

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

УДК 004.4;24:631.234

**ПОГОДЖЕНО**  
Директор ННІ

енергетики, автоматики і енергозбереження  
(назва факультету (ННІ))

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри

автоматики та робототехнічних систем  
(назва кафедри)

ім. акад. І.І. Мартиненка

Каплун Віктор Володимирович  
(Підпис) (ПІБ)

“ ” 2022 р.

Лисенко Віталій Пилипович  
(Підпис) (ПІБ)

“ ” 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

на тему: Дослідження та вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом сушіння зерна в шахтній зерносушарці із використанням комплексу технічних засобів фірми Нібулон

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(код і назва)

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-наукова  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Керівник кваліфікаційної магістерської роботи**

кандидат технічних наук, доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Дудник Алла Олексіївна  
(ПІБ)

кандидат технічних наук, доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Решетюк Володимир Михайлович  
(ПІБ)

**Виконала**

(підпис)

Могилко Танна Андріївна  
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ

ІНІ енергетики, автоматики і енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики та  
робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка

доктор технічних наук, професор  
(науковий ступінь, вчене звання)

Лисенко Віталій Ілліпович

(підпис)

(ПІБ)

2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТЦІ

Могилко Ганни Андріївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

(код і назва)

Магістерська програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: Дослідження та вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування процесом сушіння зерна в шахтній зерносушарці із використанням комплексу технічних засобів фірми Нібулон

затверджена наказом ректора НУБіП України від "01" лютого 2021 р. № 176

«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру  
2022.05.15/

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Завдання кафедри на розробку магістерської роботи. Отримана інформація про систему автоматизації на підприємстві. Відповідна наукова література, що відповідає тематиці магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу
2. Дослідження об'єкта автоматизації
3. Вибір регулятора та обґрунтування його параметрів
4. Дослідження системи автоматизації
5. Схеми системи автоматизації
6. Техніко економічне обґрунтування

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання "01" лютого 2022 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи

(підпис)

(підпис)

Дудник А.О.

(прізвище та ініціали)

Решетюк В.М.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняла до виконання

Могилко Г. А.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

**ВСТУП**

У сучасному світі автоматизація є важливим процесом, який зменшує кількість людей, залучених до різноманітних процесів, і замінює їх математичними та технічними методами. Він автоматично підвищує продуктивність, покращує якість продукції та впорядковує сам виробничий процес, дозволяючи більш ефективно використовувати необхідні ресурси.

Агропромисловість сьогодні дуже важлива в нашій країні. Завданням агропромисловості є підтримання сталого сільськогосподарського виробництва. Її мало виростити і збирати, її потрібно правильно підготувати до зберігання. Важливо створити всі необхідні умови і контролювати процес обробки і зберігання. Для цього потрібна певна технічна база: складські приміщення, обладнані необхідним обладнанням для контролю процесу зберігання, підготовки до зберігання, очисних споруд, сушарок. Під час процесу сушіння фундамент виключає автоматичні втрати, мінімізує вплив людини та усуває великомасштабні втрати, спричинені нещасними випадками на виробництві.

Повністю автоматизувати процес сушіння дуже важко, але спостерігати без автоматичного контролю процесу неможливо. [1]

В нашій країні сушарки встановлювали ще з радянських часів, на той час рівень розвитку виробництва був автоматизований, але сьогодні це не відповідає потребам підприємств. Вони морально і фізично дуже старі, вимагають постійного обслуговування та ремонту, а за відсутності запчастин часто не працюють. В результаті оператор сушарки залишається некерованим і покладається виключно на свій досвід. Методи сушіння зерна, засновані на досвіді та вміннях оператора, поступово втрачають свої позиції. Професіоналізм і відповідальність за сушіння – головні вимоги для підтримки якості та кількості врожаю, а також економічності цієї енергоефективної системи. Сушіння має надмірну витрату палива, а масштабні втрати якості сушіння стають все

дорожчими, тому все більше бізнес-лідерів розглядають можливість автоматизації процесу сушіння. [1]

**Мета роботи** полягає у вдосконаленні комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою сушіння зерна в шахтній зерносушарці, що забезпечує зниження вологості в зерні, для подальшого тривалого зберігання.

**Об'єктом дослідження** є процес керування гранично допустимою температурою та необхідною вологістю зерна в процесі його сушіння.

**Предметом дослідження** є комп'ютерно-інтегрована система керування процесом сушіння зерна з оптимальним ідентифікатором та еталонною моделлю.

### **Задачі дослідження**

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати властивості зерна як об'єкта сушіння, способи та режими процесу сушіння.

2. Побудувати та дослідити математичну модель процесів зерносушарки, як об'єкта з розподіленими параметрами та перейти до еквівалентної системи із зосередженими параметрами.

3. Для системи керування температурою в зерносушарці розробити та побудувати функціонально-структурну та структурно-алгоритмічну схему, яка з необхідною якістю відпрацьовує завдання процесу сушіння зерна.

4. Розробити підсистему ідентифікації для моніторингу параметрів сушіння як об'єкта керування, що створює фіксовані та стохастичні властивості об'єкта керування та практичний надійний САК у внутрішньому та зовнішньому середовищі.

5. Отримати неупереджені та ефективні оцінки передатних функцій окремих каналів сушарки для реалізації оптимального адаптивного алгоритму для індивідуального регулювання індивідуальної температури, температури сушіння та вологості, наприклад, сушіння багатовимірного об'єкта з поперечними зв'язками.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Завдяки конструкції та досконалості системи управління створені умови для широкого використання таких систем у невеликих господарствах, що може допомогти вирішити логістичну проблему транспортування зерна від виробника до споживача.

2. Впровадження відповідної системи керування процесом сушіння виявилось ефективною надійною системою для стабілізації фактичних значень температури та вологості зерна.

3. За рахунок використання сучасних цифрових технологій удосконалено систему управління.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 3  |
| <b>РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ</b>   |    |
| 1.1 Характеристика технічного процесу післязбиральної обробки.....                                  | 9  |
| 1.2 Об'єкт керування.....   | 11 |
| 1.2.1 Загальна характеристика об'єкта керування.....  | 12 |
| 1.2.2. Основні технічні характеристики модульних зерносушарок безперервної дії.....                 | 14 |
| 1.3 Автоматизація зерносушарки Mathews Comran.....  | 15 |
| 1.3.1. Автоматизація швидкості проходу зерна відповідно до вологості зерна на виході.....           | 15 |
| 1.3.2. Автоматизація температури в зоні сушки.....  | 15 |
| 1.3.3. Автоматичне управління теплогенератором.....   | 15 |
| <b>Розділ 2 МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ</b>  |    |
| 2.1 Модель об'єкта керування.....   | 17 |
| 2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування.....   | 18 |
| <b>Розділ 3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ</b>  |    |
| 3.1 Особливості моделі системи автоматичного керування агенту сушіння у сушильній зоні сушарки..... | 20 |
| 3.2 Синтез системи автоматичного керування агенту сушіння у сушильній зоні сушарки.....             | 22 |
| <b>Розділ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА</b>  |    |
| 4.1 Цифрова модель системи керування.....   | 28 |
| 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування.....  | 32 |
| 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.....                              | 33 |
| 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення.....  | 34 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| Розділ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА   |  | 00 |
| 5.1. Вибір пускозахисної апаратури.....   |  | 36 |
| 5.2 Вибір проводів та кабелів.....  |  | 37 |
| 5.3. Розробка електротехнічних схем<br>автоматизації.....   |  | 39 |
| 5.4. Розробка схеми з'єднань.....   |  | 39 |
| 5.5. Розробка схеми<br>підключень.....  |  | 40 |
| 5.6. Розробка загального виду щита керування.....   |  | 41 |
| РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА  |  | 00 |
| 6.1 Обґрунтування доцільності автоматизації процесу сушіння зерна в<br>зерносушарці шахтного фірми Mathews Company..... |  | 42 |
| 6.2 Розрахунок капітальних витрат для автоматизації процесу сушіння.....  |  | 43 |
| Висновок.....   |  | 46 |
| Перелік посилань.....   |  | 47 |
| Додатки.....  |  |    |

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕНЬ

# НУБІП України

ОК – об'єкт керування;

САК – система автоматичного керування;

ЛМІ – людино-машинний інтерфейс;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПК – персональний комп'ютер;

ПП – перехідний процес;

ТП – технологічний процес;

MC – Mathews Company;

SCADA – Supervisory control and data acquisition system

Система диспетчерського керування та збору даних

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України



# НУБІП України

## РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 1.1 Характеристика технічного процесу післязбиральної обробки

Якість новозібраного зерна в основному залежить від стану стиглості та вмісту води під час збирання та подальшого зберігання. Для отримання насіння з високим посівом і врожайністю, необхідно дотримуватись стандартів збирання насіння та техніки післязбиральної обробки.

Важливим етапом процесу післязбиральної обробки насіння є сушка, яка є складною та енергоємною операцією. Своєчасне та точне сушіння не тільки покращує стабільність при зберіганні, але й покращує якість насіння.

Тільки після видалення всієї зайвої вологи зі свіжозібраної зернової маси та просушування зерна можна очікувати ще більш надійного зберігання продукту.

Завдяки сушінню відбувається видалення рідини з матеріалу, що призводить до збільшення відносного вмісту сухої частини.

Відомо, що в висушених зернових масах всі живі інгредієнти, крім шкідників і комах, знаходяться в абіотичному стані. Сухе зберігання зерна є основним засобом підтримки високої життєздатності насіння в партіях зерна всіх культур, а також підтримання якості їстівного зерна для тривалого зберігання.

Сушка зерна потрібна не тільки для зниження вологості, а й для оптимального режиму сушіння для фізіологічного дозрівання зерна. Це покращує якість зерна та знищує шкідників [9].

Дуже важливу роль у сушці відіграють вид і призначення зерна.

Таблиця 1.1

# НУБІП України

## Стан по вологості деяких культур

| Культура                              | Волога зерна % |       |                   |       |        |       |
|---------------------------------------|----------------|-------|-------------------|-------|--------|-------|
|                                       | Сухе           |       | Середньої сухості |       | Вологе |       |
|                                       | до             | понад | до                | понад | до     | понад |
| Пшениця, жито, ячмінь,<br>рис, гречка | 14.0           | 14.0  | 15.5              | 15.5  | 17.0   | 17.0  |
| Кукурудза в зерні                     | 14.0           | 14.0  | 16.0              | 16.0  | 18.0   | 18.0  |
| Соняшник                              | 7.0            | 7.0   | 8.0               | 8.0   | 9.0    | 9.0   |

Усі методи сушіння зерна враховують сорбційні та інші властивості. Зерна, що підлягають висушенню, є організмами з пористою капілярною структурою.

Класифікація способів і засобів для виконання технологічного процесу зневоложення зерна Селівйова В.М. [18]. Існуючий метод автор поділяє на механічний та тепловий. Ця класифікація охоплює лише методи сушіння, які широко використовуються в сільському господарстві.

Більш повна класифікація існуючих способів сушіння показана на рис. 1.1.

Відповідно до цієї класифікації, метод сушіння вологого матеріалу в післязбиральній обробці грубо поділяється на спосіб сушіння без зміни агрегатного стану матеріалу і спосіб сушіння шляхом зміни агрегатного стану матеріалу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

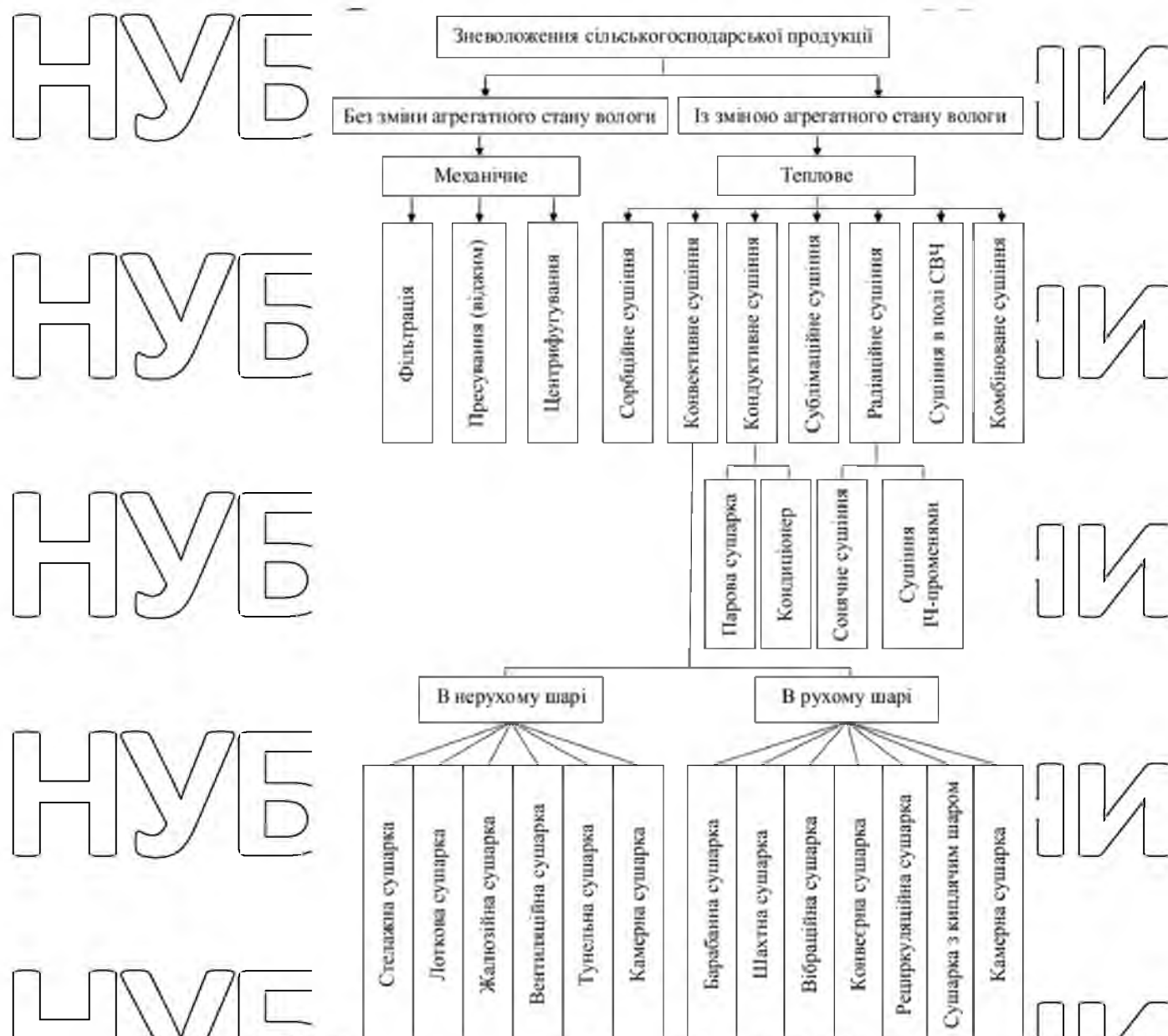


рис. 1.1. Класифікація способів зневоложення і типів сушарок

Перший принцип зневоднення знайшов своє втілення в механічному (фільтрація, пресування, центрифугування) і сорбційному (змішування з гігроскопічними речовинами) способах сушіння.

Механічний спосіб використовується, коли речовина має вільну вологу. Використовуйте тільки для видалення вільної води з зерна (наприклад, після замочування під дощем, після вологої дезінфекції або після сортування за щільністю рідини).

Другий принцип зневоднення – теплове сушіння. Це пов'язано з подачею тепла до матеріалу для випаровування води. Сила тепло- і вологообміну в

основному обумовлена різницею парціального тиску водяної пари, що визначається різницею зерна і температури сушіння. Тому класифікація методів сушіння заснована на способі передачі тепла до висушеного зерна. Залежно від способу передачі тепла розрізняють конвекційний, провідниковий (контактний), молекулярний (сублімаційний), радіаційний, електричний (струм високої частоти), теплокомбінаційний.

## 1.2 Об'єкт керування

Компанією ТОВ СП "НІБУЛОН" було імпортовано дві сушарки, світового виробника Mathews Company, для виробництва зерна загальною продуктивністю 150 т/год по пшениці при скороченні вологості з 17% до 12%.

Зерносушарки MC призначені для зниження вмісту вологи в зернах у різних культурах, пропускаючи їх через нагрітий газоподібний теплоносії (десикант).

Зерносушарки цієї компанії мають цинкове покриття. У найбільших моделях для верхньої модульної панелі використовується алюміній, тому металева іржа відсутня. Це запобіжить оснащення зерносушарки додатковою системою захисту.

Модульна конструкція цієї сушарки означає, що її можна легко збільшити за потреби, встановивши додаткові модулі – продуктивність сушарки може збільшуватися паралельно з потребами оператора. Як паливо для таких зерносушарок використовують природний газ і пропан.



рис.1.2. Зовнішній вигляд зерносушарки Mathews Company

Завдяки автоматичному регулюванню подачі палива в пальник забезпечується температура сушіння, необхідна для ефективного використання палива.

### 1.2.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Зерносушарки компанії MC підходять для роботи з різними культурами, включаючи дрібні види, так як є варіанти комплектації перфорацією 3-х різних діаметрів: 2,34 мм (звичайна перфорація), 1,53 мм (для дрібнонасінних), і 1,27 мм (для трав'яних). Оснащена кількома системами протипожежного захисту, контролем газопостачання та автоматичною сигналізацією. Сушарка також оснащена системою рекуперації тепла, що дозволяє економити до 30% палива.

Пульт дистанційного керування з принтером і монітором вологості дає можливість контролювати температуру опалювального повітря, подачі палива та приладів.

Система автоматизації безперервної роботи модульних зерносушарок. Автоматизація сушарки позбавляє оператора від керування механіч. мом. підвищуючи безпеку та надійність обладнання. Автоматично регулює швидкість

розвантаження відповідно до заданої температури зерна. Наприклад, ви можете чітко побачити індикатори на вході, зрозуміти, що ви хочете отримати на виході, і встановити відповідні параметри.

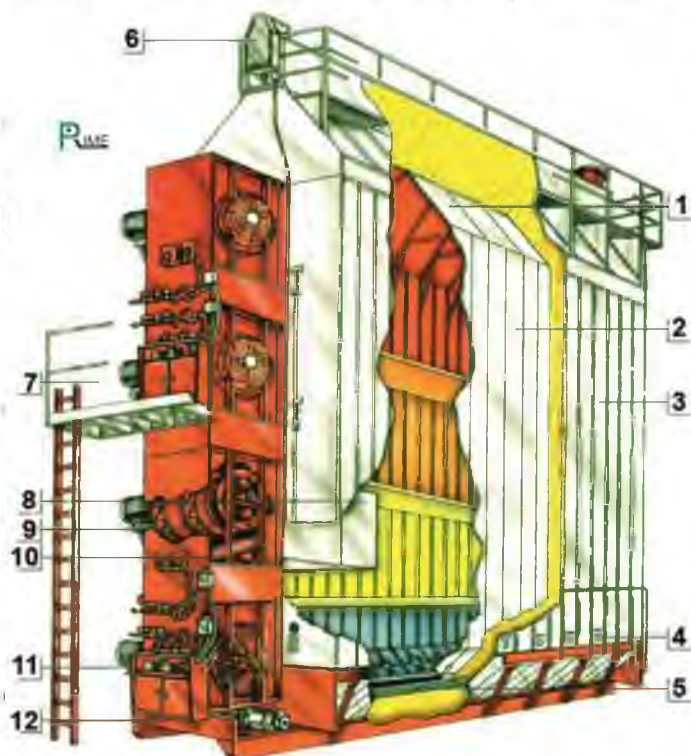


рис. 1.3. Технологічна схема зерносушарки Mathews Company

Опис зерносушарки:

1. Панелі верхньої приймальної секції.
2. Терморезистор відстежує температуру зерна.
3. Зовнішнє решето виконано з алюмінію внутрішнє з оцинкованої сталі. Як опція, поставляються решета з нержавіючої сталі.
4. Лючки для швидкої розвантаження, дозволяють швидко розвантажити зерносушарку при займанні.
5. Валки подають зерно на вивантаження по всій довжині зерносушарки, керують швидкістю проходження зерна.
6. Електродвигун завантажувального шнека. Всі електродвигуни мають захист від механічного і теплового перевантаження, а також магнітні пускачі.

7. Верхній обслуговуючий майданчик входить в стандартну поставку.

8. Камера подачі нагрітого повітря в сушильну камеру.

9. Відцентрові вентилятори двостороннього забору повітря.

### 1.2.2. Основні технічні характеристики модульних зерносушарок безперервної дії:

- Модульні зерносушарки Mathews Company працюють в двох режимах - в режимі «сушіння та охолодження» (безперервний) або режимі «сушіння» (порційний).
- Заводська попередня збірка забезпечує швидкий монтаж сушарок на майданчику.
- Товщина зернового стовпа складає 30 см, що забезпечує рівномірне зняття вологи з внутрішніх і зовнішніх стінок зернового стовпа.
- Система автоматичного контролю температури автоматично перенастроює проходження потоку зерна через зерносушарку при різних рівнях вологості. Швидкість вивантаження продукту сушіння регулюється на підставі показань максимально точного терморезистора.
- Алюмінієві валки, розташовані по всій довжині вивантаження сушарки, керуються електродвигуном з автоматично змінною швидкістю обертання, і регулюють швидкість вивантаження зерна із сушарки.
- Регульований пальник забезпечує максимальний ККД при всіх рівнях робочої температури.
- Панель управління зерносушарки, дозволяє регулювати температуру нагрівання повітря, подачу палива (рідкого пропану або природного газу), керувати роботою електричних механізмів і, взагалі, проста в експлуатації.
- На сушарці використовуються решета з отворами 1,2x12 мм, які підходять для сушіння різних культур, включаючи ріпак.

### 1.3 Автоматизація зерносушарки Mathews Company

Дана зерносушарка має такі системи автоматизації:

- автоматизація швидкості проходу зерна відповідно до вологості зерна на виході;
- автоматизація температури в зоні сушки;
- автоматичне управління теплогенератором.

Розглянемо кожну систему автоматизації.

#### 1.3.1. Автоматизація швидкості проходу зерна відповідно до вологості

зерна на виході.

Дуже важливим фактором для отримання хороших результатів на виході є забезпечення правильної швидкості подачі. Зміна параметрів на початку сушіння вплине на наступні результати.

Для цього до шахти сушарки на виході із зони нагріву зерна прикріплюють вологомір. Таким чином, як тільки вологість зерна нижча за норму, система реагує і змінює час перебування зерна в сухій зоні.

#### 1.3.2. Автоматизація температури в зоні сушки

Також важливо контролювати і регулювати температуру сушіння. Коливання температури призводять до поганій якості сушіння та швидкого загнивання зерна.

Температуру сушіння можна встановити залежно від вологості зерна на вході в сушарку. Система автоматично підтримує оптимальну температуру зерна в зоні сушіння. Це виключає ситуацію, коли лущиння зерна занадто сухе, а їх ядра зварені. Це зерно довго не зберігається і не дає нового врожаю.

#### 1.3.3. Автоматичне управління теплогенератором.

Точність підтримки осушувача зерна є важливим фактором в роботі сушарки, завдяки цьому можна запобігти перегріву частинок у сухій зоні. Це



економічно недовільно, оскільки кожен раз при зміні температури використовується надлишок палива.

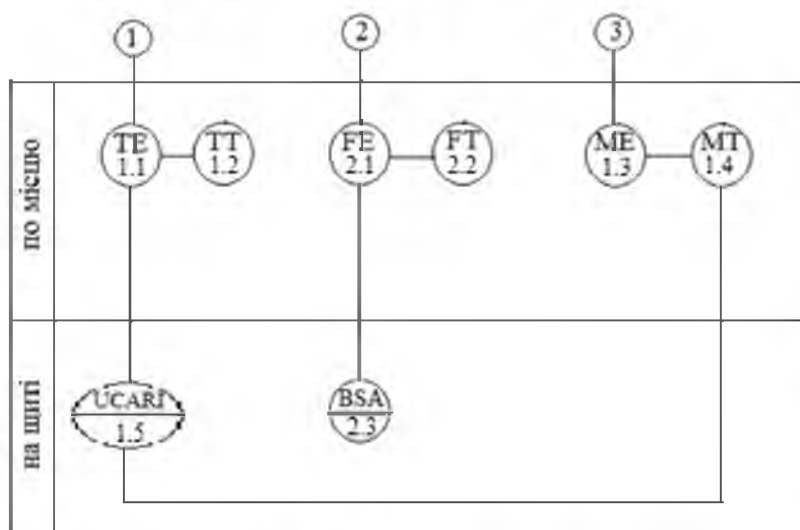
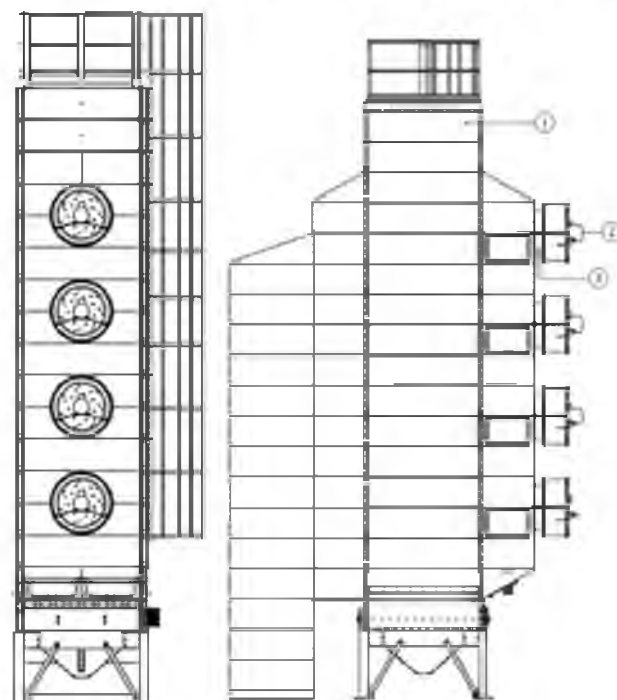


Рис.2.3 Функціональна схема модульної зерносушарки

В даній роботі розглянуто один контур: контроль температури сушіння зерна.

На даній схемі, що зображена на рис.2.3, встановлено датчики, які розташовані на зерносушарці, для контролю температури сушіння зерна.

TE – датчик температури;

TT – перетворювач температури;

UCARI – реєстрація показників;

FE – витратомір;  
 FT – перетворювач витрат;  
 BSA – тензодатчик;  
 ME – вологомір;

MT – перетворювач вологості.

## Розділ 2 МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 2.1 Модель об'єкта керування

На підставі результатів та аналізу досліджень, проведених у бакалаврській роботі (додаток А), виконуються дослідження об'єкта керування та синтез системи керування в магістерській роботі, що фактично є їх продовженням.

Було проведено структурну та параметричну ідентифікацію функціонування об'єкта керування у бакалаврській роботі - зерносушарка МС, для якої виконали розробку системи автоматизованого керування гарячої зони сушіння.

Методом активного експерименту шляхом фіксування показань температури і впливу було отримано динамічні характеристики у вигляді подачі керуючого впливу. На рисунку 2.1 наведена отримана модель об'єкта керування:

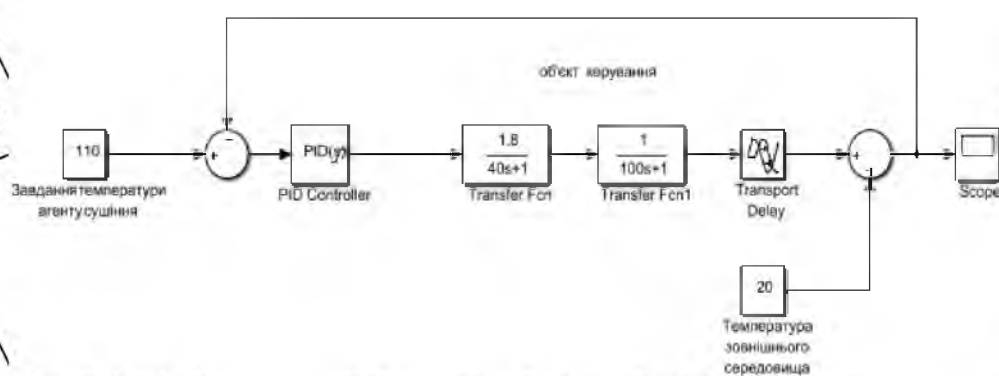


рис. 2.1. Модель об'єкта керування

Динамічна характеристика об'єкта наведені на рисунку 2.2.:

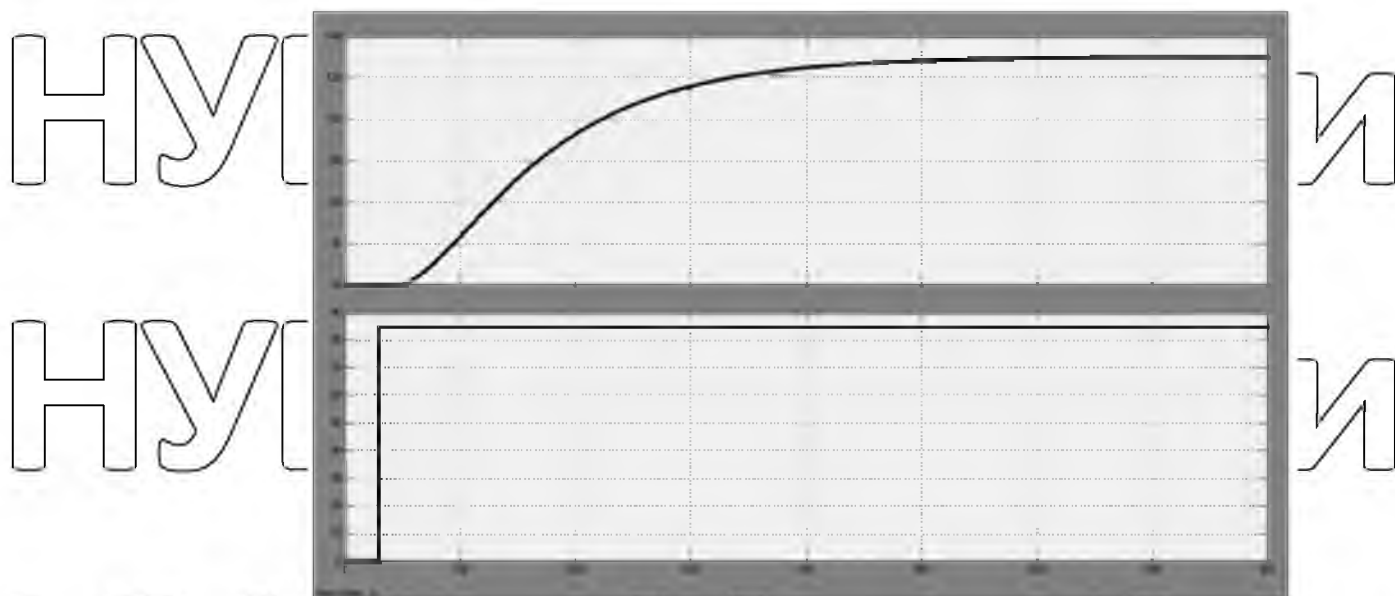


рис. 2.2. Динамічна характеристика об'єкта

Проведемо синтез системи керування, в результаті аналізу отриманих даних, попередньо розглянувши вимоги до роботи об'єкта, висуваються умовами технологічного процесу на ділянці подачі сушильного агента.

## 2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування

У даному підрозділі розглянуті та обрані критерії якості функціонування об'єкта згідно заданих умов технологічного процесу, а також загальним показниками якості перехідного процесу

Є загальноприйняті критерії якості функціонування об'єкта керування:

- діапазон часу наростання;

- діапазон часу встановлення;

- абсолютні значення перерегулювання для різних уставок.

Для досягнення максимальної ефективності об'єкта, всі показники повинні досягати мінімальних значень.

На базі принципу максимуму Понтрягіна, розраховуються параметри впровадженого у модель об'єкта оптимального регулятора, задля підвищення ефективності.

Практика потребує певні вимоги до роботи об'єкта: для того щоб зернова продукція не зіпсувалася через перегрів, треба обмежити максимальну температуру агента сушіння в залежності від обраної культури для сушіння.

Обмеження в часі, за який нагрівається агент сушіння - є одним з важливих критеріїв оцінки якості функціонування роботи об'єкта.

Щоб задовольнити всі перелічені вимоги, обираємо синтез системи керування об'єктом на основі оптимального регулятора з використанням критерію максимуму Понтрягіна.

Нижче наведено динамічні характеристики об'єкта керування за оптимальним регулятором. Перехідний процес звичайної моделі позначений чорним кольором, перехідний процес за оптимальним регулятором позначений зеленим кольором.

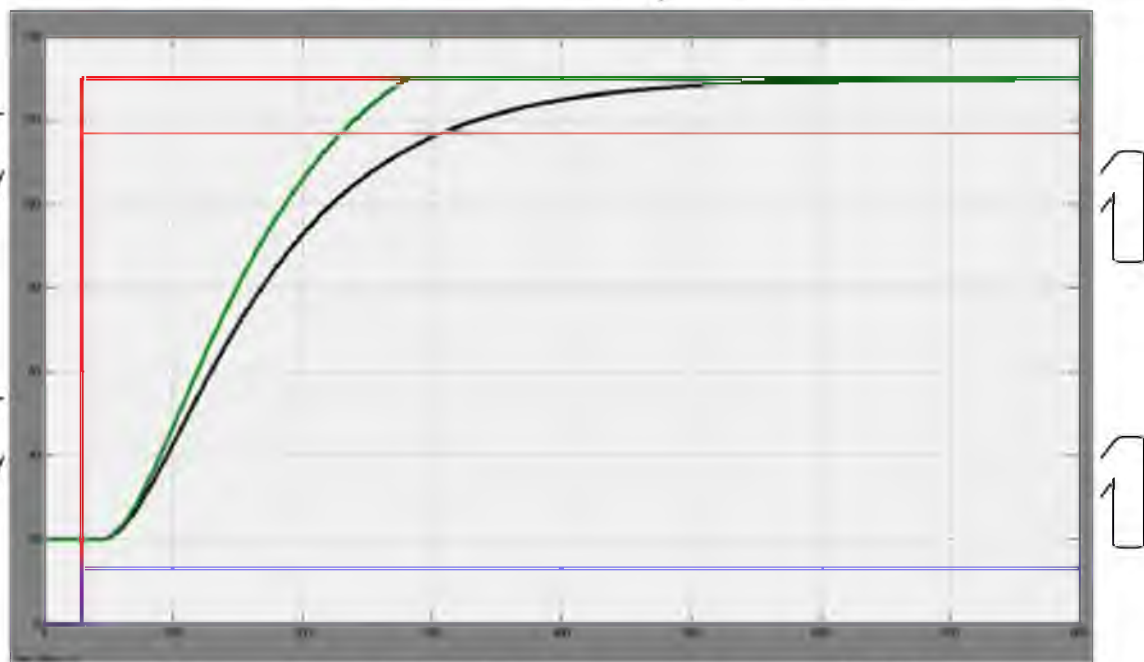


рис.2.3. Характеристика об'єкта за оптимальним регулятором.

На рис.2.3 бачимо, що якісні показники нової характеристики з точки зору часу росту та часу установки кращі, ніж без оптимального регулятора і навіть без надмірного регулювання. Однак той факт, що ця система не може автоматично розробляти аварійні ситуації - унеможливило побудову системи управління на основі такого оптимального регулятора, тому для вирішення проблеми в

якості регулятора був обраний ПІД-регулятор, вбудований у середовище Matlab та проведено його налаштування методом «Pidtune».

## Розділ 3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Особливості моделі системи автоматичного керування агенту

#### сушіння у сушильній зоні сушарки

З аналізу об'єкта керування в попередніх розділах можна зробити висновок, що автоматичне регулювання температури сушарки здійснюється за

допомогою змінюючи потужність газового пальника, тому необхідно створити

модель для каналу управління «потужність газового пальника - температура сушарки». У системі автоматичного керування закладена можливість змінювати

продуктивність вентилятора, що створює тягу для подачі агенту сушіння у

сушильну зону сушарки. Технолог може змінювати режим роботи вентилятора,

таким чином впливаючи на вологість зерна. Розглянемо найскладніше збурення

- східчасту зміну у часі продуктивності вентилятора.

Складним збуренням також у формі східчастої зміни у часі продуктивності вентилятора можлива тимчасова зміна кількості палива, що подається в пальник, через перебої в роботі компресора.

З точки зору динаміки, інші збурення є не такими складними, з їх відпрацюванням справляється найпростіший ПІД-регулятор.

Провівши аналіз технологічного процесу, можна зробити висновки, що інтенсивність потоку агенту сушіння у сушильній зоні змінюється при

збільшенні продуктивності вентилятора, через це зменшується поглинання тепла

зерном, відповідно, що температура збільшується. Зміна кута нахилу статичної

характеристика за каналом керування змінюється, оскільки при нульовому

керуючому впливі температура завжди буде незмінною, й визначатиметься

температурою зовнішнього середовища. При зміні продуктивності компресора,

отримуємо аналогічний ефект.

Зміна продуктивності вентилятора сушарки на 20%, у номінальному режимі роботи, може призвести до ефекту, що еквівалентний зміні керуючого

впливу на 26,5%, причому маємо пряму залежність, що близька до лінійної. Зміна продуктивності компресора на 20%, може призвести до ефекту, що еквівалентний зміні керуючого впливу на 29%, причому маємо пряму пропорційну залежність.

Визначена ступенева функція, що враховує ці залежності, також врахована вимога, що при повній зупинці або вентилятора, або компресора температура у зоні сушіння повинна впасти до температури зовнішнього середовища:

$$F(Q_{\text{вент}}, Q_{\text{комп}}) = \frac{Q_{\text{вент}} \cdot Q_{\text{комп}}^{0,71} + Q_{\text{комп}} \cdot Q_{\text{вент}}^{1,39}}{629}$$

де  $Q_{\text{вент}}$  – відносна продуктивність вентилятора (при цьому 100% відповідає номінальній роботі, а максимальній продуктивності відповідає 130%);  $Q_{\text{комп}}$  – відносна продуктивність компресора (є нерегульований, номінальна продуктивність відповідає 100%, але можливі тимчасові зменшення продуктивності через технічні причини).

Діапазон зміни відносної продуктивності вентилятора та компресора, зображені на рис.3.1. У цьому діапазоні зміни значень збурень відбуваються дослідження системи керування.

Як зазначалося раніше при аналізі об'єкта керування, залежності є прямими й пропорційним, це можна побачити на рис.3.1. Покладаючись на ефект зміни відносний керуючий ефект при впливі вентилятора відбувається з більшим кутом нахилу.

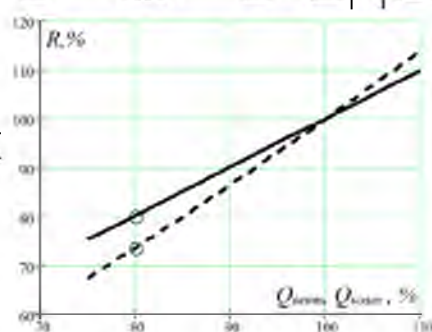


рис.3.1. Емпірична залежність відносної зміни керуючого впливу від впливу збурення

Розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування з урахуванням математичного опису впливу збурень, та результатів ідентифікації об'єкта керування

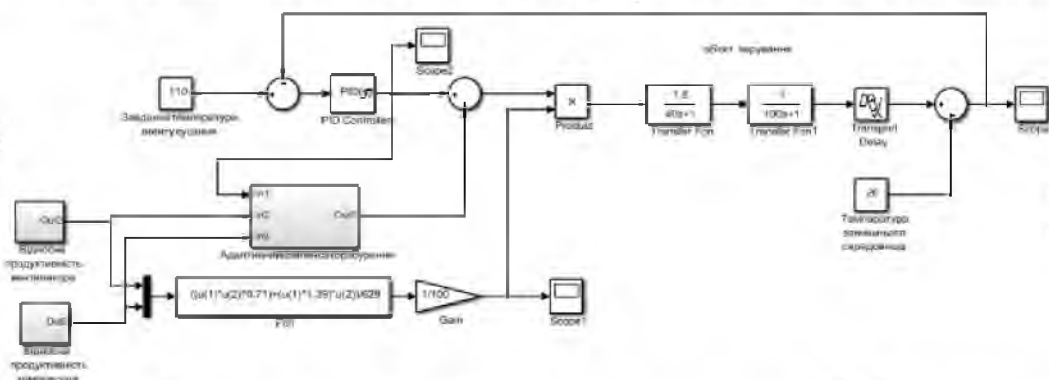


рис.3.2. Схема динамічної моделі системи автоматичного керування температурою агенту сушіння у сушильній зоні сушарки

На рис.3.2 ОК показаний блоками завдання передаточних функцій "Transfer Fcn" та "Transport Delay". ПІД-регулятор реалізується на основі блоку "PID Controller". Імітація збурення відбувається за допомогою блоку "Fcn". За результатами розрахунку рівняння маємо значення ефекту зміни керуючого впливу, для отримання коригувального коефіцієнта, ділимо це значення на максимальне значення керуючого впливу 100%, після цього фактичний керуючий вплив множить на цей коефіцієнт.

### 3.2 Синтез системи автоматичного керування агенту сушіння у сушильній зоні сушарки

Для автоматизації процесу налаштування ПІД-регулятора, використали спеціалізований інструмент застосунку Simulink програми MATLAB. Перейдемо до спрощеної моделі САК агенту сушіння без врахування збурень.

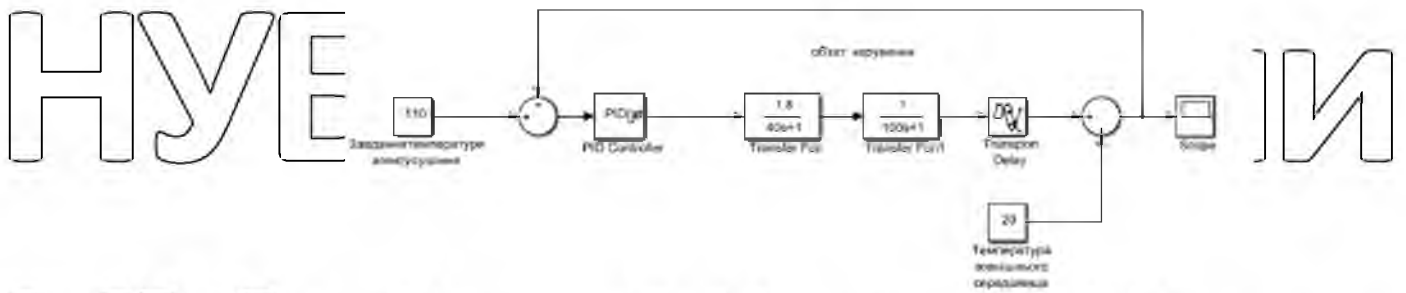


рис.3.5. Динамічна модель системи автоматичного керування температурою аґенту сушіння у сушильній зснї сушарки для налаштування ПІД-регулятора

Результат налаштування ПІД-регулятора з використанням спеціалізованого інструменту "PID Tuner" застосунку Simulink програми MATLAB представлений нижче.



рис.3.4 – Результат налаштування ПІД-регулятора з використанням спеціалізованого інструменту "PID Tuner"

Виходячи з рис.3.4, можна зробити висновок, що цей спосіб синтезу САК дозволяє отримати позитивний результат з точки зору передупередування, але великий час переходного процесу (350 с) не дозволяє САК якісно компенсувати збурення, через те що вони на пряму впливають на характеристики аґенту сушіння, саме керування відбувається за зворотнім зв'язком за температурою, на яку впливають інерційні властивості теплообмінних процесів.

Дослідження показали, що температура зменшується поступово, через інерційність теплового об'єкту, а коректна робота оптимального регулятора можлива тільки тоді, коли певний час ОК знаходиться у спокої, такий стан



приймається за початковий, й по відношенню до нього розраховується оптимальний за швидкістю регулятор. Якщо стан об'єкта постійно змінюється через велику інерцію термочувального об'єкта, навіть при одноразовому сильному збуренні, правильний розрахунок оптимального регулятора неможливий, поки температура не знизиться і не стабілізується. на нижчих рівнях. З точки зору стабільної якості, це неприпустимо.

Тому ми розглядаємо можливість введення ефектів збурення у разі великого відхилення температури компенсатора, що призводить до додаткового ефекту керування залежить від величини збурення.

При першому збуренні, коли ПД-регулятор працює, адаптивний компенсатор запам'ятовує, наскільки регулятор змінився на основі початкового та кінцевого статичних значень ефекту керування. Компенсація сигналу перешкод. Тобто коефіцієнт масштабування між сигналом компенсації та сигналом збурення розраховується як відношення значень. Зміна керуючого сигналу (як різниця керуючого сигналу в статичному стані системи до і після порушення) пов'язана з величиною зміни збурення, так наступного разу. Під впливом збурення при лінійних статичних характеристиках каналів керування та збурень адаптивний компенсатор може правильно та ефективно виконувати.

Компенсувати порушення, негайно змінюючи керуючий сигнал пропорційна збуренню (у нашому випадку збурення можна виміряти - це зміна споживання газу, пов'язаного з компресорами, та зміни витрат на осушувач).

На рис.3.5 у блоці 5 розглядається умова першого збурення, проти якого необхідно тренувати адаптивний компенсатор. Якщо таке навчання не було проведено, компенсатор буде діяти пасивно, збираючи дані про тренування у формі.

Масив контрольних сигналів, які видає ПД-регулятор, і масив витрат на осушувач або газ (залежно від типу порушення).

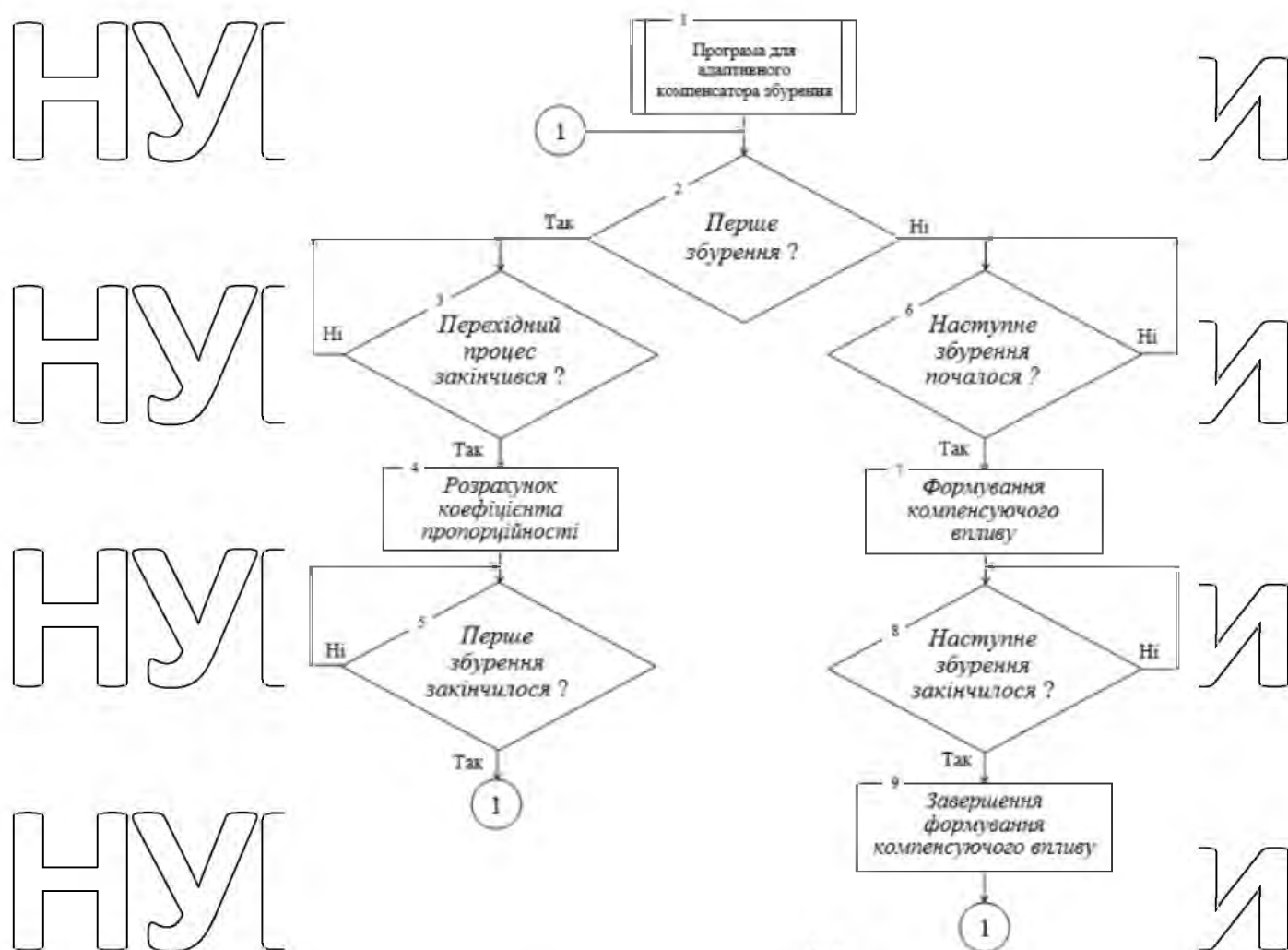


рис.3.5 – Схема алгоритму формування компенсуючого сигналу на виході адаптивного компенсатора

Умовою закінчення збору даних є запуск системи статичного керування після компенсації ПІД-регулятором збурень (блок 3). Потім масштабний коефіцієнт розраховується як відношення величини зміни керуючого сигналу до величини зміни збурення в блоці 4. Кінець першого збурення потім перевіряється в блоці 5, який є навчальним компенсатором. Перевірка виконується на похідній керуючого сигналу, що виводиться ПІД-регулятором (яка повинна наближатися до нуля).

Після тренування адаптивний компенсатор за наступних умов збурення (блок 6) Компенсатор створює компенсуючий ефект під час дії (блок 7) збурення. Факт закінчення дії порушення перевіряється в блоці 8, після чого компенсатор перестає надавати компенсуючу дію на об'єкті управління.

Алгоритм, що описан, реалізований на основі мови програмування програми MATLAB як s-функція "Kompens". Ця знаходиться у підсистемі "Адаптивний компенсатор збурення" моделі системи керування.

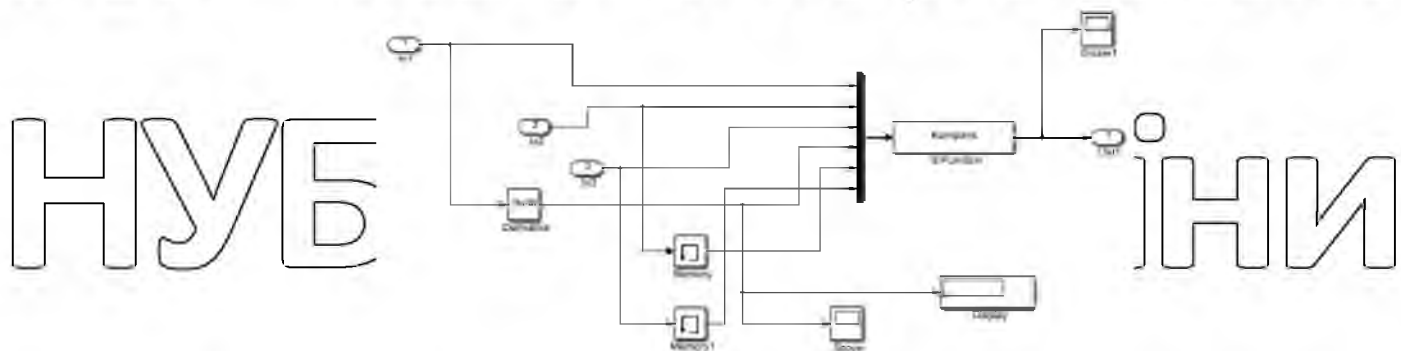


рис.3.6– Схема моделі адаптивного компенсатора збурюючого впливу

Код функції "Kompens" наведено нижче:

```
function [sys,x0,str,ts] = Kompens(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
    [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes;
case 3
    sys = mdlOutputs(t,x,u);
case { 1, 2, 4, 9 }
    sys = [];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 0;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 1;
sizes.NumInputs = 6;
sizes.DirFeedthrough = 1;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [];
str = [];
ts = [1 0];
```

```

function sys = mdlOutputs(t,x,u)
%u(1) - керуючий вплив
%u(2) - продуктивність вентилятора
%u(3) - продуктивність компресора
%u(4) - диференціал керуючого впливу

```

України

```

global Ker
global Vent
global Komp
global K_Vent
global K_Komp
global Tim
global V
global K

```

України

```

sys(1) = 0;
%Перевірка завершення перехідного процесу при переході до нового рівня
%стабілізації температури
if(u(4)<0.001 && isempty(Ker) && Tim>400)
    %Запис кер. сигналу без збурення
    Ker=[u(1)];
end

```

аїни

```

%Перевірка першої дії першого збурення
if(u(2)<u(5))
    Vent = 100-u(2);
    Tim=0;
end

```

аїни

```

%Перевірка першої дії другого збурення
if(u(3)<u(6))
    Komp= 100-u(3);
    Tim=0;
end

```

```

%Перевірка закінчення відпрацювання регулятором першої дії збурень
if((length(Vent)==1 || length(Komp)==1) && length(Ker)==1 && u(4)<0.001 && Tim>400)
    Ker = [Ker u(1)];
end

```

аїни

```

%Розрахунок коефіцієнта пропорційності для першого збурення
if(u(2)<95 && length(Ker)==2 && isempty(K_Vent))
    K_Vent = (Ker(2)-Ker(1))/Vent;
end

```

їни

```

%Розрахунок коефіцієнта пропорційності для другого збурення
if(u(3)<95 && length(Ker)==2 && isempty(K_Komp))
    K_Komp= (Ker(2)-Ker(1))/Komp;
end

```

України

```

%Перевірка умови наступної дії першого збурення
if(u(2)~=u(5))
    V=V+1;
end
%Формування компенсації при наступній дії першого збурення
if(u(2)<95 && length(K_Vent)==1 && V==3)
    sys(1) = Vent*K_Vent;
end
%Перевірка умови наступної дії другого збурення
if(u(3)~=u(6))
    K=K+1;
end
%Формування компенсації при наступній дії другого збурення
if(u(3)<95 && length(K_Komp)==1 && K==3)
    sys(1) = Komp*K_Komp;
end
Tim=Tim+1;

```

## Розділ 4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1 Цифрова модель системи керування

Для розробки програмного забезпечення, переводимо отриману модель, в середовищі Matlab, системи керування в цифрову форму та налаштовуємо час дискретизації 0.1 с.

В результаті було отримано безперервну модель системи керування, що повністю відповідає сформульованим критеріям якості.

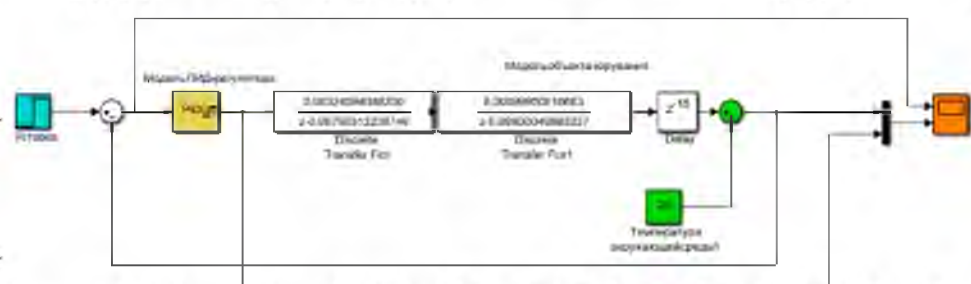


рис.4.1 – Безперервна модель системи керування

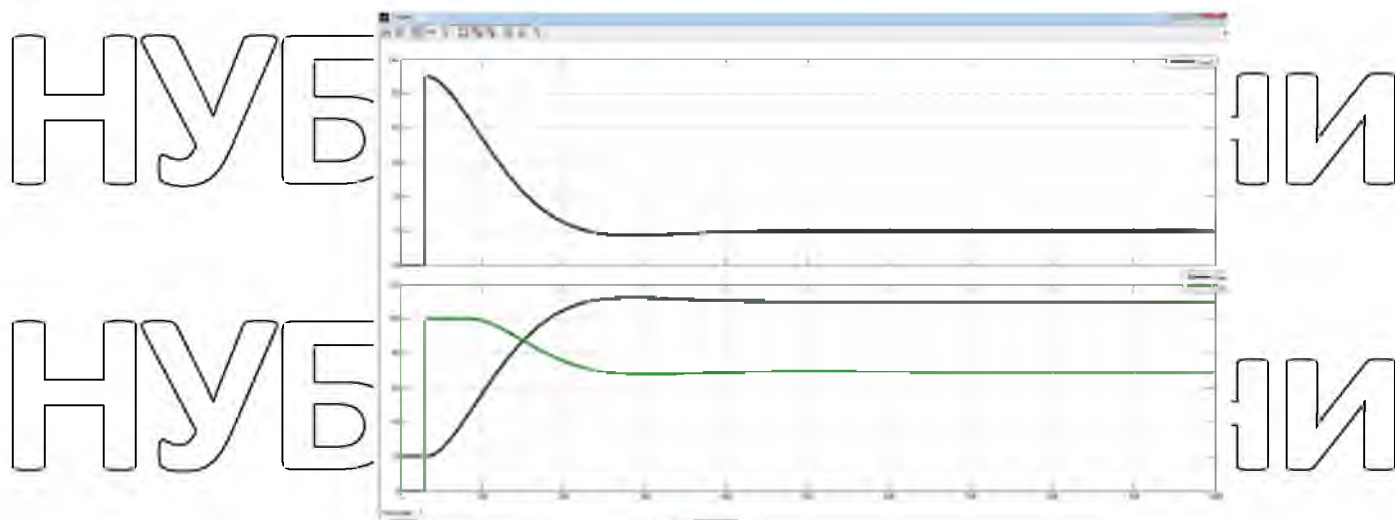


рис.4.2 - Результати моделювання

Для переходу до цифрової форми моделі виконувалось наступним чином: дискретними блоками з іншими параметрами, замінили блоки, що описують функцію роботи моделі.

Цифровими системами керування, провели заміну безперервних елементів.

Для об'єкта:

```
>> [b,a] = tfzFOTF(1.3, 40, 0.1)
b0 = 0.00324594088330, a0 = -0.99750312239746
>> [b,a] = tfzFOTF(1, 100, 0.1)
b0 = 0.00099950016663, a0 = -0.99900049983337
```

В результаті заміни, було отримано:

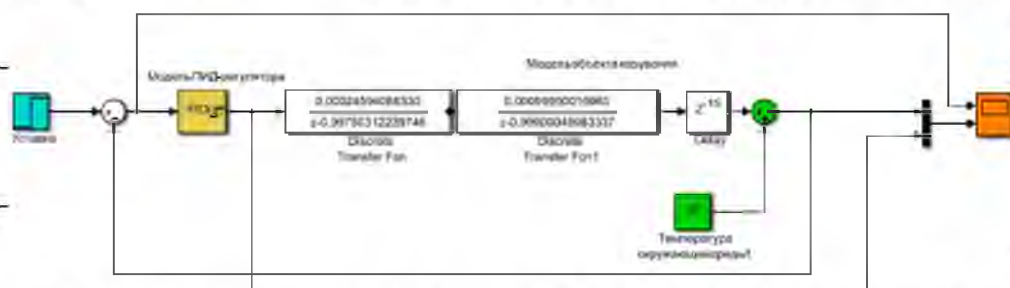


рис.4.3 - Цифрова модель системи керування

НУБІП України

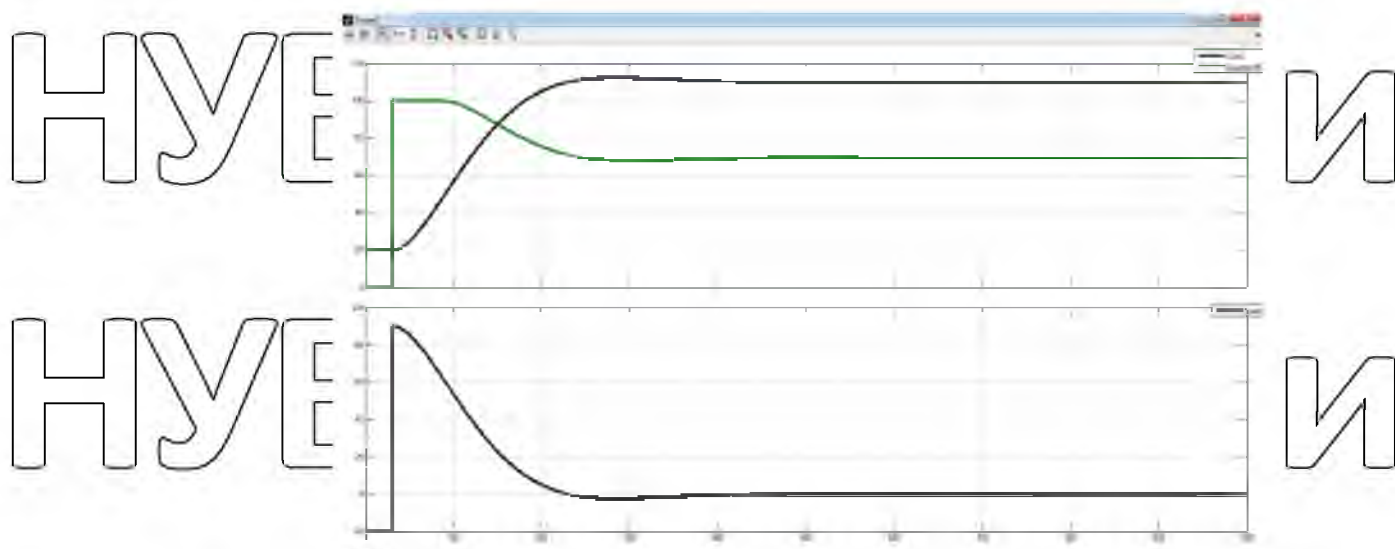


рис.4.4 - Результати моделювання

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі відхиленням за нормованим середньо-квадратичним.

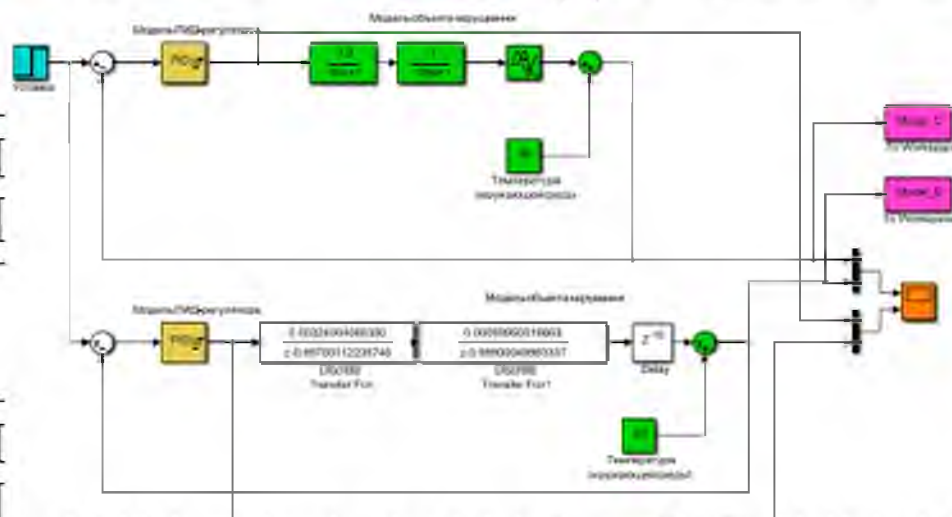


рис.4.5 - Перевірка відповідності

```
>> goodnessOfFit(Model_D, Model_C, 'NRMSE')
ans = 0.9985
```

НУБІП України

НУБІП України

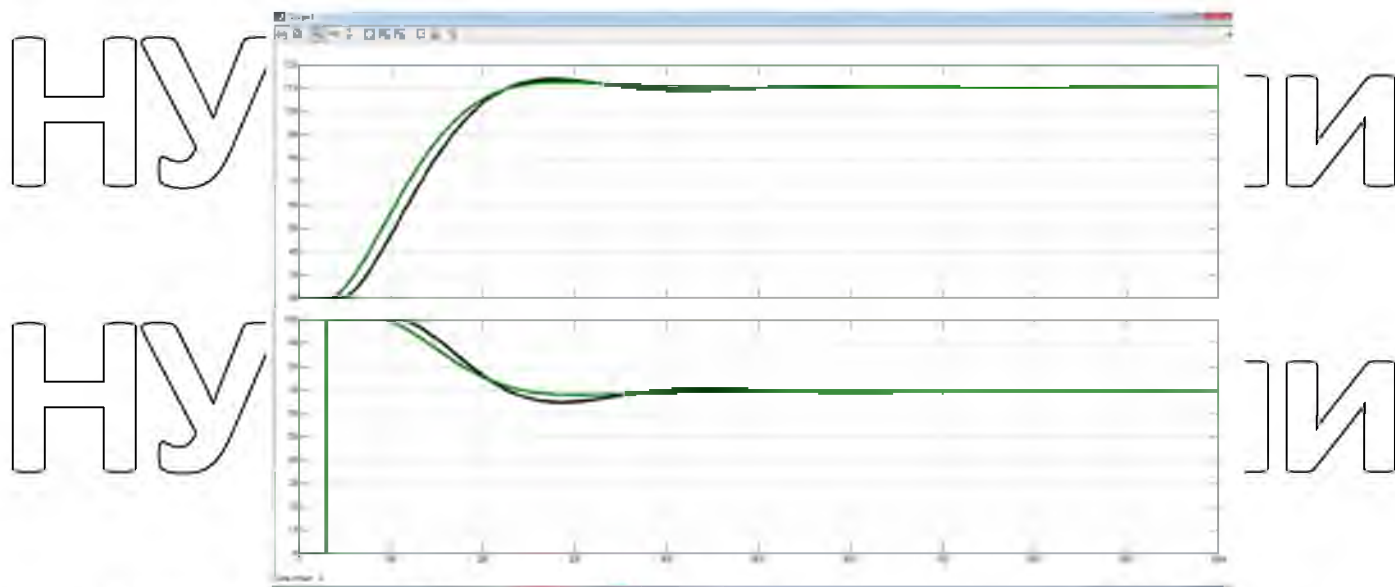


рис.4.6 – Порівняння звичайної та цифрової моделей САК

Методом «GoodnesOfFit», перевірили цифрову модель системи керування на адекватність, перевірка показала значення 99.85% - що є гарним результатом.

(Це означає, що модель можна використовувати для розробки ПЗ.)

Поділили системи керування шляхом створення блоків підсистем, перейменували вхідні/вихідні порти підсистем для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середи розробки zenon Logic.



рис.4.7 – Підсистема регулятора



рис.4.8 – Підсистема об'єкта



## 4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Розроблено програмне забезпечення, на основі автоматично згенерованого програмного коду для реалізації цифрової форми об'єкта керування та ПІД-регулятора.

Створили драйвер пристрою керування з налаштуванням, для розробки ПЗ.

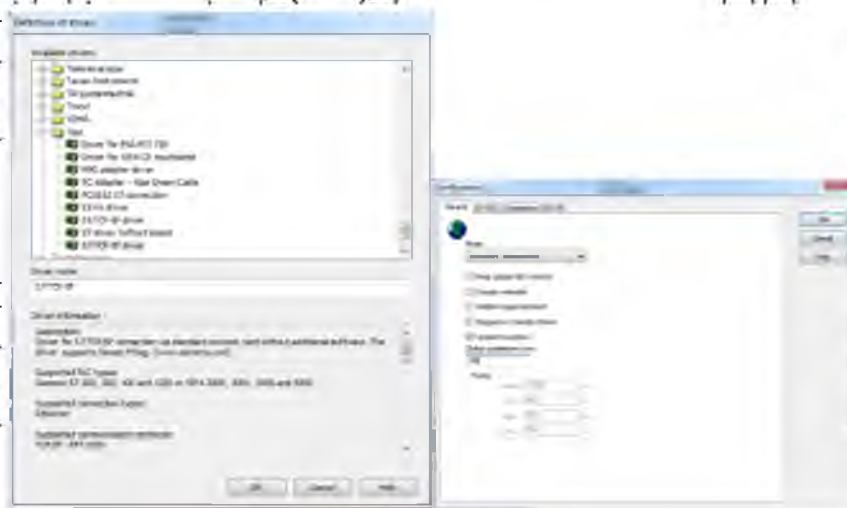


рис.4.9 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйверу пристрою керування було реалізовано модель об'єкта керування на базі раніше отриманого програмного модуля. Було розроблено ПЗ об'єкта керування, на основі отриманого користувацького функціонального блоку.

Так як ПЛК компанії HUBUCH перетворює аналогові сигнали у цифровий код з діапазоном від 0 до 27648, то значення отримане від SCADA системи шляхом переводу з діапазону від 0 до 27648 до діапазону фізичного значення нормалізоване. Було перетворено вихід ОК з діапазону фізичного значення, до діапазону цифрового значення. У додатку Б1 наведено список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОУ.

Було створено проект регулятора для реалізації програмного забезпечення

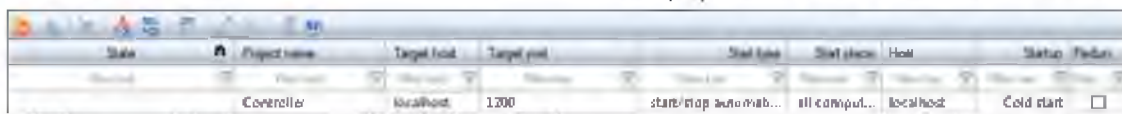


рис.4.10– Проект регулятора

У додатку Б2 наведено створення змінної регулятора, які відповідають значенню уставки, дійсному значенню та керуючому впливу.

Під час розробки програмного забезпечення контролера були нормовані значення уставки, температури та потужності, а також розраховано значення похибки керування.

### 4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

З розробленого програмного забезпечення ми розробимо людино-машинний інтерфейс для можливості керувати об'єктом та контролювати його функціональність.

Необхідно розробити ЛМІ, для забезпечення повної функціональності комп'ютеризовані системи керування, також надає можливість спостерігати:

за протіканням ТП;

за зміною параметрів об'єкта;

за станом протікання ТП та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему

Було реалізовано для ЛМІ зображення кнопок, кожна з них має свою функцію.

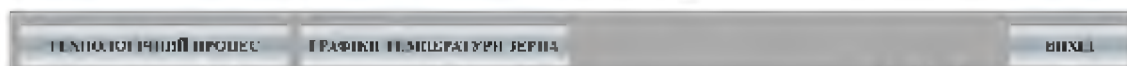


рис.4.11 – Зображення кнопок

При натисканні кнопки «Технологічний процес», відбувається перехід на наступний екран (рис.4.12), де зображена технологічну схему системи,

розташування датчиків, та основну інформацію про об'єкт. Кнопка «Тренд»,

була реалізована аналогічно та дозволить перейти на наступне вікно, де зображено графік (рис.4.13).

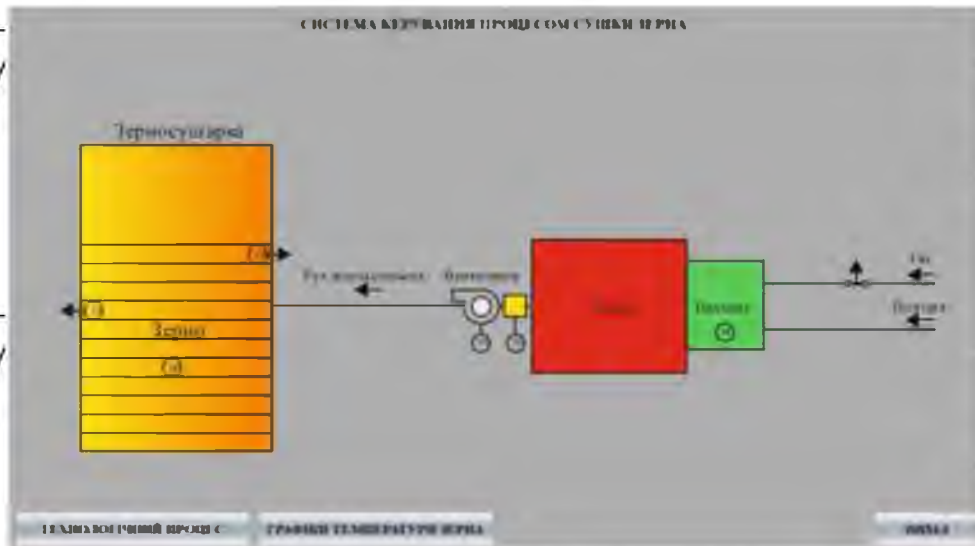


рис. 4.12 – Зображення технологічної схеми

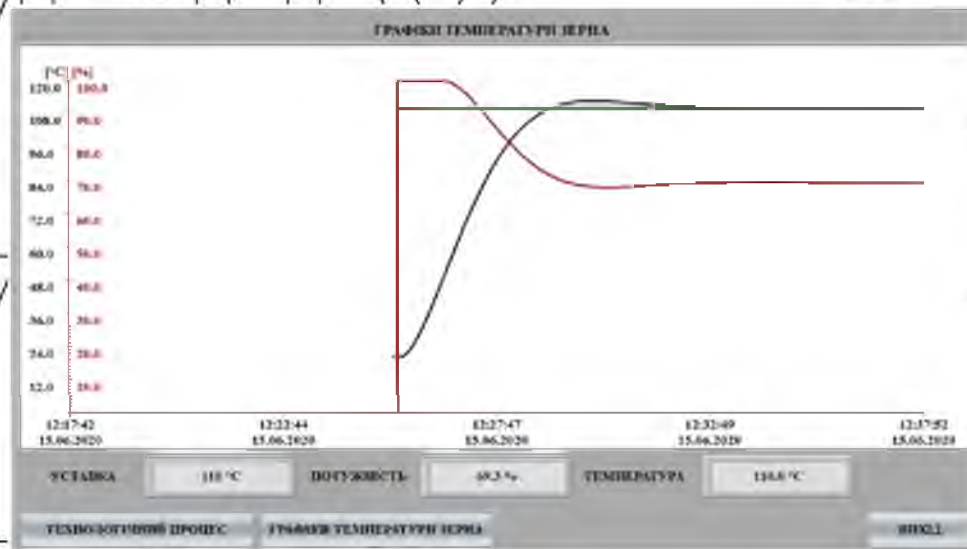


рис. 4.13 – Зображення графіку перехідного процесу

На основному фреймі розташовано основні зображення, зображення з кнопками, які є статичним та відображається постійно. В додатку В наводиться розроблене програмне забезпечення.

#### 4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Шляхом подачі уставки температури 110 °C на вхід об'єкта, перевіряємо функціонування ПЗ, на рисунку 4.15 можна побачити, що об'єкт та регулятор адекватно працюють, перерегулювання практично відсутнє. На технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування та усі кнопки, що виконують свої функції.

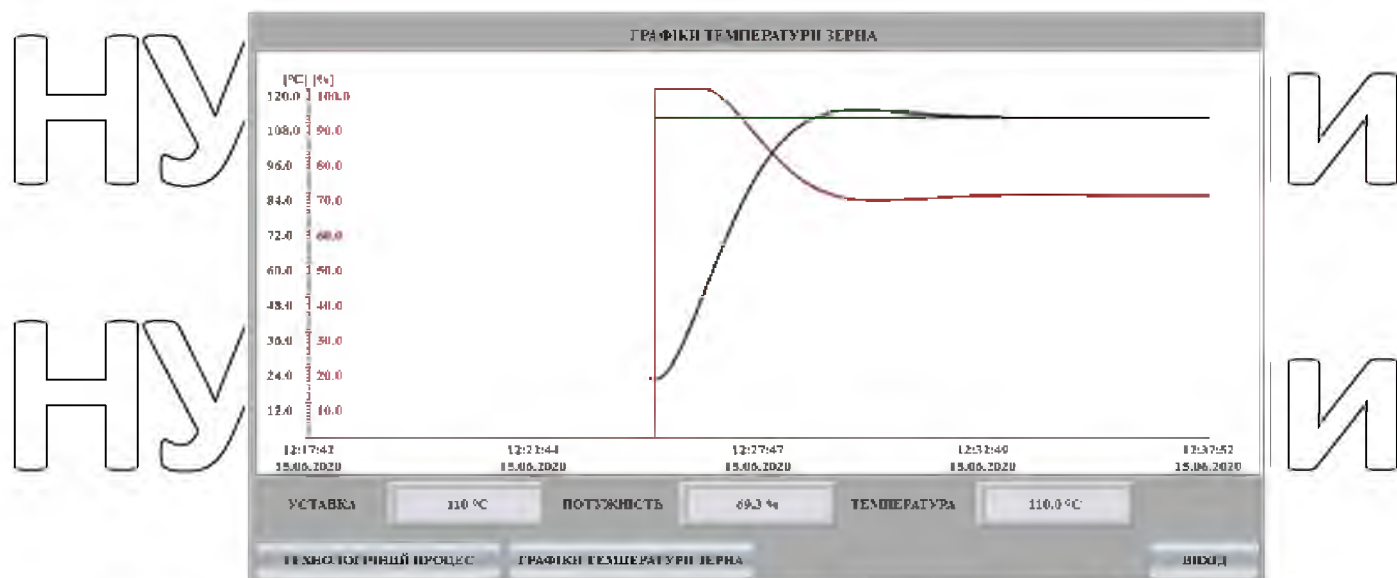


рис.4.15 – Перевірка функціонування  
 Використовуємо отримані дані зі SCADA системи, які використовуємо для перевірки результату та цифрову модель побудовану у Matlab:

Оцінка відповідності зібраних даних в SCADA системі виконується по

нормованому середньоквадратичному відхиленню:

```
>> goodnessOfFit(zenon, model_z, 'NRMSE')
```

```
ans = 0.97352
```

За результатами перевірки ми можемо зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ відповідає вимогам, та може в подальшому використовуватися на виробництві.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1. Вибір пускозахисної апаратури

#### Автоматичний вимикач SF1:

Для того щоб вибрати автоматичний вимикач QF1 обираємо той, який буде підходить для серводвигуна «ST 0.1»,  $P = 30 \text{ Вт}$ ;  $I_H = 9.8 \text{ А}$ ;  $\eta_H = 77,55\%$   
 $\cos\phi_H = 0,92$   $I_{\text{пуск}} = 12 \text{ А}$

Отже, для цього вибору автоматичного вимикача QF1 використовуємо наступні дані:

$$U_{H.M.} = 380 \text{ В}$$

$$I_H = I_{H.DB} = 6 \text{ А}$$

$$I_{H.P.} = 9,8 * 1,25 = 12,25 \text{ А} \quad (5.1)$$

Вибираємо автоматичний вимикач **msb47+n110** з наступними технічними характеристиками  $U_{H.AB.} = 400 \text{ В}$ ;  $I_{H.DB} = 10 \text{ А}$ ;  $I_{H.P.} = 20 \text{ А}$ ;  $K_{\text{відс.р.м.}} = 12$ .

$$400 \text{ В} > 380 \text{ В}; 10 \text{ А} > 6 \text{ А}; 20 \text{ А} > 12,25 \text{ А}.$$

Обираємо **ВА-2006 50А 1п.** АскоУкрем з наступними технічними характеристиками  $U_{H.AB.} = 220 \text{ В}$ ;  $I_{H.AB.} = 50 \text{ А}$ ;  $K_{\text{відс.р.м.}} = 6$ .

#### Електромагнітний пускач KM1, KM2, KM3, KM4, KM5:

- за напругою ( $U_H > U_T$ ),  $U_H \geq 380$ ;

- за струмом ( $I_H > I_{H.T.}$ ),  $I_H \geq 6$ ;

- за напругою котушки ( $U_K = U_{H.K.}$ ),  $U_K = 220$ ;

Згідно приведених умов обираємо електромагнітні пускачі **ПМЛ 1101 на 10А** із наступними технічними характеристиками :

$$U_{H.MП.} = 660 \text{ В}; I_{H.MП.} = 10 \text{ А}; U_{K.K.} = 220 \text{ В}.$$

#### Двопозиційні перемикачі SA1, SA2:

- за напруга ( $U_H > U_T$ ),  $U_H \geq 220$ ;

- за струмом ( $I_H > I_{H.T.}$ ),  $I_H \geq 6$ ;

Згідно приведених умов обираємо **ANC-22-2** з наступними технічними характеристиками:

$U_{н.зав.} = 240В; I_{н.зав.} = 10А.$

Сигналізаційні лампи **HL1, HL2, HL3:**

**PL-25N 220В**

Технічні характеристики:

$U_{н.л.} = 220В$

Кнопки **SB1, SB2, SB3, SB4:**

Враховуючи напругу схеми керування в 220 В, обираємо кнопки **ЕК SB-7.**

Електротеплове реле **KV1, KV2:**

Щоб вибрати електричний теплообмінник, нам потрібен стандартний

двигун і стандартний струм і потужність, в нашому випадку  $I_{н.дв.} = 6 А$  і  $P = 6 кВт$ , тому вибираємо **ЭГАЛ РТ.І 1014.**

Реле часу **КТ1:**

Нам потрібні номінальний струм і потужність двигуна, щоб вибрати

електричну теплову передачу, у нашому випадку ми маємо  $I_{н.дв.} = 6 А$  і  $P = 6 кВт$ , тому вибираємо **ТМ616-2.**

Вологомір **MS:**

Для вибору міри вологості нам потрібна точність вимірювання вологості в

зоні зберігання - похибка не менше 0,5%, тому обираємо **Wile25**

## 5.2 Вибір проводів та кабелів

За допомогою одного типу проводу, виконуємо монтаж на щиті. По проводах протікає максимально допустимий струм на великій відстані №1,

$I_{ном.} = 10А.$

Вибираємо такий провід щоб виконувалась умова:

$I_{тр.доп} > I_{роз.}, де I_{роз.} = 10А$

Обираємо провід залежно від поперечного перерізу і способу прокладання.

Нам підходить провід **ПВ-1(1х1)**, його площа поперечного перерізу  $S = 0.5 мм^2$ ,

$I_{тр.доп} = 10А.$

Використаємо певні проводи і кабелі, відповідно до схеми електричної підстанції:

# НУБІП України

№1

- $I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{ном.}} \cdot SF1 = 13 \text{ А.}$

# НУБІП України

- $U_{\text{ном.}} = 380 \text{ В.}$
- кількість жил – 4.

З таблиці КВВГ(4х1), вибираємо площу поперечного перерізу  $S=1 \text{ мм}^2$ ,

# НУБІП України

 $I_{\text{тр. доп.}} \leq 14 \text{ А}$ 

№2

Кабель живлення електродвигуна АИР 100 L4.

$$I_{\text{ном.}} = \frac{10^3 * P}{\sqrt{3} U_n * \eta_n * \cos \varphi_n} = 1,7;$$

(5.2)

# НУБІП України

- $I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{ном.}} = 1,7 \text{ А.}$

- $U_{\text{ном.}} = 380 \text{ В.}$

- кількість жил – 3.

# НУБІП України

З таблиці КВВГ(3х1), вибираємо площу поперечного перерізу  $S=1 \text{ мм}^2$ ,

 $I_{\text{тр. доп.}} \leq 14 \text{ А}$ 

№3,4

Кабель до датчика SL1, SL2.

# НУБІП України

- $I_{\text{тр. доп.}} \geq I_{\text{ном.}} = 0,6 \text{ А.}$

- $U_{\text{ном.}} = 220 \text{ В.}$

- кількість жил – 2.

# НУБІП України

З таблиці КВВГ(2х1), вибираємо площу поперечного перерізу  $S=1 \text{ мм}^2$ ,

 $I_{\text{тр. доп.}} \leq 14 \text{ А}$

# НУБІП України

## 5.3. Розробка електротехнічних схем автоматизації

Живлення подається на схему через перемикач QF1, а на ланцюги керування QF14. Поділ режимів роботи забезпечує SA1. Відповідно до схеми роботи схеми керування в автоматичному режимі рукоятку перемикача необхідно встановити в положення I, у разі ручного керування - в положення II.

У разі ручного керування сигнал включення/вимкнення відповідного двигуна подається кнопками SB1... SB9 (SB11...SB19), SB21... SB24.

У випадку автоматичного режиму керування вимикач SA1 підключається через контакти до джерела живлення GU1 і, таким чином, живить контролер. У якому на вхід контролера A1 датчика SQ1 ... SQ4, SL1 і SL2 подаються сигнали про стан параметрів процесу. Сигнали від датчиків температури та вологості передаються у відповідний спеціальний модуль. Після обробки вхідних сигналів за програмою керування контролер посилає сигнал на виходи. Через контакти проміжних реле K1 ... K16 ці сигнали подаються на магнітні пускачі, що керують приводами сунарки, або в неї входять безпосередньо електромагнітні клапани. Відповідно до параметрів датчика температури підігріву зерна спеціальний модуль формує аналоговий сигнал і передає його на керуючі входи перетворювачів частоти, які задають швидкість обертання приводу розвантажувального сівалки і витяжних пристроїв. Робота електросушильних приводів і показання датчиків температури і вологості відображаються на відповідному екрані панелі оператора.

## 5.4. Розробка схеми з'єднань

Схема з'єднань – це схема, що показує з'єднання основних частин принципової схеми, схеми розроблені на основі технологічних, функціональних



і принципових схем управління. Ці схеми використовуються при експлуатації та ремонті електроустановок.

Схеми з'єднання виконуються на підставі наступних правил:

- схеми з'єднань розроблена на щит керування ЩПК-ЗП-2 (600+300+200)

У4IP00 ОСТ 36.13 – 76 в якому розміщуються всі комутуючі пристрої;

- усі елементи, такі як: КМ1-КМ3, КУ1, КУ2, КК1 розміщено на задній панелі щита керування згідно ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем»;

- норми маркування кабелів, ліній зв'язку дотримані, за допомогою яких

з'єднані всі елементи між собою згідно ГОСТ 2.710-81 «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».

Адресний спосіб з'єднання схем є найбільш поширений. Цей метод означає, що між пристроями немає лінії зв'язку, але на виходах пристрою використовується буквено-цифровий, або буквено-цифровий, або цифровий код. Для того щоб зробити схему таким чином, необхідно розташувати кількість кабелів на принциповій схемі.

### 5.5. Розробка схеми підключень

На схемах підключення показано зовнішнє підключення установок, приладів, щитів керування, розподільних щитів тощо, схеми складаються на основі функціональних схем автоматики, специфікації обладнання та пристроїв, а також креслень виробничих приміщень з технологічним обладнанням та локалізованих труб.

Застосовують на практиці два варіанти складання схем підключень:

- графічний – найбільш популярний метод,
- табличний.

При виконанні діаграми підключення за допомогою умовних графіків символи позначають: селективні пристрої та первинні перетворювачі; щити, панелі та місцеві пункти контролю, моніторингу, сигналізації та вимірювання; позащиткові пристрої та засоби автоматизації; з'єднувальні та подовжувальні коробки, вільні коробки кінців термопар, проводка та кабелі прокладені зовні

щити; вузли з'єднання електрокабелю з приладами, приладами, коробами; арматура та арматура для з'єднань і розгалужень; комутаційні загиски розташовані за межами щитів; захисне заземлення.

### 5.6. Розробка загального виду щита керування

Від щитів керування здійснюється централізоване управління обладнанням, є персонал, велика увага приділяється технічним проектам усієї станції. Кількість щитів та їх призначення обирає спеціальна організаційна структура оперативної служби. Залежно від потужності заводу вибирають розміри центральної та основної панелей.

Розташувати щит керування, по можливості потрібно в центрі ділянки, де де керується комп'ютером із цієї панелі. Передбачено найкоротший хід персоналу та найкоротшу довжину контрольно-вимірювальних кабелів.

Розташований у спеціальному відокремленому номері, розташованому в центрі головного корпусу.

## РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Обґрунтування доцільності автоматизації процесу сушіння зерна в зерносушарці шахтного фірми Mathews Company

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто економічну доцільність автоматизації процесу сушіння зерна в зерносушарці.

Ця технічна задача, безумовно, допускає різні варіанти вирішення виникаючих проблем. Дуже часто ці варіанти пов'язані з різними технологічними способами виготовлення продукції, різним ступенем механізації виробничого процесу, різні види обладнання робочих місць тощо. Таким чином,

використання кожного варіанту окремо задовольняє вимогам якості спільного виробництва. [10]

Керування подачею газу виконується через комп'ютеризовану система:

- спостереження за подачею газу;
- встановлює значення температури повітря в зоні сушіння;
- знижує витрати на паливо за рахунок економії палива за допомогою пальника.

Одним із компонентів економічної оцінки є розрахунок капітальних та операційних витрат. Кваліфікаційна робота магістра передбачає розрахунок останнього, за бажаним варіантом згідно умов проекту.

Перевагами цієї інновації перед попередньою застарілою технологією є можливість виконувати багато типів завдань, які раніше не були доступні, налагодження, налагодження, а також управління об'єктом у потрібних режимах.

Чіткою відмінністю від застарілого обладнання є впровадження в проект інформаційних технологій, а також велика автоматизація виробничого процесу.

### 6.2 Розрахунок капітальних витрат для автоматизації процесу сушіння

Використання засобів контролю та автоматизації призводить до зниження собівартості виробництва, терміну окупності та підвищення продуктивності.

З урахуванням річних експлуатаційних витрат та частки річних інвестицій розрахункові витрати консолідуються.

Зведені витрати визначаємо за формулою:

$$V_{ЗВ} = C + E_n \cdot K,$$

Річні витрати на експлуатацію складаються з:

- заробітна плата персоналу,  $C_z$ ;
- поточний ремонт засобів автоматизації,  $C_{пр}$ ;
- оплата на енергоресурси,  $C_e$ ;
- допоміжні матеріали,  $C_d$ ;

Для визначення окладу обслуговуючого персоналу, приймаємо тариф  $C_m = 12,00$  грн/год, кількість робітників на одній зміні - 1, за добу проходить 3 зміни, середній оклад робітника на добу складає 96,00 грн, кількість робочих днів в році 252 і визначаємо за формулою:

$$C_z = N \cdot Z \cdot 3_{зм} \cdot T.$$

$$C_z = 1 \cdot 3 \cdot 96,00 \cdot 252 = 72576 \text{ варт.}$$

(6.1)

Залежно від суми витрат на електроенергію та тарифів на неї визначаємо вартість електроенергії -  $1,30$  грн/кВт\* $24 \cdot 365 = 11388$  грн.

Від балансової вартості обладнання, визначається постійний ремонт обладнання у % - 5%.

Амортизаційні відрахування нараховуються від балансової вартості обладнання - 14%.

$$C = C_z + C_a + C_{пр} + C_e + C_d,$$

$$C = (72576 + 0,14 \cdot 22147 + 0,05 \cdot 22147 + 11388) = 88171,93 \text{ грн.}$$

(6.2)

Для визначення балансової вартості нам треба:

- Вартість клапана (1 шт):  $V_{кл}=12983$  грн.;
- Вартість регулятора (1 шт):  $V_r=3846$  грн.;
- Вартість ВМ (1 шт):  $V_{вм}=5318$  грн..

Визначаємо:

$$B_v = V_{дв} + V_r + V_{с};$$

$$B_v = 12983 + 5318 + 3846 = 22147 \text{ грн}$$

(6.3)

Для визначення капіталовкладень потрібно знати:

- Балансову вартість техніки  $B_v$ ;
- Зберігання і доставка  $V_m$  ( в середньому 30% від вартості автоматизації);
- Капіталовкладення, які пов'язані з автоматизацією  $V_i$  (4% від балансової вартості);
- Прокладка електропроводки  $V_{пр}$ .

На придбання засобів автоматизації витрати складатимуть 22147 грн.

Усі інші витрати приймаємо рівними 2% від суми балансової вартості,

тому

$$K_v = B_v + V_m + V_{пр} + V_i$$

$$K_v = 22147 + 0,3 * 22147 + 0,04 * 22147 + 22147 * 0,02 = 30119,92 \quad (6.4)$$

Визначаємо загально зведені витрати:

$$B_{зв} = 88171,93 + 30119,92 = 118291,85$$

(6.5)

Чистий прибуток визначається за формулою:

$$\Pi = \Delta C_s + \Delta C_e \quad (6.6)$$

Де  $\Delta C_s$  – прибуток за рахунок економії заробітної платні, грн;

$\Delta C_e$  – прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

$$\Delta C_s = C_s - (1,2 * \Gamma * D_{ред} * 4) = 72576 - (1,2 * 7200 * 1 * 4) = 38 \text{ 016 грн.} \quad (6.7)$$

$$\Delta C_e = C_e - (P * \Gamma * 4 * \Delta \Pi) = 88171 - (1,1 * 7200 * 4 * 0,3) = 78 \text{ 667 грн.} \quad (6.8)$$

Чистий прибуток складатиме:

$$\Pi = 38 \text{ 016} + 78 \text{ 667} = 116 \text{ 683 грн}$$

(6.9)

Рахуємо термін окупності установки

НУБІП України

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{C} = \frac{30119,92}{116683} = 0,25 \text{р.} \quad (6.10)$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень складатиме:

$$E = \frac{1}{T_{\text{окуп}}} = \frac{1}{0,25} = 4 \quad (6.11)$$

НУБІП України

$$E(4) > \bar{E}_n \bar{E}_n(0,15) \quad (6.12)$$

ТОВ СП «НІБУЛОН» експортує 5,3 млн. тонн зерна за 1 рік, а середня закупівельна ціна зерна у підприємств з ПДВ становить: 5200 грн/т. [1]

1 тонна сушіння зерна складає 0,0004 грн, це 0,042% від вартості покупки.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1. В даній роботі об'єктом розробки є сушіння зерна. Метою розробки є створення автоматизованої системи управління, в якості об'єкта керування виступає зерносушарка Mathews Comrap.

2. Сформовані вимоги до апаратного забезпечення системи керування, завдяки результатам аналізу ТП, структури об'єкта керування та вимог до функціонування.

3. На підставі розроблення структурної схеми системи керування з урахуванням вимог ТП, було обрано датчики та ВМ. Функціональну схему автоматизації системи керування та схему електричну принципову

системи керування було розроблено на підставі обраного апаратного забезпечення.

4. За результатами аналізу технологічного процесу розроблено словесний алгоритм роботи системи управління, відповідно підтверджений вибір.

5. З точки зору вибраного апаратного забезпечення, пристрій керування налаштовано. Програмне забезпечення системи розроблено за алгоритмом керування. Підтвердив роботу програмної системи управління, показав, що вона працює як потрібно.

6. Людино-машинний інтерфейс для системи SCADA розроблено відповідно до вимог до автоматизованого робочого місця оператора та обраної консолі оператора. Перевірила роботу, поєднавши пристрій керування з програмним забезпеченням, яке показало, що воно працює за всіма вимогами.

НУБІП України

НУБІП України

1. <https://nibulon.com/> - Офіційний сайт фірми "НІБУЛОН"
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Нібулон> - Фірма "НІБУЛОН"
3. [http://www.agrosteel.com/ru/grain\\_dryers/mathewsccompany/](http://www.agrosteel.com/ru/grain_dryers/mathewsccompany/) - зерносушарка Mathews Company
4. <https://zernokorm.biz/sushka-zerna-vazhnejshij-texnologicheskij-process-v-selskom-xozyajstve> - Зерносушильні комплекси
5. <https://zernokorm.biz/zernosushilka-dsp-32> - Інтернет-журнал «Зернокорм», розділ «Зерносушильное оборудование»
6. <http://www.nbuv.gov.ua/> - Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського, Київ.
7. <http://elibrary.nubip.edu.ua> – електронна наукова бібліотека НУБіП України
8. <http://www.nbuv.gov.ua/node/554> - Бази даних та електронні журнали Національної бібліотеки України
9. Автоматизация технологического процесса сушки зерна / С. К.Манасян, В. Н. Цугленок, Т. С. Манасян, Н. Н. Куликов. // Вестник КрасГАУ. – 2011. №1. – С. 149–152.
10. Економіка підприємства: підручник / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. Л. Г. Мельника. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2012. – 864 с
11. Челнокова Е.Я., Федотов В.А. Зерноведение. Оренбург СОУ, 2016. – 148 с.
12. Стеценко І.В. Моделивання систем. Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с
13. Моделирование и оптимизация процессов сушки зерна / С. К.Манасян, Н. В. Демский, Т. А. Лунева, Н. Н. Куликов. // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №12. – С. 128–133.
14. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Штепа В.М., Заєць Н.А. та ін. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. – К: НУБіП України, 2014. – 336с.
15. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. - К.: видавництво Ліра-К, 2016. - 312с



16. Щугленок Н. В. Основные факторы и показатели для сравнительной характеристики зерносушилок // Н. В. Щугленок, С. К. Манасян, М. А. Жуков. // Вестник КрасГАУ. – 2010. – №5. – С. 114–119.

17. Захарченко Р.В. Аналіз режимів сушки на основі математичної моделі / Р.В. Захарченко // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. – 2015. – Випуск 3(35). – С. 83 – 84.

18. Капустин И.В., Трицай Д.И., Петенев А.Н., Кулаев Е.В. Технологии и оборудование крупяного производства. Учебно – методическое пособие. – Ставрополь: АГРУС, 2014. – 53 с.

Вологовміст пароводяної суміші (кг водяної пари/кг сухого повітря):

$$dH = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_{нас}}{P_b - \varphi \cdot P_{нас}} \quad (2.1)$$

де 0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря;

$\varphi$  – відносна вологість повітря;

$P_b$  – загальний (барометричний) тиск парогазової суміші;

$P_{нас}$  – тиск насиченої водяної пари від температури, мм. рт. ст., за

табличними даними отримане рівня:

$$P_{нас} = 5,343124 + 0,027872 \cdot t + 0,032135 \cdot t^2 - 3,40325 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 7,710312 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 \quad (2.2)$$

На рис. 2.1, зображена математична модель процесу сушіння зерна

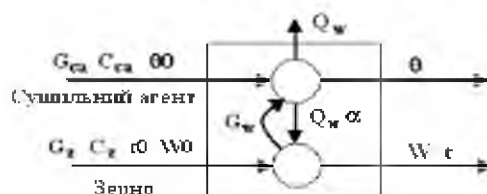


Рис. 2.1 Структурна схема процесу сушіння зерна.

де  $G_{ca}$ ,  $G_z$  – витрати сушильного агенту і зерна;

$C_{ca}$ ,  $C_z$  – теплоємність сухого повітря і зерна;

$t_0$  і  $\theta_0$  – початкові значення температури зерна і сушильного агенту;

$t$  і  $\theta$  – температури цих самих продуктів на виході сушарки;

$W_0$  і  $W$  – початковий і кінцевий вологовміст зерна;

$G_w$  – випарена волога із зерна;

$Q_w$  і  $Q_w \alpha$  – витрати тепла на нагрівання зерна і випарювання вологи;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна. [4]

Відносна вологість повітря:

$$\varphi = \frac{(P_b - P_{нас}) \cdot dH}{0,0622 \cdot P_{нас}} \quad (2.3)$$

Коефіцієнт сушіння, 1/с:

$$K = \frac{5.55 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0.00796 \cdot t}{3600} \quad (2.4)$$

Статичне рівняння сушіння зерна перетворимо на рівняння динаміки:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{G_z \cdot \sigma \cdot \alpha}{G_{cv} \cdot C_{cv}} \cdot (\theta - t) \quad (2.5)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\sigma \cdot \alpha}{C_{cv}} \cdot (t - \theta) + \frac{r \cdot 10^{-3}}{C_z \cdot (1 - W)} \cdot \frac{dW}{d\tau} \quad (2.6)$$

$$\frac{dW}{d\tau} = -K \cdot (W - W_p) \quad (2.7)$$

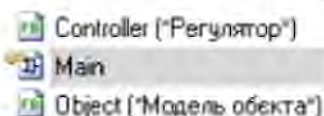
де:  $K$  – питома поверхня зерна  $\text{м}^2/\text{кг}$ ;

$\sigma$  – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ ;

$r$  – теплота пароутворення,  $\text{Дж}/\text{кг}$ .

## Б.1 Програмне забезпечення системи керування

## Б.1.1 Список програм



## Б.1.2 Основна програма



## Б.1.3 Перелік змінних

## Global variables

SetPoint (\* Уставка температури \*)

REAL

Embedded: &lt;Symbol&gt;

Temperature (\* Температура повітря \*)

REAL

Embedded: &lt;Symbol&gt;

Power (\* Потужність сушарки \*)

REAL

Embedded: &lt;Symbol&gt;

Main

I\_Controller

Controller

I\_Object

Object

Controller

bi\_Error

REAL

bo\_Power

# НУБІП України

H REAL  
 Integrator\_DSTATE  
 H REAL  
 Filter\_DSTATE  
 REAL  
 rth\_Sum

3  
 ІНІ

H REAL  
 rth\_ProportionalGain  
 H REAL  
 rth\_FilterCoefficient  
 REAL  
 rth\_IntegralGain

3  
 ІНІ

H rth\_Equal1  
 H BOOL  
 rth\_Equal2  
 H BOOL  
 rth\_DeadZone  
 REAL

3  
 ІНІ

H Y  
 H REAL  
 y\_0  
 H REAL  
 Object  
 bi\_Power  
 REAL

3  
 ІНІ

H ho\_Temperature  
 H REAL  
 DiscreteTransferFcn\_states  
 H REAL  
 DiscreteTransferFcn1\_states  
 REAL

3  
 ІНІ

H Delay\_DSTATE  
 H REAL [0..14]  
 K  
 H DINT  
 I  
 H DINT

3  
 ІНІ

H DiscreteTransferFcn  
 REAL

H ІНІ

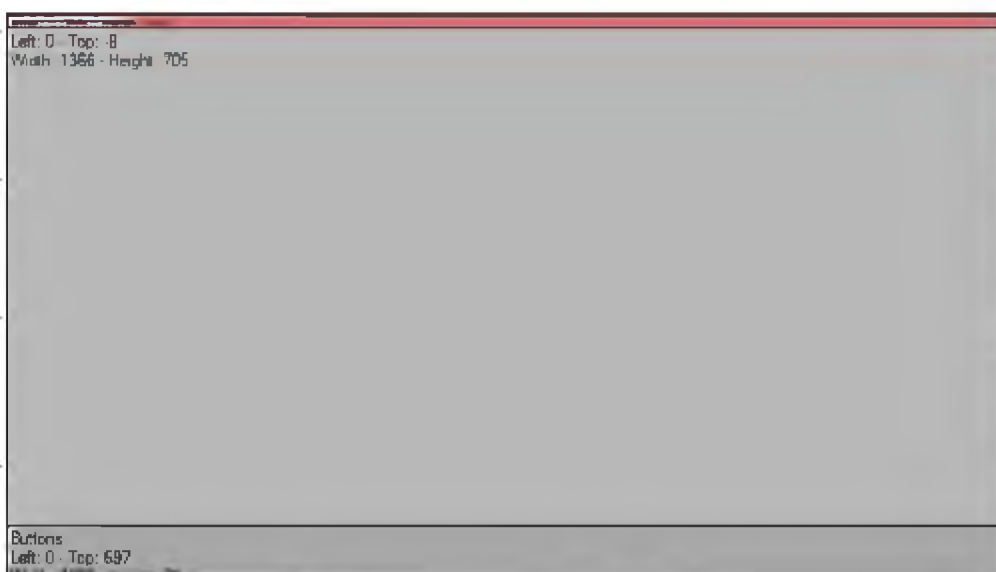
### В.1 Драйвера

| Filter text              | Filter text | Filter text |
|--------------------------|-------------|-------------|
| Driver for internal v... |             | Intern      |
| Driver for mathema...    |             | MATHDR32    |
| Driver for system va...  |             | SYSDRV      |
| VIPA                     |             | S7TCP32     |

### В.2 Перелік змінних

| Name        | Unit                | Value | Device       | Scale | Offset | Min   | Max   |
|-------------|---------------------|-------|--------------|-------|--------|-------|-------|
| SetPoint    | Уставка темперт...  | 1°C   | S7TCP32-VIPA | REAL  | 0      | 0     | 150   |
| Temperature | Температура помп... | 1°C   | S7TCP32-VIPA | REAL  | 1      | -50.0 | 200.0 |
| Power       | Потужність суша...  | %     | S7TCP32-VIPA | REAL  | 1      | 0.0   | 100.0 |

### В.3 Шаблони зображень



НУБІП України

НУБІП України

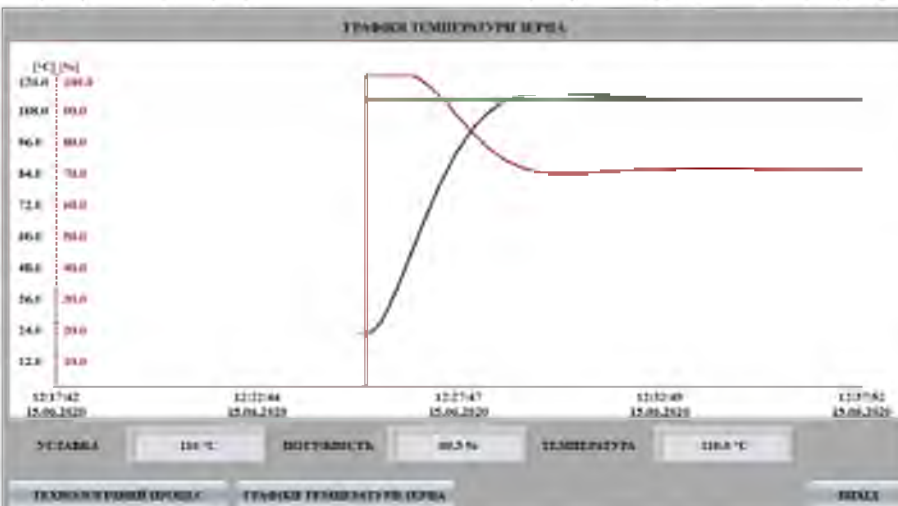
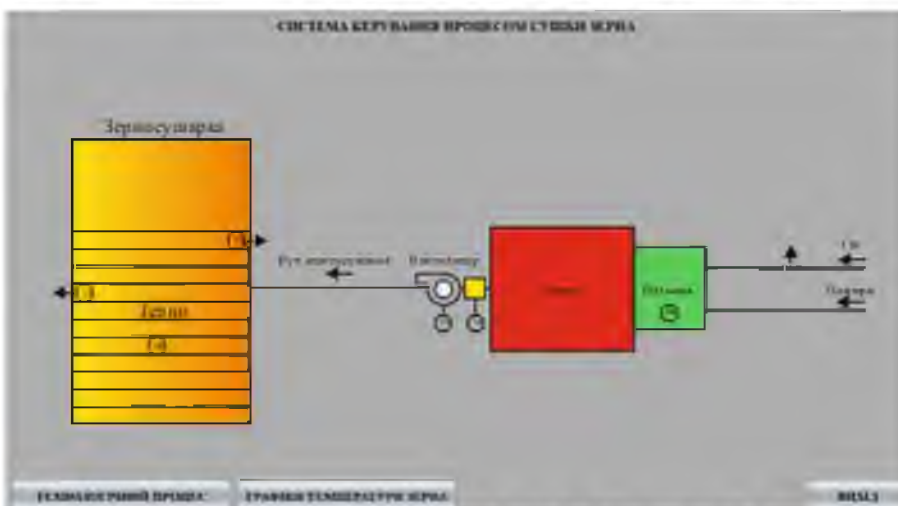
НУБІП України

**В.4 Функції**

| Назва функції      | Опис функції  | Назва екрана                         |
|--------------------|---------------|--------------------------------------|
| SwitchMainScreen   | Screen switch | MainScreen (Standard)                |
| SwitchTermoScreen  | Screen switch | TermoScreen (Extended Trend) - NE... |
| SwitchButtonScreen | Screen switch | ButtonScreen (Standard)              |
| ExitRuntime        | Exit Runtime  |                                      |

**В.5 Зображення**

| Назва екрана | Тип екрана     | Назва екрана      | Кольор  | Функції            | Функції            |
|--------------|----------------|-------------------|---------|--------------------|--------------------|
| TermoScreen  | Extended Trend | MainScreenFrame   | #AAAAAA | < no function L... | < no function L... |
| MainScreen   | Standard       | MainScreenFrame   | #AAAAAA | SwitchButtonS...   | < no function L... |
| ButtonScreen | Standard       | ButtonScreenFrame | #AAAAAA | < no function L... | < no function L... |



Н

)  
НИ

Н

)  
НИ

Н

)  
НИ

Н

У К Р А І Н І

)  
НИ

Н

)  
їНИ

Н

У К Р А І Н І

)  
їНИ

НУБІП У К Р А І Н І