер для керування пристроями Siemens S7TCP32. Тип драйвера повинен відповідати встановленій версії ПЛК. Сам драйвер автоматично переходить у режим моделювання програмного забезпечення. Час оновлення даних налаштовується на 1000 мс. Розробляється програмне забезпечення для керування об'єктом, яке використовує цей драйвер.

						ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
							50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			

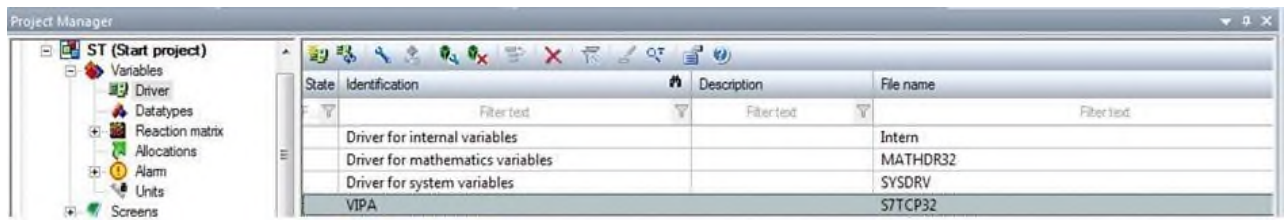


Рисунок 4.6 – Драйвера програмованого логічного контролеру

Програмне забезпечення об'єкта керування працює на програмному ПЛК Zenon Logic, який реалізує ПЛК VIPA та об'єкт керування в режимі моделювання.

На основі програмного тексту, отриманого з математичного пакету MATLAB, розроблено спеціальний функціональний блок "об'єкт".

Текст програми розроблено мовою програмування «структурований текст». Функціональний блок «I_Object» викликається в основному тілі програми, показаному на Малюнку 4.7.

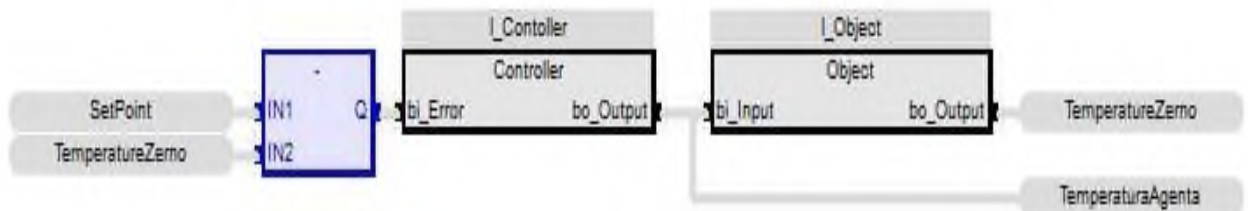


Рисунок 4.7 – Основна програма системи керування

На вході керованого блоку встановлюється фактичне значення температури осушувача «TemperaturaAgenta». Фактичне значення записується в змінну «TemperatureZerno» з виходу блоку. Змінні «TemperaturaAgenta» і «TemperatureZerno» є глобальними і належать до системи SCADA zenon.

Створено спеціальний функціональний блок з назвою "Контролер", який був розроблений на основі програмного коду, отриманого з MATLAB. Цей блок написаний на мові програмування "структурований текст".

Значення помилки встановлено на вході блоку системи керування. Це значення розраховується як різниця між налаштуванням «Set_Point» і ефективним значенням «TemperatureZerno» (0...100 °C). На виході приладу формується керуючий ефект і його значення копіюється в змінну «TemperatureAgenta» (Контрольний ефект - Температура осушувача 0...200°C).

Відповідно до завдання програмне забезпечення управління системою zenon SCADA повинно функціонувати на програмованому логічному контролері zenon Logic. Для цього в систему zenon SCADA додано відповідний проект zenon Logic "St". Змінні, показані на рисунку, були додані для зв'язку з системою SCADA. 4.8.

State	Name	Id...	Measuring unit	N...	Dat...	O...	Bit...	Ali...	S...	Driver	Data type	Decimals	Sta...
F. Y	Filtertext	Y	Filtertext	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Filtertext	Filter	Filter	F...
	TemperaturaAgenta		C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	TemperatureZerno		C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	SetPoint		C	0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	0	0

Рисунок 4.8 – Змінні програмованого логічного контролера

4.3 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Під час перевірки роботи програмного забезпечення було використано симуляційний режим. Замість реального програмованого логічного контролера використовувався програмний контролер, який був спроектований з моделлю об'єкта керування.

Під час аналізу було виявлено, що перехідний процес управління температурою нагріву зерна в зерносушарці в середовищі Zenon відповідає моделі системи керування, що була розроблена у середовищі Matlab.

Тренди відображають аналогічну динаміку зміни температури нагріву зерна (Мал 4.13). Форма кривої також збігається з представленою на зображенні. 4.4.

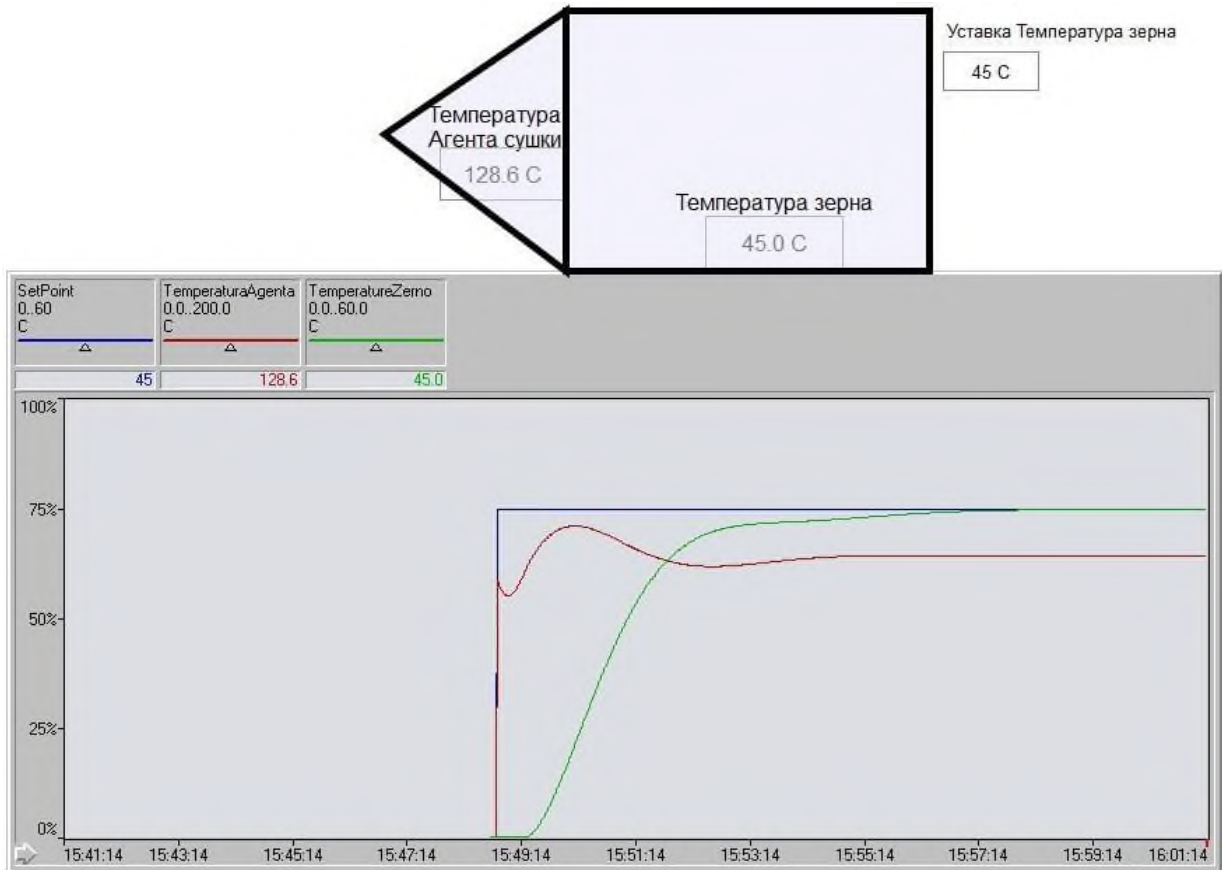


Рисунок 4.9 – Зображення моніторингу зміни температури нагріву зерна у зерносушарці

ВИСНОВКИ

Для досягнення цілей роботи обрано комплекс технічних засобів на основі мікропроцесорного управління VIPA 200 та SCADA системи Zenon.

Для шахтних зерносушарок з каналом керування «Температура десиканту – Температура зерна» передаточна характеристика – неперіодична вторинна ланка із затримкою 270 секунд. Дослідження з використанням U-подібних ефектів показали симетрію моделі та відсутність інтегрованого компонента. Графічний аналіз об'єкта на основі його вихідних характеристик після застосування вхідного сигналу показав, що має час наростання приблизно 1450 секунд, час досягнення стабілізації приблизно 2500 секунд і відсутність перерегулювання.

Для процесу сушіння зерна в шахтній зерносушарці за каналом «Температура десиканта – Температура зерна» створено модель системи керування, визначено структуру та параметри контролера та функціональні можливості системи, було оцінено за запропонованими критеріями. Визначено допустимі межі зміни коефіцієнта «к» під впливом збурень на вихідні параметри системи керування. Вплив збурення на вихідні параметри системи керування прямо пропорційний і залежить від знака та величини збурення.

Для об'єкта керування з коефіцієнтом $k=0,35$ збурення має значний вплив на вихідні параметри від негативного значення збурення 16. Позитивні значення збурень не впливають на вихідні параметри.

Коли коефіцієнт 'к' зменшується, вплив завад на вихідні параметри системи керування стає ще більшим. Критичне значення коефіцієнта 'к' становить 0,28. При цьому значенні коефіцієнта СК втрачає запас стійкості під впливом негативних збурень і потребує перерахунку параметрів регулятора.

На основі безперервної моделі системи керування створено цифрову модель. З цієї моделі вибирається модель об'єкта правила та модель

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

контролера. Стандартними засобами математичного пакету MATLAB були отримані програмні модулі для реалізації об'єктів керування та контролерів на мові структурованого текстового програмування.

На основі цих програмних модулів розроблено програмне забезпечення для програмованого логічного контролера Zenon Logic, який є частиною SCADA-системи Zenon Systems.

Система Zenon SCADA створює людино-машинний інтерфейс, який відображає інформацію про технічні процеси, зміни температури, хронологічний список подій і список інформації про тривогу.

Розраховано капітальні та експлуатаційні витрати на реалізацію проекту автоматичного керування зерносушильними технологічними комплексами. Встановлено термін окупності проекту, при недотриманні необхідної вологості зерна термін окупності становитиме $T_p=0,0197$ року. Впровадження нових систем автоматичного управління підвищує надійність управління комплексом, зменшує кількість аварій і дозволяє випускати більш якісну продукцію, тому її впровадження є економічно вигідним і ефективним рішенням.

Розроблено інженерно-технічні заходи щодо усунення небезпечних і шкідливих факторів при управлінні технологічними лініями сушіння зерна. Виконано розрахунки захисного заземлення, встановлено вимоги пожежної безпеки при експлуатації зерносушарок, проведено протиаварійні інструктажі.

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 19.201-78. ЕСПД. Єдина система програмної документації. Технічне завдання. Вимоги до змістом і оформленням. - М.: Держстандарт, 1982. - 128 с.
2. Державна проволочко-зернова компанія корпорація України Режим доступа: [www.URL: https://www.pzcu.gov.ua/ua/branches/centralregion/8](https://www.pzcu.gov.ua/ua/branches/centralregion/8).
3. Приватне акціонерне товариство «Вінницький олійножировий комбінат» [www.URL: http://vmzhk.vioil.com](http://vmzhk.vioil.com).
4. Купченко А. В. Сучасний стан та тенденція розвитку потужності щодо зберігання зерна в господарствах України / А. В. Купченко / – 2012. – №4. – С. 32–35.
5. Горелка МДГГ. – Режим доступа: [www.URL: http://gorelka.com.ua/ru/gorelka_mdgg_foto.html](http://gorelka.com.ua/ru/gorelka_mdgg_foto.html) – 01.12.2021 р.
6. Пшениця. Технічні умови : ДСТУ 3768:2004. – [Чинний від 2004-05-28].– К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 16 с. – (Національний стандарт України)
7. Термоперетворювачі опору з вихідним сигналом 4–20мА.
8. Стрельченко Л.В., Дубковецький І.В., Малезик І.Ф. Удосконалення процесу сушіння білкових композицій конвективно-терморадіаційним способом. Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини: тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. до 25-річчя факультету обладнання та технічного сервісу ХДУХТ, 29 жовтня 2015 р. Харків: ХДУХТ, 2015. С. 39-40.
9. ГОСТ 34.003-90. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Терміни, і визначення. - М.: Держстандарт, 1992. - 54 с.
10. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.

											ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
												56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата								

11. Hyman, Anthony. Charles Babbage, pioneer of the computer. — Oxford University Press, 2014.
12. Randell, Brian. The Origins of Digital Computers: Selected Papers.. — 2003. Зм. Лист № докум. Підп. Дата СУдн-94П.151.02.ПЗ Дата Лист 46
13. Анісімов А.В. Інформаційні системи та бази даних: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. / Анісімов А.В., Кулябко П.П. – Київ. – 2017. – 110 с.
14. Антоненко В. М. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навч. посібник / В. М. Антоненко, С. Д. Мамченко, Ю. В. Рогушина. – Ірпінь : Нац. університет ДПС України, 2016. – 212 с

					ДП.АКІТ.8872598.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57