

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Галюлько Владислав Володимирович  
(П.І.Б.)  
академічної групи 151-19ск-1  
(шифр)  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва спеціальності)  
за **освітньо-професійною програмою** 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)  
на тему Автоматизація процесу нагріву зерна у зерносушарці  
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Соснін К.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст. викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Воскобійник Є.К.			

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірвальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ Бубликов А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**

студенту Галюлько В.В. академічної групи 151-19ск-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Автоматизація процесу нагріву зерна у зерносушарці,  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 26.04.2022 № 217-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	11.05.2022
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та схеми електричної принципової.	18.05.2022
Визначення моделі об'єкта керування	Розробка методики дослідження об'єкту керування. Виконання експерименту, обробка результатів. Перевірка моделі на адекватність.	25.05.2022
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	01.06.2022
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	08.06.2022

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

доц. Соснін К.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 19.03.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Галюлько В.В.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70с., 30 рис., 9 табл., 1 додаток, 26 джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматизованого керування нагрівом зерна у шахтній зерносушарці ДСП-32.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні нагрівом зерна.

Мета: підвищення якості процесу керування нагрівом зерна під час сушіння у зерносушарці ДСП-32, шляхом ідентифікації об'єкту керування та розробки системи автоматизованого керування.

В кваліфікаційній роботі бакалавра проведено аналіз технологічного процесу післязбиральної обробки зерна, сушіння зерна, надано опис роботи об'єкта автоматизації – шахтної зерносушарки ДСП-32.

Згідно з вимогами до системи керування, було обрано відповідне апаратне забезпечення, що містить датчик температури (термоперетворювач) зерна, пальник, промисловий контролер VIPA з модулем аналогового вводу/виводу, блоки живлення.

Виходячи з опису технологічного процесу та принципу роботи зерносушарки розроблено план активного експерименту для ідентифікації об'єкту керування та отримання передавальної характеристики.

Після проведеного експерименту та обробки результатів, була отримана модель процесу сушіння зерна у зерносушарці по каналу температура агенту сушіння – температура зерна в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink, ступінь відповідності якої за нормованим середньоквадратичним відхиленням становить 99,995%.

Отримана імітаційна модель може бути використана для моделювання об'єкта керування і розробки системи керування в цілому, що дозволить підвищити якість процесу керування нагрівом зерна при сушінні.

**ЗЕРНО, НАГРІВ ЗЕРНА, СУШІННЯ ЗЕРНА, АВТОМАТИЗАЦІЯ.**

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 Стан питання та постановка завдання	7
1.1 Галузь промисловості	7
1.2 Технологічний процес	8
1.3 Об'єкт керування	100
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	100
1.3.2 Принцип функціонування об'єкта керування	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.4 Постановка завдання	155
1.5 Висновки по розділу	16
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	17
2.1 Розробка структурної схеми системи керування	17
2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків	18
2.3 Вибір апаратного забезпечення системи керування	19
2.3.1 Вибір датчиків	19
2.3.2 Вибір виконуючих пристроїв	21
2.3.3 Вибір пристроїв керування	211
2.3.4 Вибір джерел живлення	244
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	277
2.5 Розробка схеми електричної принципової	28
2.6 Висновки по розділу	29
3 Визначення моделі об'єкта керування	300
3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	300
3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування	311
3.3 Виконання експерименту	32
3.4 Обробка результатів експерименту	333
3.4.1 Підготовка даних	333
3.4.2 Структурна ідентифікація	344
3.4.3 Параметрична ідентифікація	38

	5
3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	422
3.4.5 Перевірка моделі на адекватність	43
3.5. Висновки по розділу	435
4 Економічна частина	466
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	46
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	47
4.3. Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	48
4.4. Розрахунок експлуатаційних витрат	51
4.5. Висновки по розділу	55
5 Охорона праці	566
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	56
5.2 Інженерно-технічні заходи	57
5.3 Вибухонебезпека у приміщеннях зернових елеваторів	58
5.4. Пожежна профілактика	60
5.5 Висновки по розділу	65
Висновки	66
Перелік посилань	68
Додаток А	71

## ВСТУП

Сушіння зерна на підприємствах це один з відповідальних процесів з усього циклу післязбиральної обробки зерна, оскільки визначає тривалість збереження якісних властивостей зерна. Перегрів зерна викликає псування якісних характеристик зерна, зниження вартості зерна. Недостатній прогрів зерна знижує ефективність процесу сушіння зерна, зменшується термін збереження зерна, виникає потреба у додаткових операціях на подальших етапах післязбиральної обробки зерна. Розміри збитків, з цієї причини навіть на рівні окремих комбінатів хлібопродуктів можуть сягати сотень тисяч гривень в сезон.

Комбінати хлібопродуктів приймають зерно різне по вологості. Тим часом тривалий час можна зберігати тільки сухе зерно пшениці, вологість якого не перевищує 14%. Зерно, що має велику вологість, не стійке до тривалого зберігання, в ньому під впливом вологи створюються сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів і шкідників зерна. Тому небезпечно зберігати сире зерно, оскільки в ньому дуже швидко починається самозігрівання, іноді через декілька днів після прийому до елеватору. Ефективними операціями, що попереджає псування зерна, є очищення його від смітної домішки і сушіння.

Завданням роботи є автоматизоване керування температурою нагріву зерна у зерносушарці що забезпечує ефективне керування температурою зерна. Що означає підтримання високої інтенсивності сушіння зерна у зерносушарці, при цьому не дозволяє перегріти зерно. Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню, ідентифікації зерносушарки як об'єкта керування по каналу температура агенту сушіння – температура зерна, розробці технічних документів автоматизованої системи керування.

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

## 1.1 Галузь промисловості

Використання якісного зерна, сучасної техніки, засобів захисту рослин, гарні ґрунто-кліматичні умови дозволило аграріям України у 2021 році зібрати рекордний врожай зернових та масляничних культур на рівні 107 млн. тон[1]. Досягнення рекорду забезпечило підвищені врожаї пшениці та кукурудзи, збільшено врожайність зернових та зернобобових культур на 32% у порівнянні з 2020 роком. Великій збір зернових у розмірі 2.8 млрд. тон зібрано у світі в цілому у 2021 році[2] і це при рекордно високих показниках цін на зерно на рівні 350 доларів за тону. Важливим елементом агропромислового комплексу України є галузь збереження та переробки зерна з такими підприємствами як хлібоприймальні підприємства, елеватори, комбикормові заводи, комбінати хлібопродуктів, олійно-екстракційні заводи, насінневі заводи які виконують зберігання та переробку зерна та насіння. Від ступеня їх розвитку, технічного оснащення значною мірою залежить раціональне використання продукції рослинництва рівень забезпеченості потреб населення у продуктах харчування.

Технологія обробки зерна на підприємствах складається з низки операцій, у результаті яких отримують зерно необхідної якості. До цих операцій відносяться зважування, розвантаження автомашин та вагонів залізничного транспорту, попереднє очищення зерна, сушіння зерна, первинне та вторинне очищення зерна, сортування, транспортування, довгострокове зберігання, оцінка показників якості зерна, зважування готової продукції. При поточній технології на підприємствах вказані операції виконують послідовно.

Основною метою підприємств цієї галузі це створення продукції яка відповідає умовам контрактів, стандартів, технічним умовам. Хлібоприймальні підприємства, елеватори виконують приймання зерна, доведення якості зерна до базисних кондицій, зберігання і відвантаження зерна. Комбінати хлібопродуктів також як правило мають млин (млинарське господарство), комбикормовий завод, круп'яний завод. Наприклад, «Сквирський комбінат хлібопродуктів», Київська область[3], виробляє борошно різних видів, великий

асортимент круп'яної продукції це крупи та пластівці різних культур. ДП «Новопокровський комбінат хлібопродуктів» [4] виробляє: борошно, ману крупу, комбікорма для тварин та птиці, білково-вітамінно-мінеральні добавки.

## 1.2 Технологічний процес

Сушіння – видалення вологи з різних матеріалів: твердих (напр., деревина, зерно), рідких (напр., молоко, кров), газоподібних (напр., повітря, топкові гази). Сушіння – один з основних технологічних процесів у промисловості, сільському господарстві та будівництві. Застосовується сушіння твердих матеріалів – конвективне сушіння, контактне сушіння, радіаційне сушіння (інфрачервоним випромінюванням), сушіння під розрідженням (сублімаційне).

Сушіння зерна, як одну з операцій післязбиральної обробки зерна, виконують на заготівельних підприємствах (хлібоприймальні пункти та елеватори). Технологія обробки продовольчого зерна на заготівельних підприємствах складається з низки операцій, у результаті виконання яких отримують зерно необхідної якості. Процес складається з наступних операцій: зважування матеріалу що надходить, розвантаження автомашин та залізничного транспорту, попереднє очищення, сушіння, первинне та вторинне очищення, сортування, транспортування зерна та відходів, зважування готової продукції, протравлювання, короткострокове зберігання, провітрювання, тривале зберігання у силосах, у складах насипом.

В Україні та у світі на заготівельних підприємствах поширено конвективне сушіння. При конвективному способі сушіння тепло передається зерну від сушильного агенту, що переміщується, а волога переміщується від зерна до сушильного агенту. На 96% підприємств [5] України використовуються шахтні зерносушарки (на 48 % підприємств використовуються шахтні вітчизняного виробництва; 38% - шахтні закордонного виробництва; 10% - шахтні вітчизняного виробництва та закордонного виробництва). На заготівельному підприємстві по причині



географічного розташування та спеціалізації перелік культур, що підлягають заготовці (сушінню), обмежується декількома найменуваннями.

Зерно на хлібоприймальні пункти перевозять з токів і безпосередньо від комбайнів автомобілями. Після відбору проб зерна і визначення його якості автомобілі з вантажем зважують на автомобільних вагах і розвантажують автомобілі-розвантажувачами в спеціальні бункера - одинарні або групові, надземні або заглиблення. Якщо на пункті є елеватор, то використовують бункера групові. Їх розміщують в окремому приймальному пристрої. З бункера зерно направляють на зерноочисні машини, сушать, вдруге очищають, зважують, а потім розміщують по зерносклади.

Обов'язковою умовою, яку слід виконувати при сушінні зерна, є його попереднє очищення. Великий вміст домішки в зерні може викликати загоряння в сушильній камері, нерівномірну сушку і привести до непродуктивних втрат тепла на висушування домішок. Незалежно від очищення зерна на зерноочисних машинах надсушильний бункер повинен обов'язково мати сітку для затримання великого сміття або випадково потрапляння предметів.

Після проходження зерном сушильної камери воно повинно бути охолоджене продуванням холодним повітрям.

Технологічна схема роботи поточно-транспортної лінії елеватора приведена на рисунку 1.1. Сире зерно з приймального бункера 1 скребковим конвеєром 2 подається в норію 3. Норія 3 подає зерно в бункер-розподільник 4, з якого воно проходить через сито 5 і надходить в бункер-накопичувач 6. Після чого живильник-розподільник 7 подає зерно в каскадний підігрівач 8 у підігрівачі зерно очищається від легких домішок, які повітряним потоком відводяться в циклони і накопичуються в бункері. Очищене зерно з підігрівача надходить в приймальний ковш норії 10 і подається нагору. З норії 10 воно надходить в зерносушарку 11. У зерносушарці зерно висушується сумішшю топкових газів з повітрям, що надходять з топки 12, а потім охолоджується атмосферним повітрям. Висушене зерно з

зерносушарки надходить на живильник 13 і транспортується на склад готової продукції. Якщо з зерносушарки виходить недосушене зерно, то його за допомогою живильника 13 направляють повторно на норію 10.

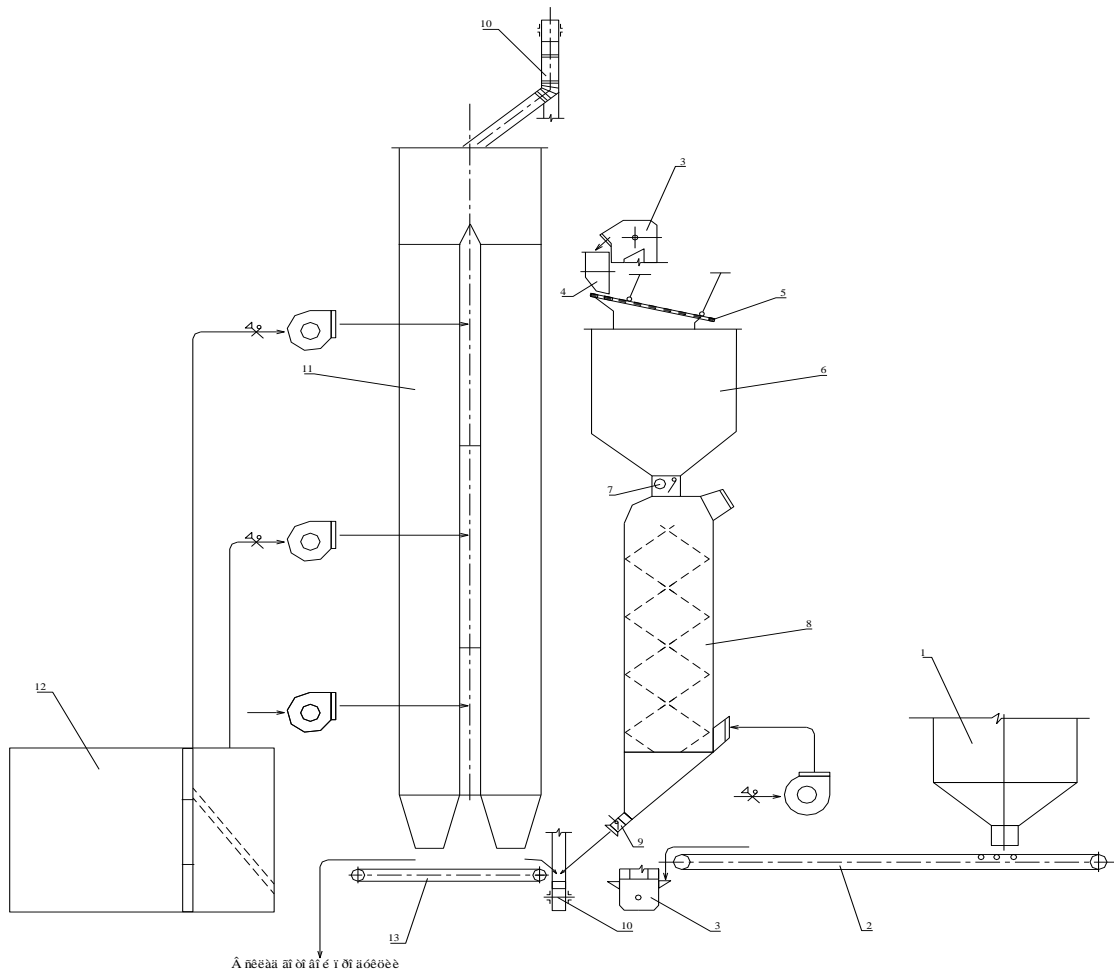


Рисунок 1.1 – Технологічна схема поточно-транспортної лінії підприємства зберігання та переробки зерна

### 1.3 Об'єкт керування

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі – шахтна зерносушарка ДСП-32 безперервної дії для сушіння зерна.

#### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Дуже поширеною на підприємствах зберігання та переробки зерна України є шахтна зерносушарка ДСП-32. Сушарку встановлюють біля механізованих ліній транспортування зерна при складах зберігання зерна, робочих баштах або силосних корпусах елеваторів (рис. 1.2). Зерносушарка

ДСП-32-ОТ-2 стаціонарна, шахтного типу, з двоступінчастим режимом сушіння. Її продуктивність 32 т/год при зниженні вологості зерна на 6% (з 20 до 14%).

Зерносушарка складається з наступних основних частин: двох сушильних шахт і розподільної камери, розташованої між ними; топки, що працює на рідкому паливі; трьох вентиляторів - для першого і другого

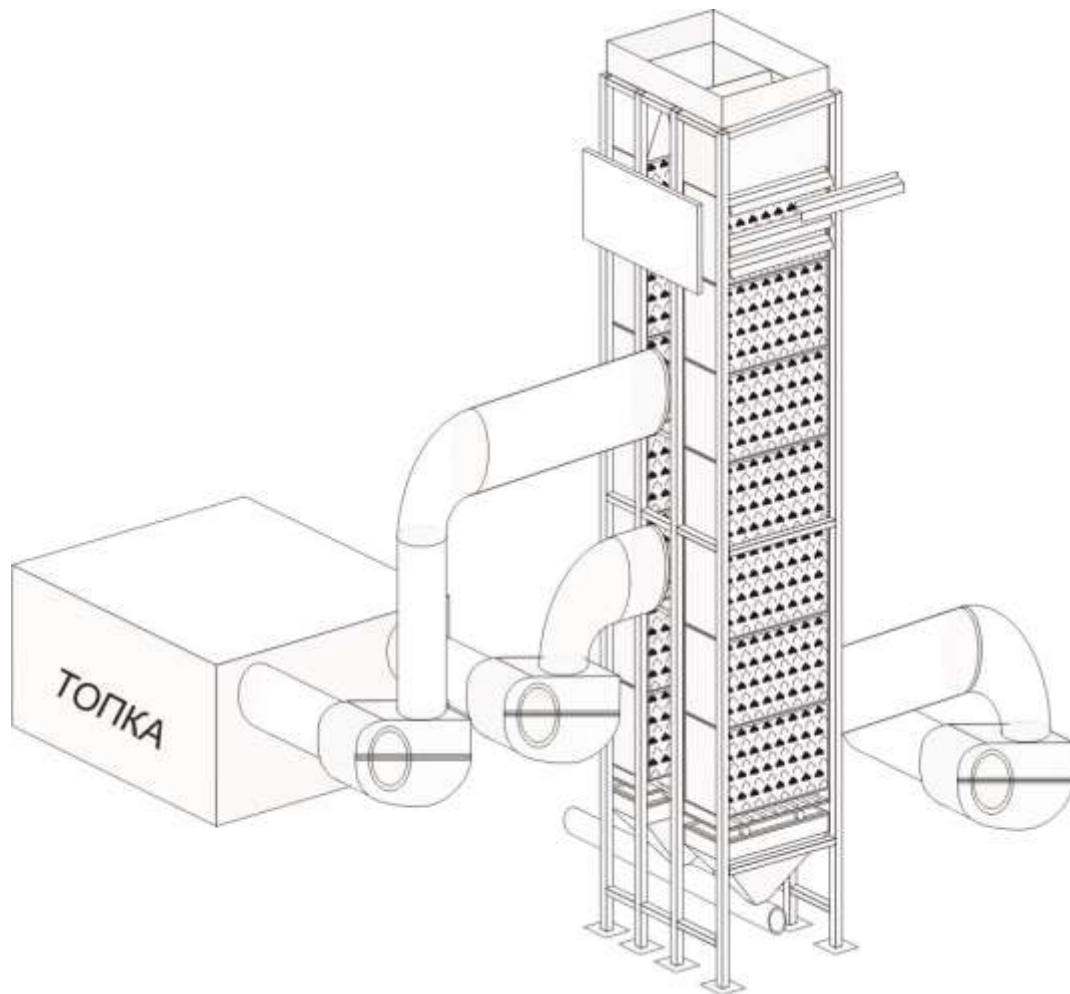


Рисунок 1.2 – Зерносушарка ДСП-32-ОТ-2

ступенів сушіння і для охолодження зерна; вентилятора високого тиску для форсунки; чотирьох електродвигунів для вентиляторів; двох затворів для випуску зерна з шахт і двох електродвигунів для приводу затворів. Над шахтами змонтовано бункер, що живить шахти зерном. Кожна шахта має по висоті три відділення: верхнє - перший ступінь сушіння; середнє - другий ступінь сушіння; нижнє - камера охолодження зерна.

У першому місці шахти розташовано 24 ряди коробів, з них верхній (перший) ряд - підвідний агент сушіння, а наступний за ним (другий) - відвідний і т. д. (Кожен непарний - підвідний, а парний під ним - відвідний).

У сушильній зоні другого ступеня шість рядів коробів підвідних і вісім відвідних. В охолоджувальній камері дев'ять рядів коробів, що підводять холодне повітря, і дев'ять рядів відвідних.

Топка сушарки працює на газоподібному паливі. У фронтальній стінці топки встановлений чавунний щит. До щита прикріплена форкамера з форсункою. До фланця приєднана камера згоряння. У топці по осі камери згоряння розміщені два металевих циліндра для підведення повітря до камери змішування. Циліндри прикріплені до чотирьох стійок. Задня стінка топки щільно охоплює другий циліндр, за яким розташована камера змішування.

Зерносушарка знаходиться на відкритому майданчику, а її топка розташовується в будівлі. Там же встановлено пульт керування і контролю. Засоби автоматизації пальника забезпечують стабільність температури сушильного агенту сушіння і постійного тиску.

Сушіння зерна на підприємствах виконується згідно інструкції [6]. Головною задачею сушіння зерна є зменшення вологи для переводу зерна у стійке для зберігання становище. При сушінні суворо заборонено зниження хлібопекарських, продовольчих і кормових якостей зерна та якості олійного насіння. Робітники, що обслуговують зерносушарку повинні дотримуватися режимів сушіння зерна, виконувати норми продуктивності, економити паливо та електроенергію. За кількісне та якісне зберігання зерна при сушінні несуть відповідальність оператор зерносушарки та лаборант, що контролює процес сушіння та відбирає проби зерна. Інструкція визначає вимоги до безпечної експлуатації сушарок, щоб уникнути загоряння сушарки, перегріву, псування зерна при сушінні, но інструкція не вказує значень керуючих впливів. Наприклад, для різних культур вказані лише верхня межа значення температури агенту сушіння по зонам та температура нагріву зерна. Для нагріву повітря

використовується пальник. Пальник МДГП (мікро-дифузійний газовий пальник) номінальною тепловою потужністю 0,3...35,0 МВт використовується для високоефективного спалювання природного газу, пропан-бутанової суміші та іншого газоподібного палива у будь-якому обладнанні, що використовує газ[7]. Пальник МДГП (рис.1.3) використовується на промислових парових та водогрійних котлах, зерносушарках, промислових печах, сушарках та інших теплових агрегатах промислового призначення. Економічне та екологічно чисте спалювання засновано на струминному змішуванні газу з повітрям та утворенні на зрізі пілонів пальника МДГП горючої суміші. Мікродифузійний процес спалювання газу у пальнику МДГП протікає: в короткому факелі; забезпечує високу стійкість спалювання до коливань тиску газу у газопроводі; забезпечує рівномірне температурне поле в камері горіння теплового агрегату; забезпечує високі екологічні показники.

Пальник комплектується блоком розпалювання, блоком автоматики, датчиками тиску. Блок автоматики має різні інтерфейси для обміну даними, у тому числі аналогові інтерфейси 0...10 В, 4...20 мА, інтерфейс RS-485, з реалізацією протоколу Modbus RTU. Значення температури агенту сушіння задається оператором за допомогою блоку автоматики пальника або через інтерфейс обміну даними з комп'ютера оператора.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд пальника МДГП

Коефіцієнт корисної дії пальника МДГП складає 95%. Для зерносушарки ДСП-32 економія витрат газу у порівнянні з попереднім пальником складає 10%.

При опису процесу керування сушінням зерна варто відзначити, що це керування, при якому значення керуючої дії виробляється за допомогою людини-оператора. Це керування зі зворотнім зв'язком, при якому керуюча дія виробляється з врахуванням стану об'єкту керування. Відомості про якісні показники зерна після сушіння дозволяють виконувати керування по відхиленню, коли керуюча дія виробляється з врахуванням сигналів відхилення.

У процесі сушіння зерна контролюються параметри: температура агенту сушіння, температура нагріву зерна, стан обладнання та інші, а також якісні показники партії зерна у лабораторії підприємства: запах, колір, вологість, кількість та якість клейковини у пшениці, стан оболонок (підсмажені, потемніли), зараженість та інші.

Розділімо умовно параметри, що характеризують процес сушіння зерна пшениці [8] на групи (рис.1.3). Впливи збурення, що контролюються – параметри, що визначають якість вихідного матеріалу шифруються наступним чином:  $K$  – зернова культура;  $K_3V_{\text{ВХ}}$  – вологість зерна;  $K_3ЗАП_{\text{ВХ}}$  – запах зерна, наявність запаху диму, сірчистого газу, рідинного палива;  $K_3Ц_{\text{ВХ}}$  – колір зерна;  $K_3КО_{\text{ВХ}}$  – якість оболонки зерна (потемніння, підгорілий вигляд);  $K_3ЗАР_{\text{ВХ}}$  – зараженість;  $K_3ПС_{\text{ВХ}}$  – домішка сорна;  $K_3ПС1_{\text{ВХ}}$  – домішка сорна у тому числі зіпсовані зерна, наявність битих, обрубаних зерен;  $K_3ПЗ_{\text{ВХ}}$  – домішка зернова;  $K_3Н_{\text{ВХ}}$  – натура;  $K_3ККЛ_{\text{ВХ}}$  – кількість сирої клейковини;  $K_3ККЧ_{\text{ВХ}}$  – якість клейковини.

Керовані параметри скорочено названі:  $T_{\text{аг.1}}$  – температура сушильного агента на вході у сушильну шахту першої зони;  $T_{\text{аг.2}}$  – температура сушильного агента на вході у сушильну шахту другої зони;  $S_3$  – швидкість (розхід) зерна.

Параметри на виході зерносушарки скорочено названі:  $T_3$  – Температура зерна на виході другої зони нагріву;  $T_{3.\text{ВИХ}}$  – температура зерна на виході;  $K_3V_{\text{ВИХ}}$  – вологість зерна;  $K_3ЗАП_{\text{ВИХ}}$  – запах зерна після сушіння, це наявність запаху

диму, сірчистого газу, рідинного палива;  $K_3Ц_{вих}$  - колір зерна після сушіння;  $K_3КО_{вих}$  –якість оболонки зерна після сушіння (потемніння, підгорілий вигляд);  $K_3ЗАР_{вих}$  – зараженість;  $K_3 ПС_{вих}$  – домішка сорна;  $K_3 ПС1_{вих}$  - домішка сорна, у тому числі зіпсовані зерна, наявність битих зерен;  $K_3ПЗ_{вих}$  - домішка зернова;  $K_3Н_{вих}$  – натура;  $K_3ККЛ_{вих}$  – кількість сирої клейковини;  $K_3ККЧ_{вих}$  – якість клейковини.

### 1.3.2. Принцип функціонування об'єкту керування

Для різних культур, різного призначення зерна (наприклад, зерно насіннєве) перелік параметрів може змінюватися. Для окремого вихідного параметра правило (завдання) керування задається формулою:

$${}_{вих}X_{вих} = |X_{вих.} - X_3| \rightarrow \min \quad (1.1)$$

де  ${}_{вих}X_{вих}$  – відхилення параметра після сушіння від заданого значення;

$X_3$  – задане значення параметра після сушіння;

$X_{вих.}$  – значення параметра після сушіння.

$${}_{вих}T_3 = |T_3 - T_{3.3}| \rightarrow \min \quad (1.2)$$

де  ${}_{вих}T_3$  – відхилення параметра температура зерна на виході зони нагріву від заданого значення;

$T_{3.3}$  – задане значення параметра температура зерна на виході зони нагріву;

$T_3$  – значення параметра температура зерна на виході зони нагріву.

### 1.4. Постановка завдання

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

розробити структурну схему, обґрунтувати вибір апаратного забезпечення, розробити схему функціональну автоматизації, схему електричну принципову, перелік елементів системи керування процесом нагріву зерна у зерносушарці;

виконати ідентифікацію об'єкта керування, виконати перевірку отриманої моделі об'єкта керування на адекватність. Використовуючи систему SCADA

ZENON для створення керуючого впливу виконати ідентифікацію об'єкту керування шляхом отримання динамічної, статичної, П-подібної (імпульсна) характеристик та перевірочних даних за допомогою програмного забезпечення "Identification System Toolbox";

визначити капітальні та експлуатаційні витрати при впровадженні системи автоматизації процесом нагріву зерна у зерносушарці;

розробити комплекс заходів з охорони праці при сушінні зерна у зерносушарці.

### **1.5. Висновки по розділу**

Для сушіння зерна використовується зерносушарка ДСП-32, розглянуто її технічні характеристики. Як об'єкт керування, зерносушарка відноситься до класу безперервних об'єктів, що сушить зерно у потоці. Важливий вимірювальний параметр системи автоматизації це температура зерна на виході зони нагріву зерносушарки. Нагрів зерна здійснюється за допомогою пальника газового мікро-дифузійного. Критерієм керування системи автоматизації процесу нагріву зерна це мінімальне відхилення температури нагріву зерна у зерносушарці від заданого значення.



## 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1. Розробка структурної схеми системи керування

Система керування температурою нагріву зерна пшениці з нормальною клейковиною, що розглядається у даній роботі підтримує задане значення температури зерна пшениці у шахті зерносушарки ДСП-32. Значення температури зерна що надходить до сушіння дорівнює приблизно температурі повітря та складає  $15^{\circ}\text{C}$ . Значення температури зерна у шахті зерносушарки вимірюється за допомогою датчика температури або термоперетворювача та повинне становити  $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Параметром, що керує нагрівом зерна є температура агенту сушіння у другій зоні зерносушарки, значення якої не перевищує  $150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Обираємо структуру системи керування, що має три рівня. Перший або нижчий рівень це датчики та виконавчі механізми – датчик температури зерна пшениці у шахті зерносушарки, пальник, для підігріву повітря або агенту сушіння, що проходить крізь шар зерна та нагріває його. Другий рівень здійснює обробку інформації, що надійшла від датчику, формує значення температури агенту сушіння для пальника, виконує обмін даними з верхнім рівнем. Ці функції виконуються мікропроцесорним пристроєм керування – промисловим мікроконтролером. Третій рівень це пульт керування або автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора для людино-машинного інтерфейсу між людиною-оператором та об'єктом керування. Виконується візуалізація стану технологічного обладнання у вигляді мнемосхем, графіків, трендів; керування технологічним процесом; збереження технологічних даних у базі даних. Ці функції виконуються на базі спеціалізованого персонального комп'ютеру за допомогою прикладного програмного забезпечення. (рис. 2.1) .

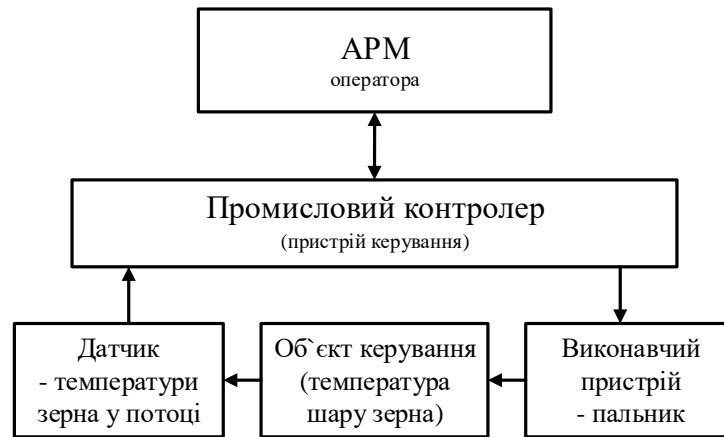


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизації процесу нагріву зерна у зерносушарці

## 2.2. Розробка структурної схеми інформаційних потоків

Оскільки система повинна забезпечувати візуалізацію і контроль за технологічним процесом, вона має містити підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-машинного інтерфейсу, реєстрації параметрів процесів і сигналізації досягнення параметрами заданих значень.

Крім того система повинна забезпечуватися збереження значень параметрів технологічного процесу що відбуваються, тому в ній має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище.

Розроблена структурна схема інформаційних потоків наведена на рисунку 2.2. Дана структура забезпечує підтримку заданої температури зерна пшениці, збір інформації про технологічний процес, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних і створення резервних копій. Крім того дана структура забезпечує контроль, за станом обладнання і сигналізацію досягнення параметрами керування заданих значень.

Таким чином підсистема автоматизованого керування технологічним обладнанням представлена у вигляді апаратно-програмного комплексу, який містить датчик температури зерна у шахті зерносушарки ДСП-32, керуючий пристрій це пальник, пристрій керування, це програмований логічний контролер.

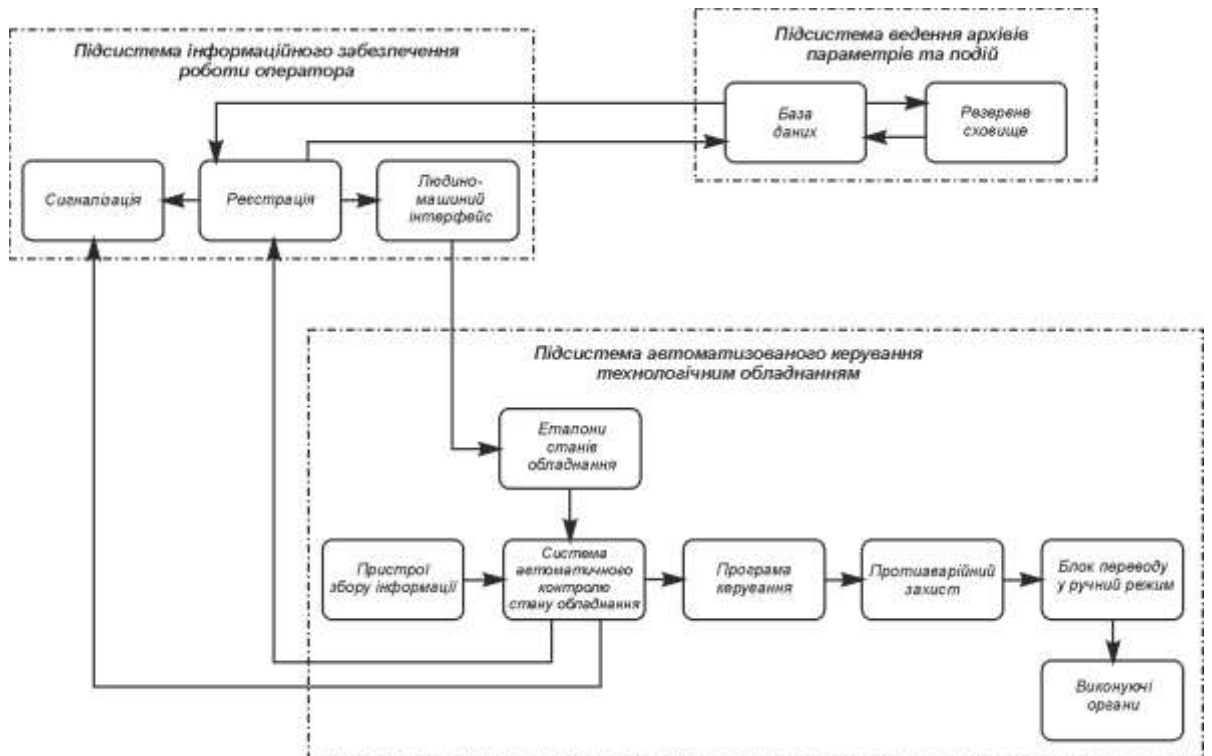


Рисунок 2.2 – Структурна схема інформаційних потоків

Підсистема інформаційного забезпечення представлена як апаратно-програмний комплекс на базі персонального комп'ютера з операційною системою сімейства Microsoft Windows і SCADA системою Zenon, що виконує функції пульта оператора. Підсистемою ведення архівів параметрів і подій є окремі програмні модулі SCADA системи Zenon.

Зв'язок між перерахованими апаратними комплексами відповідно до вимог забезпечується за допомогою загальної мережі підприємства, а між програмним забезпеченням за допомогою стандартних протоколів.

## 2.3. Вибір апаратного забезпечення системи керування

### 2.3.1. Вибір датчиків

Основним призначенням системи керування, що розробляється, є підтримання температури зерна пшениці, значення якої має дорівнювати  $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Датчик температури зерна розташовується у коробі шахти зерносушарки. Значення температури зерна до мікроконтролера повинно передаватися за допомогою завадостійкого інтерфейсу обміну. З огляду на те, що температура зерна не перевищує  $65^{\circ}\text{C}$ , то для контролю температури зерна

обрано термоперетворювач опору мідний з високоточним нормованим перетворювачем, з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА [9]. Діапазон вимірюваних температур термоперетворювача ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.500.И[1] складає від мінус 50 до плюс 180 С. Цей термоперетворювач (рис. 1.6) призначено для безперервного вимірювання та перетворення значень температури рідин, газоподібних, твердих та сипучих речовин в уніфікований вихідний сигнал струму 4...20 мА. Вимірюваний технологічний робочий діапазон температур від температури навколишнього середовища до плюс 65<sup>0</sup>С, що лежить в діапазоні температур обраного термоперетворювача.

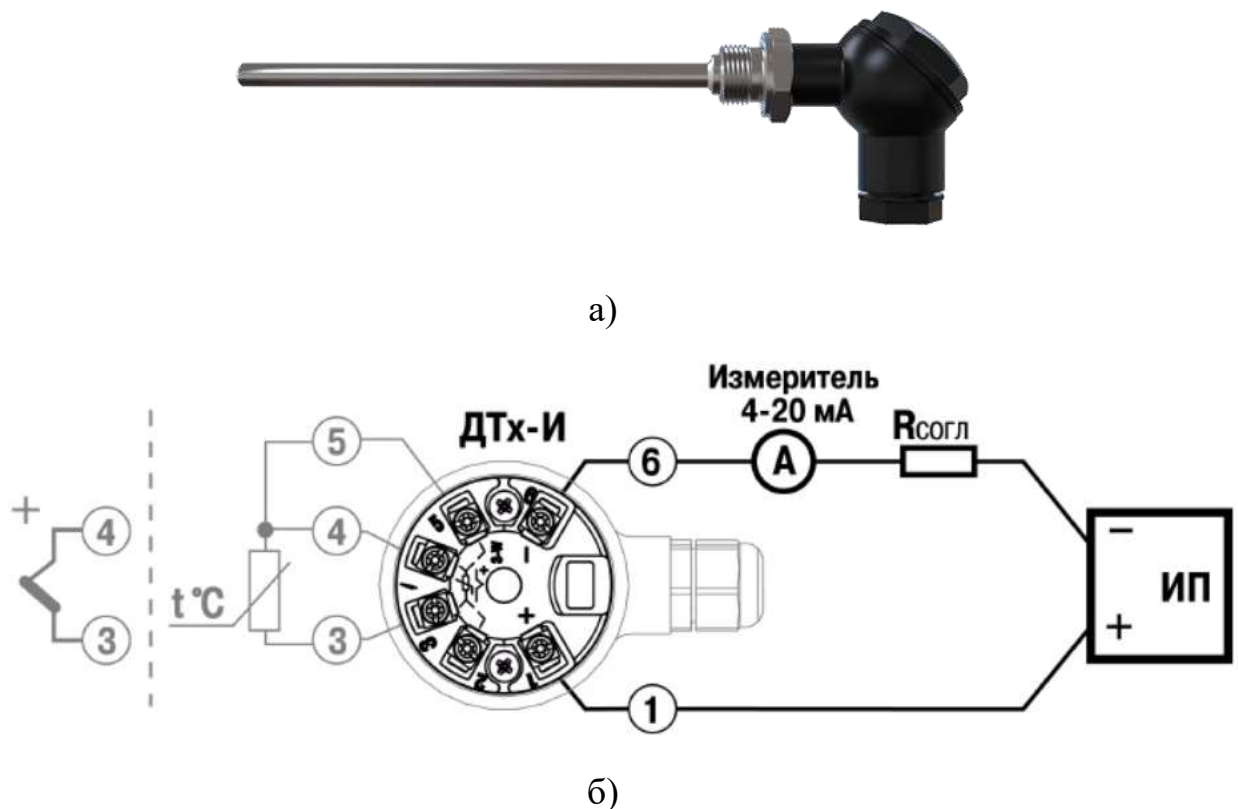


Рисунок 2.3 – Термоперетворювач ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.500.И[1], де а) загальний вигляд термоперетворювача, б) схема підключення.

Термометри опору надійні в експлуатації, мають високу чутливість, у них відсутні необхідність в застосуванні дорогих компенсаційних проводів, вони мають хорошу взаємозамінність.

На підставі обраного термоперетворювача та його технічних характеристик складена таблиця 2.1

Таблиця 2.1. – Датчики системи керування

№	Найменування параметра	Принцип роботи	Тип	Діапазон вимірювання	Точність, %	Значення виходу	Період оновлення	Споживча потужність
1	Температура зерна	Перетворення температури в опір	Аналоговий	мінус50 – плюс 180°C	0,5	4-20 мА	10 с	1 Вт

### 2.3.2. Вибір виконавчих пристроїв

Виконавчим пристроєм процесу нагріву зерна у зерносушарці є пальник МДГП. Технічні характеристики пальника визначаються зерносушаркою яка є складним технологічним об'єктом. Пальник комплектується блоком автоматики, блоком розпалювання, датчиками тиску. Блок автоматики або мікропроцесорний модуль має різні інтерфейси для обміну даними, у тому числі аналогові інтерфейси 0...10 В, 4...20 мА. Значення температури агенту сушіння задається оператором за допомогою блоку автоматики пальника або через інтерфейс обміну даними з комп'ютера оператора.

### 2.3.3. Вибір пристроїв керування

Відповідно до вимог системи керування температурою зерна пшениці в якості пристрою керування слід використовувати програмований логічний контролер компанії VIPA[10]. Цикл роботи робочої програми контролера повинен тривати не більше 100 мс, для забезпечення реакції на зміну вологості зерна пшениці. Крім того контролер повинен мати не менше 1 кілобайта вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

Виходячи з того, що контролер буде підключений до пристрою з аналоговим входом, та до пристрою, що керується аналоговим сигналом, контролер повинен мати модульну структуру, щоб забезпечити підключення обраного обладнання.

Так як в структуру системи керування входить підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора, яка відповідно вимогам до

системи та повинна бути реалізована на базі персонального комп'ютера, контролер повинен мати можливість підключення до Ethernet інтерфейсу.

Висунутим вимогам задовольняє програмований логічний контролер компанії VIPA 214-2BE03. Даний контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, обсяг пам'яті програм 144 кілобайта і обсяг робочої пам'яті 96 кілобайт (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Програмований логічний контролер 214-2BE03

Технічні характеристики контролера наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики програмованого логічного контролера 214-2BE03

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	CPU 214NET
2	Пам'ять, кБайт	144
3	Робоча пам'ять, кБайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Ethernet інтерфейс	Присутній
6	Напруга живлення, В	24
7	Споживана потужність, Вт	6

Для підключення до програмованого логічного контролера датчика температури/термоперетворювача необхідно використати модуль аналогового входу з діапазоном вхідного сигналу від 4 до 20 мА. Також, для підключення

пальника МГДП, нам необхідно використати модуль аналогового виходу з діапазоном вихідного сигналу від 0 до 10 В. Даним вимогам задовольняє модуль VIPA 234-1BD50, що володіє двома аналоговими входами та двома аналоговими виходами [10] з діапазоном сигналу від 4 до 20 мА, від 0 до 10 В. Зовнішній вигляд модулю та схема підключення зображені на рисунку 2.5.

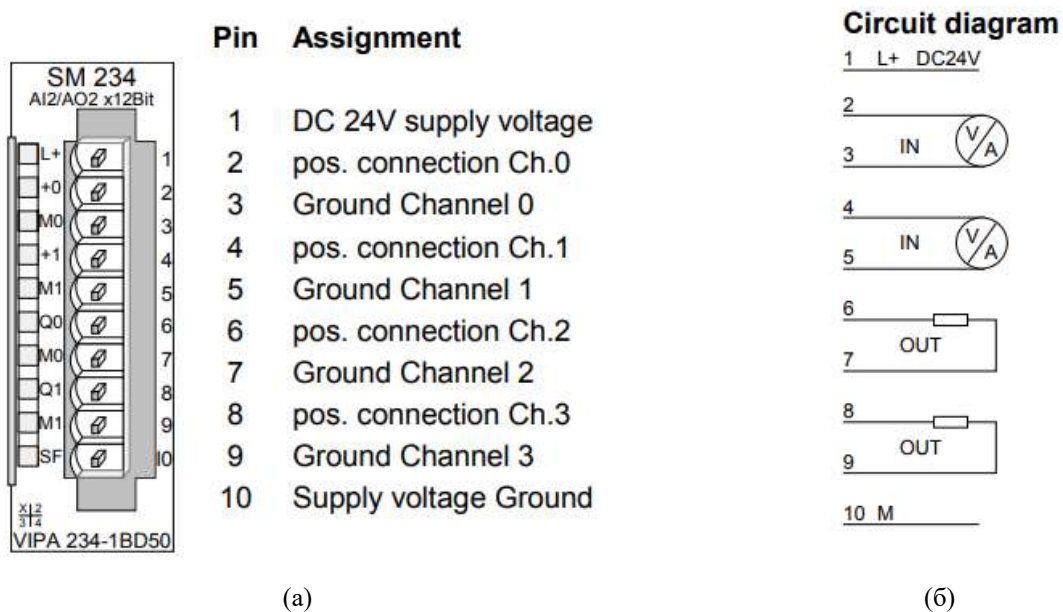


Рисунок 2.5 – Модуль аналогового вводу/виходу VIPA 234-1BD50,

де а – найменування клем, б – спрощена схема підключення.

Технічні характеристики модуля аналогового вводу/виходу наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу/виходу

№	Найменування параметру	Значення
1	Розрядність АЦП, біт	12
2	Кількість входів/виходів	2/2
3	Тип входу	аналоговий
4	Діапазон сигналу, мА	+/-20mA, +/-10V
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	2,9

Відповідно до вимог системи керування, підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора повинна відображати поточний стан технологічного процесу на підставі даних від програмованого логічного

контролера. Підсистема інформаційного забезпечення буде реалізована на базі персонального комп'ютера, а зв'язок з програмованим логічним контролером за допомогою інтерфейсу Ethernet. Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера 241-2BE03 приведена на рисунку 2.6.

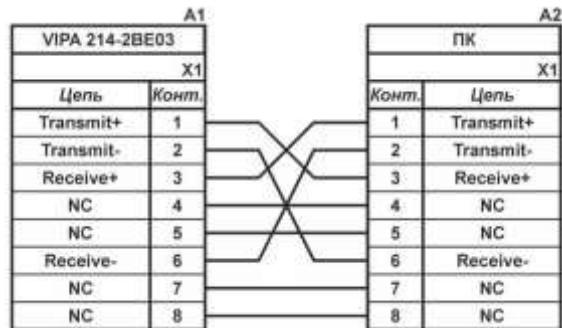


Рисунок 2.6 – Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера 241-2BE03

На підставі обраного програмованого логічного контролера і його модулів складена таблиця 2.4.

Таблиця 2.4 – Потужність приладів

№	Найменування	Пристрій	Потужність
1	VIPA 214-2BE03	Центральний процесорний модуль	6,00 Вт
2	VIPA 234-1BD50	Модуль аналогового вводу/виводу	2,90 Вт
		ОВЕН ДТС035М-50М.0,5.500.И[1]	1 Вт

### 2.3.4. Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер 214-2BE03 і його модуль мають напругу постійного живлення 24 В. Загальна споживана потужність програмованого логічного контролера 6 Вт. Виходячи з цього в якості джерела постійної напруги контролера обрано джерело живлення SPD24301 зі змінною напругою живлення від ~ 85 до ~ 264 В, вихідною напругою +24 В і потужністю 30 Вт (Рис. 2.7). Технічні характеристики джерела живлення наведені в таблиці 2.5.





Рисунок 2.7 – Джерело живлення SPD24301

Схема підключення програмованого логічного контролера 214-2BE03 до джерела живлення SPD24301 приведена на рисунку 2.8.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики джерела живлення SPD2430

№	Найменування параметру	Значення
1	Напруга живлення, В	~85÷~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25

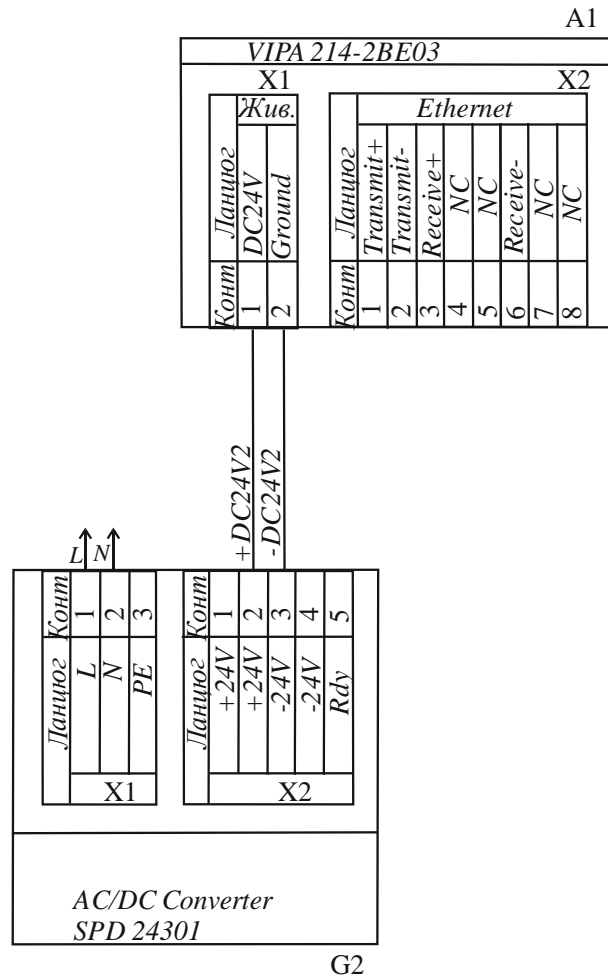


Рисунок 2.8 – Схема підключення ПЛК 214-2BE03 до джерела живлення SPD24301

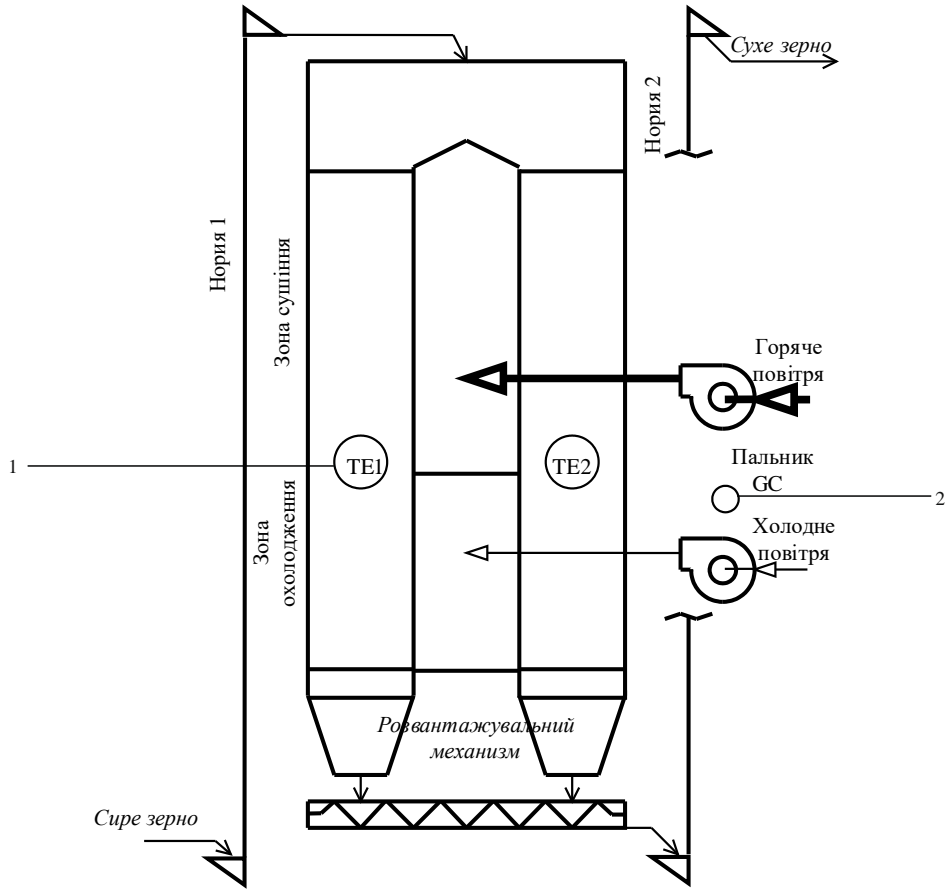
Виходячи з аналізу обраного обладнання можна зробити висновок, що зовнішнє джерело живлення необхідно також для модуля аналогового вводу/виводу, що слугує для підключення термоперетворювача ОВЕН ДТС035М напругою живлення 24 В і споживаною потужністю 1 Вт. Блок автоматики пальника має напругу живлення ~220В. Загальна споживана потужність модуля вводу/виводу та підключеного до нього обладнання:

$$P = 2.9 + 1 = 3.9 \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

Виходячи з цього в якості джерела постійної напруги модуля та підключених до нього пристроїв обрано джерело живлення SPD24301, аналогічне вказаному вище.

**2.4. Розробка функціональної схеми автоматизації**

На підставі вимог до системи керування нагрівом зерна у зерносушарці та обраного обладнання розроблена функціональна схема автоматизації, що наведена на рисунку 2.9 (Додаток А).



Пристрої за місцем	1	2
Щит шафи керування		
Шафа керування		
Центральний пульти		
	TE1	GC
		UY
		UYR

Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизації технологічного процесу нагріву зерна

В якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY – VIPA 214-2BE03). Дані програмованого логічного контролера

про хід технологічного процесу відображаються на пульті оператора (UYR – Персональний комп'ютер).

Температура зерна у шахті зерносушарки вимірюється за допомогою термоперетворювача (TE1 – ОВЕН ДТС035М) для оцінки похибки керування процесом нагріву зерна. Програмований логічний контролер (UY – VIPA 214-2BE03) на підставі статичної характеристики пальника задає температуру агенту сушіння. Задане значення температури агенту сушіння у вигляді сигналу 0-10 В подається до пальника (GC – МГДП), який нагріває повітря або агент сушіння, що передає тепло до шару зерна у зерносушарці.

## **2.5. Розробка схеми електричної принципової**

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблено перелік елементів та схема електрична принципова системи керування нагрівом зерна у зерносушарці (рис. 2.10) (Додаток А).

В системі використовуються два джерела живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1, G2). До першого джерела живлення (G1) підключений модуль аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD50 (A2) та термоперетворювач ОВЕН ДТС035М (TE), а до другого джерела живлення (G2) програмований логічний контролер VIPA 214-2BE03 (A1). Параметри системи керування можуть бути задані за допомогою персонального комп'ютера, що виконує функцію пульта оператора. Зв'язок між програмованим логічним контролером (A1) і персональним комп'ютером реалізовано за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Температура зерна на виході зони нагріву зерносушарки вимірюється за допомогою термоперетворювача (TE1 – ОВЕН ДТС035М). Токовий вихід термоперетворювача 4-20 мА підключений до модуля аналогового вводу/виводу (A2) програмованого логічного контролера (A1).

Керування температурою агенту сушіння здійснюється програмованим логічним контролером (A1) завдяки модулю аналогового вводу/виводу (A2), що передає сигнал 0-10В до блоку автоматики пальника (GC – МГДП).

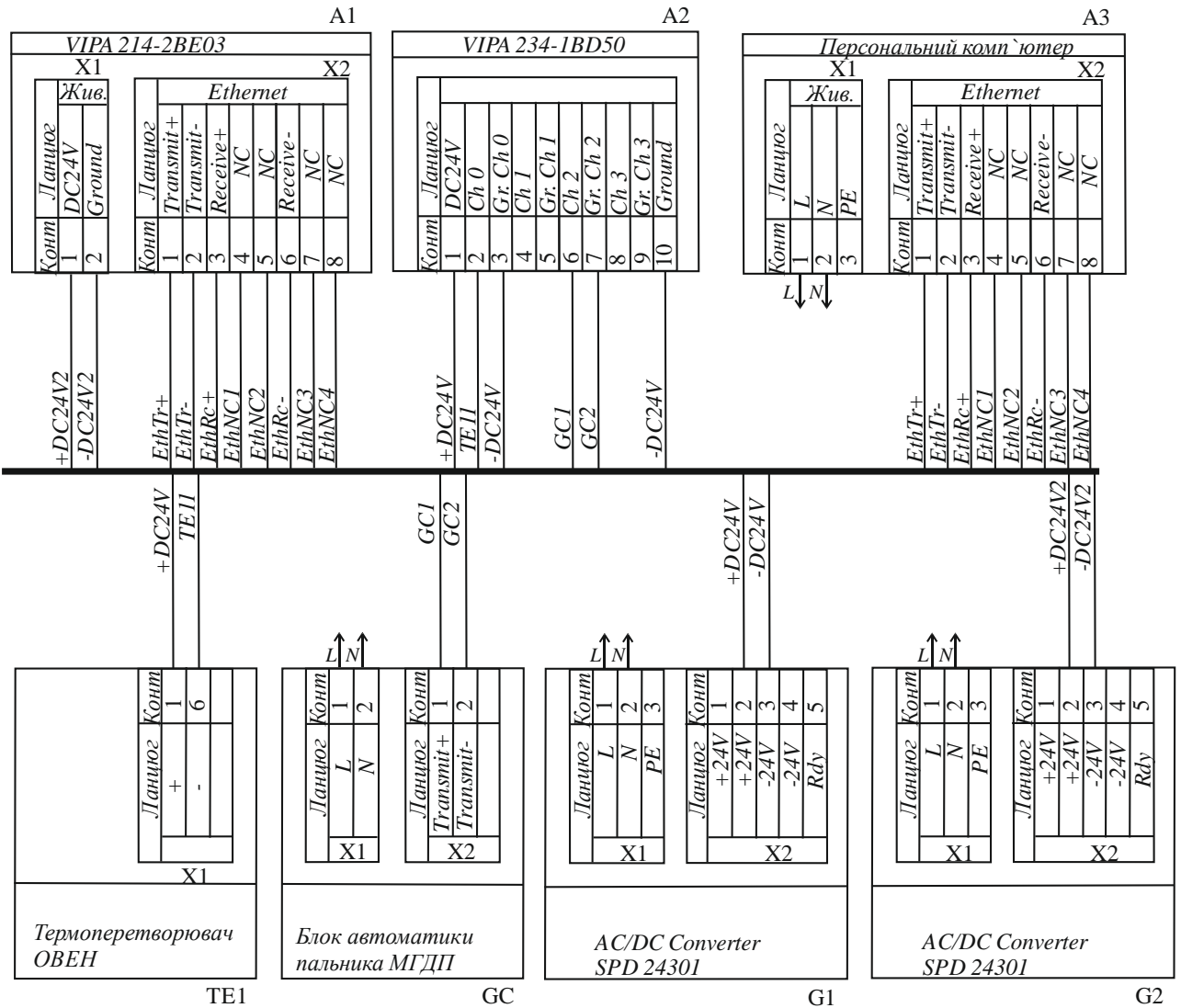


Рисунок 2.10 – Схема електрична принципова системи керування

## 2.6. Висновки по розділу

Відповідно до вимог системи автоматизованого керування нагрівом зерна розроблено структурну схему, обрано апаратне забезпечення, розроблено технічну документацію з наступними документами – схема функціональна автоматизації, схема електрична принципова, перелік елементів.

Апаратною базою системи автоматизованого керування обрано сучасний промисловий контролер VIPA System 200V (Німеччина).

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 3.1. Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

SCADA система Zenon [11, 12] включає людино-машинний інтерфейс, середовище виконання і програмний програмований логічний контролер (рис. 3.1).

Людино-машинний інтерфейс дозволяє налаштовувати діапазон керуючого впливу і дійсного значення. Крім того людино-машинний інтерфейс дозволяє відобразити ці значення в вигляді трендів.

Керуючий вплив, утворений в середовищі виконання, перетворюється з фізичних одиниць в цифрове значення з діапазоном від 0 до 27648 і передається по каналу зв'язку системі віддаленого вводу-виводу. Система віддаленого вводу-виводу за допомогою цифро-аналогового перетворювача перетворює його в електричну величину з діапазоном від 0 до 10В, що подається на виконавчий пристрій об'єкта керування. Справжнє значення температури зерна на об'єкті керування вимірюється за допомогою датчика, з діапазоном від 4 до 20 мА. Електрична величина перетворюється аналого-цифровим перетворювачем системи віддаленого вводу-виводу в цифрове значення з діапазоном від 0 до 27648, яке передається по каналу зв'язку середовищу виконання, яке перетворює його в фізичні одиниці і відображає за допомогою людино-машинного інтерфейсу.



Рисунок 3.1 – Структура системи дослідження об'єкта керування

### 3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування

Виходячи з опису, система дослідження об'єкта керування дозволяє формувати керуючий вплив будь-якої форми і подавати його на вхід об'єкта керування, тому об'єкт керування буде досліджуватися за допомогою методу активного експерименту, що дозволить виконати ідентифікацію об'єкта керування та отримати математичну модель об'єкта керування.

План експерименту.

#### 1. Динамічна характеристика

1.1 Приведення системи до початкового стану (дійсне вхідне значення температури зерна складає  $15^{\circ}\text{C}$ )

1.2 Запуск системи реєстрації даних

1.3 Подача східчастого керуючого впливу зі значенням  $150^{\circ}\text{C}$  або 100%

1.4 Очікування завершення перехідного процесу

1.5 Вимкнення системи реєстрації даних

#### 2. Статична характеристика

2.1 Приведення системи до усталеного стану (дійсне вхідне значення температури зерна складає  $15^{\circ}\text{C}$ )

2.2 Запуск системи реєстрації даних

2.3 Подача східчастого впливу зі значенням  $30^{\circ}\text{C}$  або 20%

2.4 Очікування завершення перехідного процесу

2.5 Подача східчастого впливу зі значенням  $60^{\circ}\text{C}$  або 40%

2.6 Очікування завершення перехідного процесу

2.7 Подача східчастого впливу зі значенням  $90^{\circ}\text{C}$  або 60%

2.8 Очікування завершення перехідного процесу

2.9 Подача східчастого впливу зі значенням  $120^{\circ}\text{C}$  або 80%

2.10 Очікування завершення перехідного процесу

2.11 Подача східчастого впливу зі значенням  $150^{\circ}\text{C}$  або 100%

2.12 Очікування завершення перехідного процесу

2.13 Вимкнення системи реєстрації даних

#### 3. П-подібна характеристика

- 3.1 Приведення системи до початкового стану (дійсне вхідне значення температури зерна складає  $15^{\circ}\text{C}$ )
  - 3.2 Запуск системи реєстрації даних
  - 3.3 Подача східчастого впливу зі значенням  $150^{\circ}\text{C}$  або 100%
  - 3.4 Очікування завершення перехідного процесу
  - 3.5 Подача східчастого впливу зі значенням  $0^{\circ}\text{C}$  або 0%
  - 3.6 Очікування завершення перехідного процесу
  - 3.7 Вимкнення системи реєстрації даних
4. Перевірочні дані
    - 4.1 Приведення системи до початкового стану (дійсне вхідне значення температури зерна складає  $15^{\circ}\text{C}$ )
    - 4.2 Запуск системи реєстрації даних
    - 4.3 Подача східчастих впливів тривалістю 6000 с з випадково обраними значенням від 0 до 100% протягом 150000 секунд
    - 4.4 Вимкнення системи реєстрації даних

### 3.3 Виконання експерименту

Для зняття динамічної характеристики, ми приводимо систему до початкового стану, після чого вмикаємо систему реєстрації керуючих та дійсних значень. Потім подаємо східчастий вплив зі значенням 100% та чекаємо на завершення перехідного процесу, після якого вимикаємо систему реєстрації даних та отримуємо динамічну характеристику (рис 3.4).

Для отримання статичної характеристики приводимо систему до усталеного стану, подавши східчастий вплив зі значенням 0 та очікуємо завершення перехідного процесу. По його завершенню вмикаємо систему реєстрації даних, та подаємо східчасті впливи зі значеннями 20%, 40%, 60%, 80% та 100%, очікуючи завершення перехідного процесу після кожного керуючого впливу. По закінченню вимикаємо систему реєстрації даних та отримуємо статичну характеристику (рис. 3.5).

Для отримання П-образної характеристики, приводимо систему до початкового стану, вмикаємо систему реєстрації даних та подаємо східчастий



вплив зі значенням 100%. Очікуємо завершення перехідного процесу, після чого подаємо східчастий вплив зі значенням 0 та по досягненню усталеного стану вимикаємо систему реєстрації даних та отримуємо П-образну характеристику (рис 3.6).

Для отримання перевірочних даних, приводимо систему до початкового стану та вмикаємо систему реєстрації даних. Потім, з інтервалом в 6000 секунд, подаємо східчасті впливи з випадковим значенням від 0 до 100%. Після 150 000 секунд (або 450 000) вимикаємо систему реєстрації даних та отримуємо перевірочні дані (рис. 3.2).

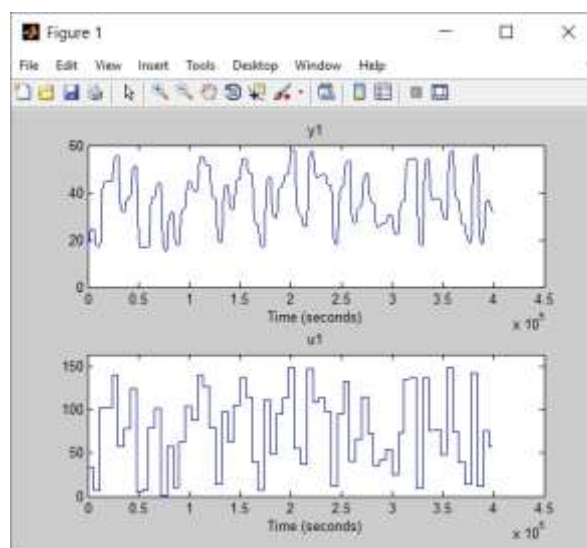


Рисунок 3.2 – Приклад перевірочних даних

## 3.4 Обробка результатів експерименту

### 3.4.1 Підготовка даних

Дані експерименту, які отримані в SCADA системі Zenon представлені у вигляді текстових файлів, до яких занесена послідовність штампів часу з відповідними значеннями параметрів. Ці дані імпортуються у вигляді змінних (рис. 3.3) до математичного пакету MATLAB за допомогою інтегрованих до нього функцій.

Name ▲	Value	Min	Max
Check_Input	40001x1 double	0.3849	49.5519
Check_Output	40001x1 double	15	27.3878
Check_Raw	40001x1x1 iddata		
Dynamic_Input	40001x1 double	0	150
Dynamic_Output	40001x1 double	15	58.5000
Dynamic_Raw	40001x1x1 iddata		
P_Input	40001x1 double	0	150
P_Output	40001x1 double	15	58.4494
P_Raw	40001x1x1 iddata		
Static_Input	40001x1 double	0	150
Static_Output	40001x1 double	15	58.4999
Static_Raw	40001x1x1 iddata		
ext	'.slx'		

Рисунок 3.3 – Таблиця змінних

Так як в дійсних значеннях отриманих даних присутня статична складова 15 °С (температура зерна на вході), то для проведення ідентифікації ми зменшуємо значення на цю величину:

```
>> Dynamic_Output = Dynamic_Output - 15;
>> Static_Output = Static _Output - 15;
>> P_Output = P_Output - 15;
>> Check_Output = Check _Output - 15;
```

Для виконання конвертування усіх даних необхідно у вікні команд виконати наступну послідовність:

```
>> Dynamic_Raw = iddata(Dynamic_Output, Dynamic_Input, 1.0);
>> Static_Raw = iddata(Static_Output, Static_Input, 1.0);
>> P_Raw = iddata(P_Output, P_Input, 1.0);
>> Check_Raw = iddata(Check_Output, Check_Input, 1.0);
```

Дані отримані в результаті дослідження П-образним впливом розбиваємо на два вектори. Перший вектор відображає реакцію об'єкта керування на зміну керуючого впливу від 0 до 150 °С або 100%, а другий на зміну керуючого впливу від 150 °С або 100% до 0.

### 3.4.2 Структурна ідентифікація

Проаналізувавши динамічну характеристику (рис. 3.4) встановлено, що існує час транспортного запізнення на з'явлення вихідного сигналу. Цей час транспортного запізнення складається з часу запізнення на переніс нагрітого повітря від пальника до шахти зерносушарки та проходження нагрітого повітря через шар зерна, та часу запізнення на нагрів зерна під час руху у шахті зерносушарки, та складає приблизно 230 секунд.

На динамічній характеристиці чітко виражено два перегону, що дозволяє зробити висновок, що об'єкт має два явно виражені корені. Отже, модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого або більш високого порядку.

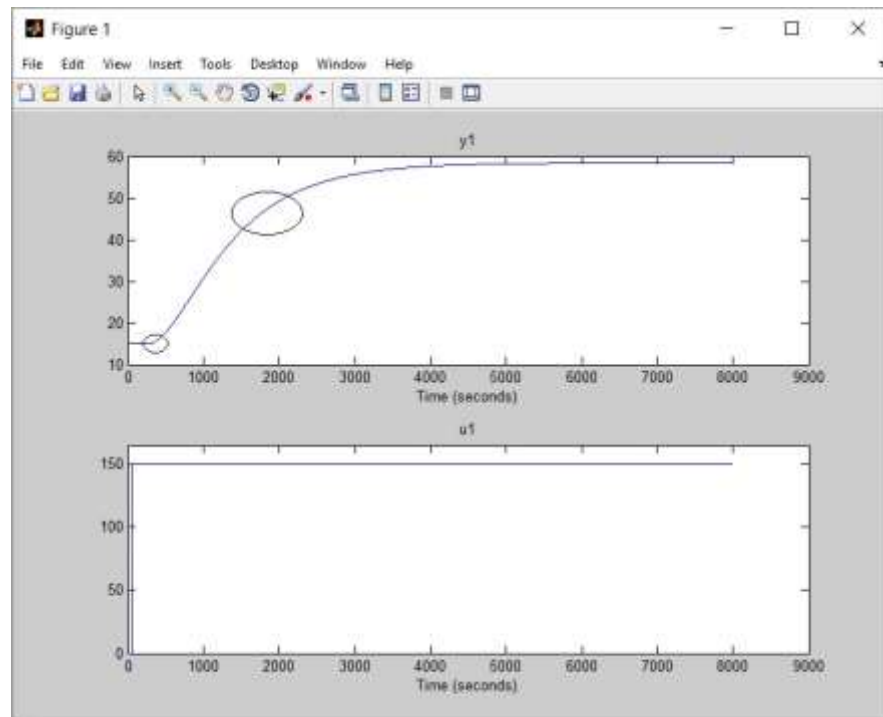


Рисунок 3.4 – Аналіз динамічної характеристики

Проаналізувавши характеристику (рис. 3.5), отриману за допомогою П-образного керуючого впливу, встановлено, що зміна керуючого впливу від 0 до 150 °С або 100% призводить до збільшення дійсного значення, а зміна керуючого впливу від 150 °С або 100% до 0 до його зменшення. На підставі цього можна зробити висновок, що об'єкт керування шар зерна у зерносушарці самовирівнюється і не володіє інтегруючими властивостями.

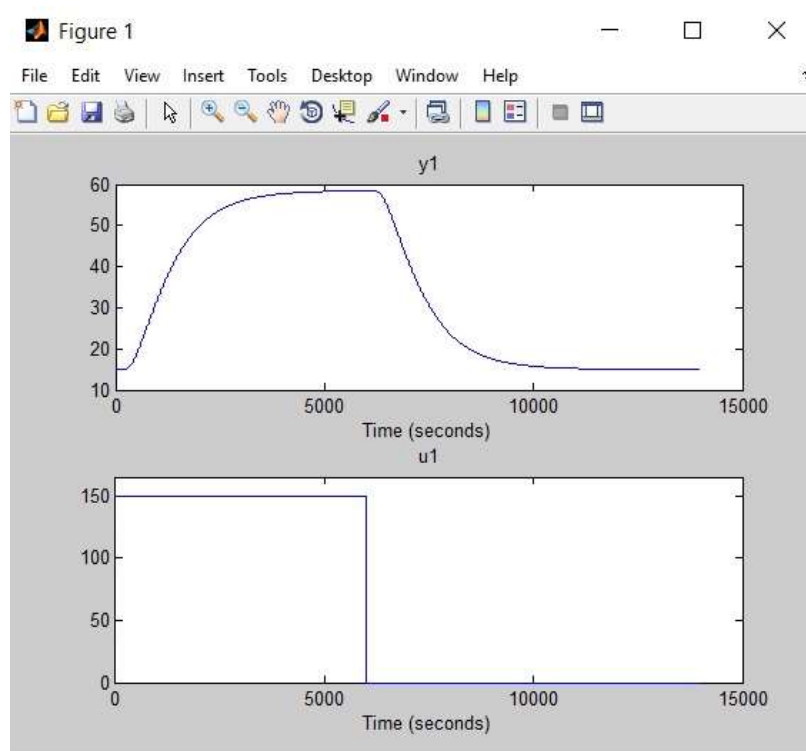


Рисунок 3.5 – Графічний аналіз під час П-подібного збурення

Виконаємо аналіз об'єкта керування на симетричність за допомогою П-подібного впливу збурення за допомогою функції стандартного відхилення

```
>> std(P_First) - std(P_Second)
```

```
ans =
```

```
0.0144
```

Діапазон зміни вихідного значення об'єкта керування дорівнює 45.5, отже, отримане значення різниці середньоквадратичних відхилень 0.0144 становить менше 1% від діапазону. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що об'єкт керування є симетричним, а його модель може використовуватися при моделюванні процесів пов'язаних зі збільшенням та зменшенням дійсного значення.

За допомогою засобів редагування графіків середовища MATLAB отримані значення для побудови статичної характеристики (рис. 3.6).

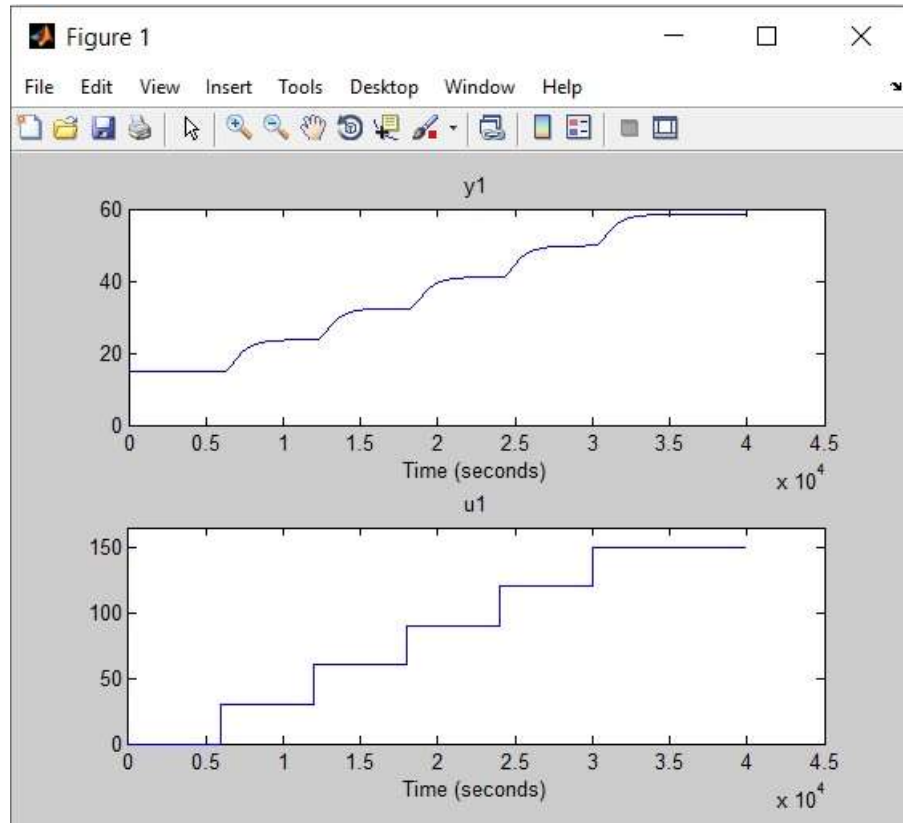


Рисунок 3.6 – Значення для побудови статичної характеристики

На основі отриманих даних виконано побудову статичної характеристики(рис. 3.7):

```
>> Static_Input_Vector = [ 0 30 60 90 120 150];
>>Static_Output_Vector = [ 15 23.7 32.4 41.1 49.8 58.5];
>>plot(Static_Input_Vector, Static_Output_Vector, '-ok', 'LineWidth', 3)
```

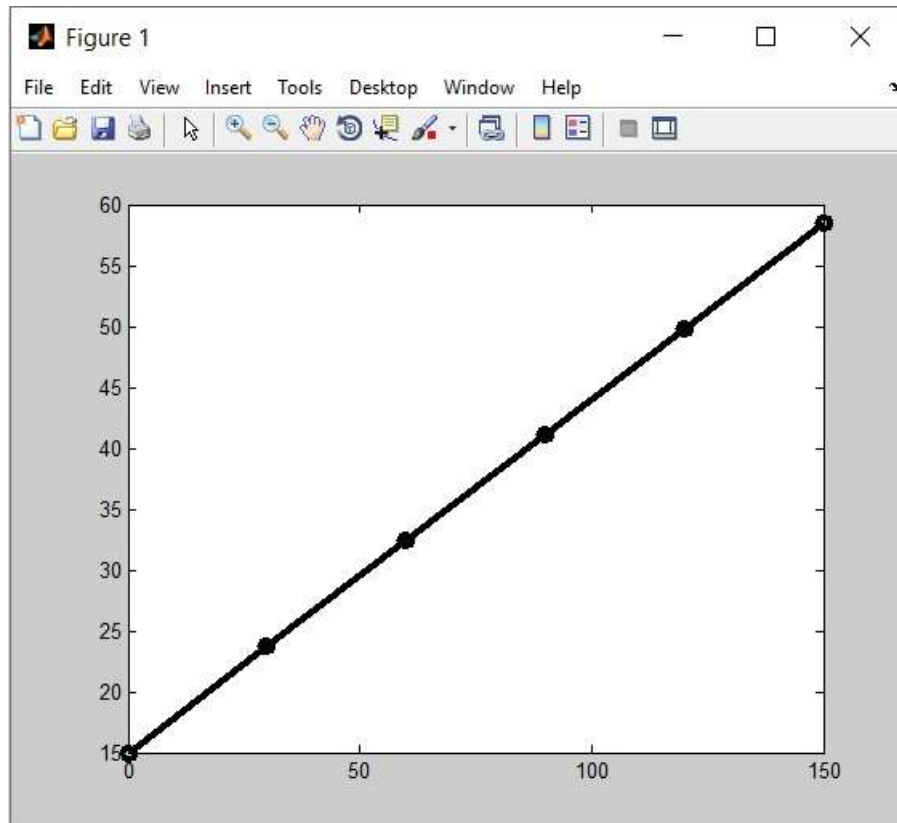


Рисунок 3.7 – Статична характеристика

Статична характеристика об'єкта керування є лінійною, тому можна зробити висновок, що об'єкт керування так само є лінійним у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 150 °С або 100%.

На підставі проведеного аналізу експериментальних даних можна зробити висновок, що об'єкт керування може бути представлений у вигляді аперіодичної ланки другого або більш високого порядку з запізненням:

### 3.4.3 Параметрична ідентифікація

Проведемо автоматичний розрахунок параметрів для аперіодичних ланок першого та другого порядку (рис. 3.8 – 3.10):

Process Models

Model Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$$

Poles: 2 All real

Zero  
 Delay  
 Integrator

Parameter	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.29	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	721.3076	Auto	[0 762011.1]
Tp2	<input type="checkbox"/>	514.4805	Auto	[0 458610.7]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	3.218	Auto	[0 300]

Initial Guess:  Auto-selected  
 From existing model:   
 User-defined: Value-->Initial Guess

Disturbance Model: None Initial condition: Auto Regularization...  
Focus: Simulation Covariance: Estimate Options...

Display progress Continue

Name: Obj2 Estimate Close Help

Рисунок 3.8 – Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки другого порядку з запізненням

Process Models

Model Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)(1 + T_{p3} s)}$$

Poles: 3 All real

Zero  
 Delay  
 Integrator

Parameter	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.29	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	833.3306	Auto	[0 762011.1]
Tp2	<input type="checkbox"/>	246.9135	Auto	[0 458610.7]
Tp3	<input type="checkbox"/>	255.1558	Auto	[0 10000]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	2.865	Auto	[0 300]

Initial Guess:  Auto-selected  
 From existing model:   
 User-defined: Value-->Initial Guess

Disturbance Model: None Initial condition: Auto Regularization...  
Focus: Simulation Covariance: Estimate Options...

Display progress Continue

Name: Obj3 Estimate Close Help

Рисунок 3.9 – Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки третього порядку з запізненням

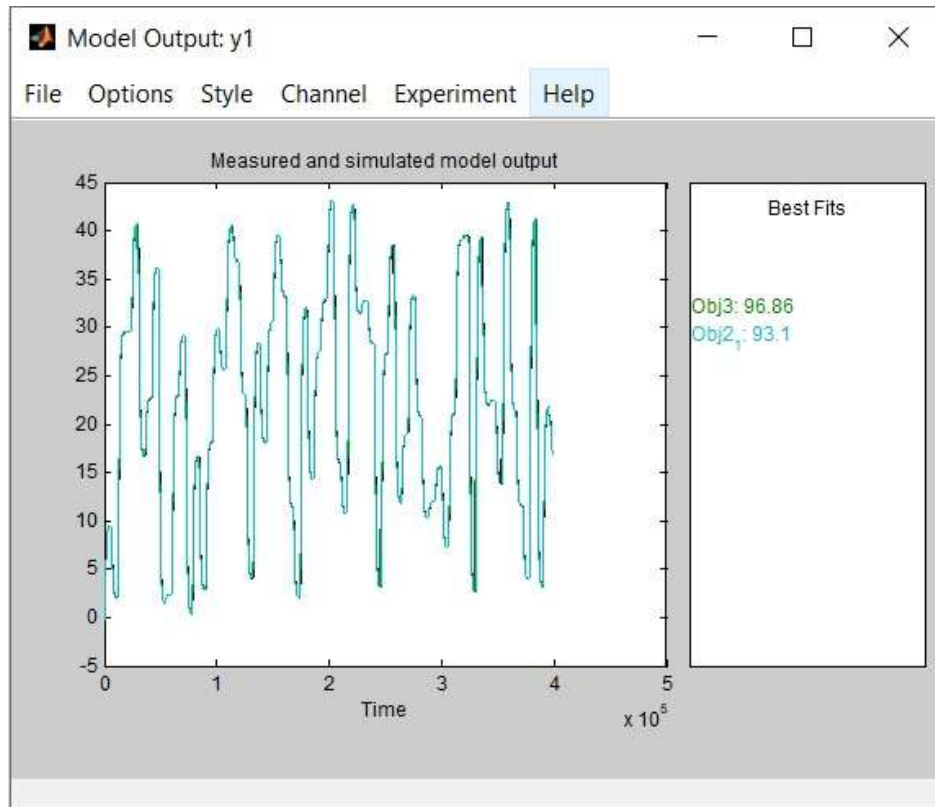


Рисунок 3.10 – Оцінка моделей по перевірочним даним

Як видно з отриманих оцінок модель третього порядку з більшим ступенем відповідає перевірочним даним.

Проаналізувавши значення коефіцієнтів посилення і часу запізнювання можна зробити висновок, що раніше отриманий час запізнювання є нижче. Виконавши корекцію часу запізнювання, були отримані параметри, що дають більш високу відповідність (рис. 3.11).



Process Models

Model Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_{p1} s)(1 + T_{p2} s)}$$

Poles

2 All real

Zero  
 Delay  
 Integrator

Parameter	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.29	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	815	Auto	[0 762011.14]
Tp2	<input type="checkbox"/>	370	Auto	[0 458610.71]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input checked="" type="checkbox"/>	230	230	[0 300]

Initial Guess

Auto-selected  
 From existing model:   
 User-defined

Disturbance Model: None Initial condition: Auto Regularization...  
Focus: Simulation Covariance: Estimate Options...

Display progress

Name: Obj22

Рисунок 3.11 – Параметри для аперіодичної ланки другого порядку з запізненням

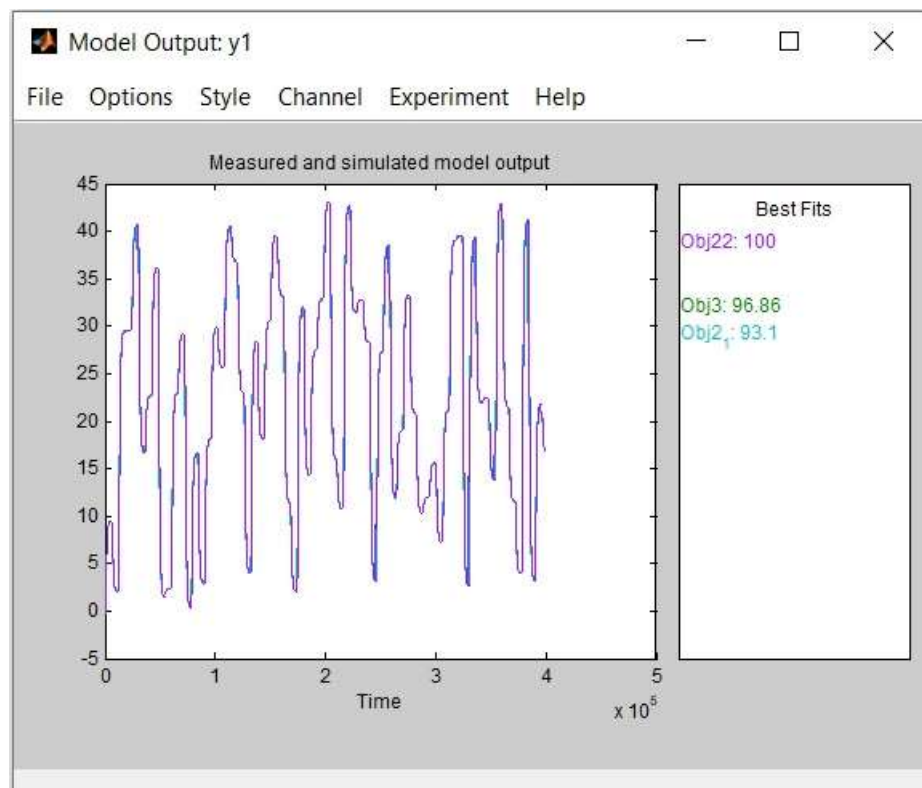


Рисунок 3.12 – Оцінка моделей по перевіроочним даним  
Параметри моделей, отримані в результаті параметричної ідентифікації в програмному забезпеченні "System Identification Toolbox".

Таблиця 3.1 – Параметри моделей

Найменування	Obj2	Obj22	Obj3
<b>k</b>	0.29	0.29	0.29
<b>T<sub>1</sub>, с</b>	721.31	815	833.33
<b>T<sub>2</sub>, с</b>	514.48	370	246.91
<b>T<sub>3</sub>, с</b>	–	–	255.16
<b>τ, с</b>	3.218	230	2.865
<b>Dynamic Динамічна характеристика</b>			
<b>NRMSE, %</b>	98.73	100	99.6
<b>FPE</b>	7.563e-4	4.022e-25	9.081e-5
<b>MSE</b>	7.563e-4	6.922e-20	7.518e-5
<b>Check Перевірочні дані</b>			
<b>NRMSE, %</b>	93.1	100	96.86

Як видно з отриманих оцінок нова модель другого порядку більше відповідає перевірочним даними, ніж інші (100.0% проти 93.1% або 96.86%). На підставі цього можна зробити остаточний висновок, що об'єкту керування найбільш відповідає аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

На підставі проведених досліджень отримана модель, відповідна об'єкту керування на 100.0%:

$$W(s) = \frac{0.29e^{(-230s)}}{(815s + 1)(370s + 1)}$$

#### 3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Графік дійсного значення об'єкта керування накладається на графік моделі об'єкта керування отриманої за допомогою програмного забезпечення System Identification Toolbox і на графік моделі об'єкта керування побудованої на базі передавальної функції. Таким чином, модель, отримана в середовищі імітаційного моделювання Simulink (рис. 3.13), не відрізняється від моделі, отриманої за допомогою програмного забезпечення "System Identification Toolbox".

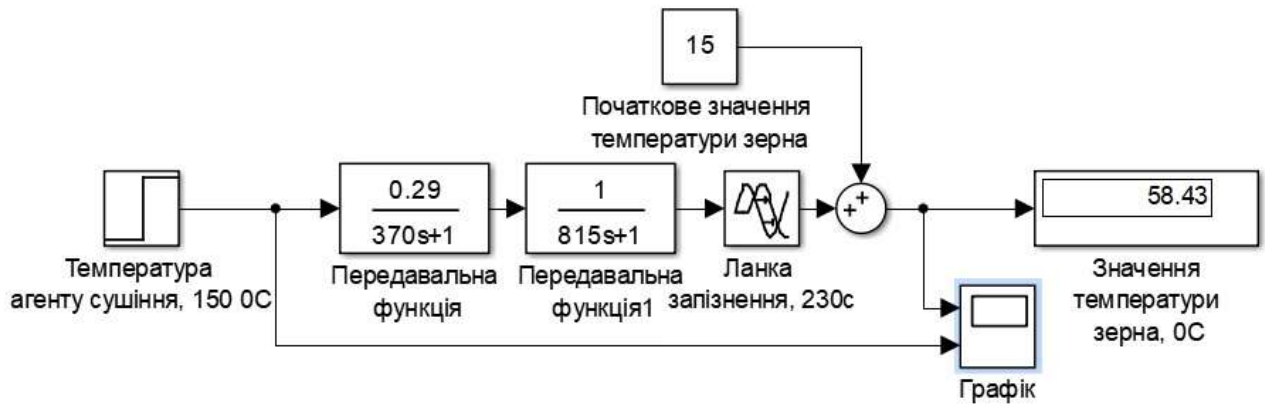


Рисунок 3.13 – Модель процесу нагріву зерна у шахтній зерносушарці

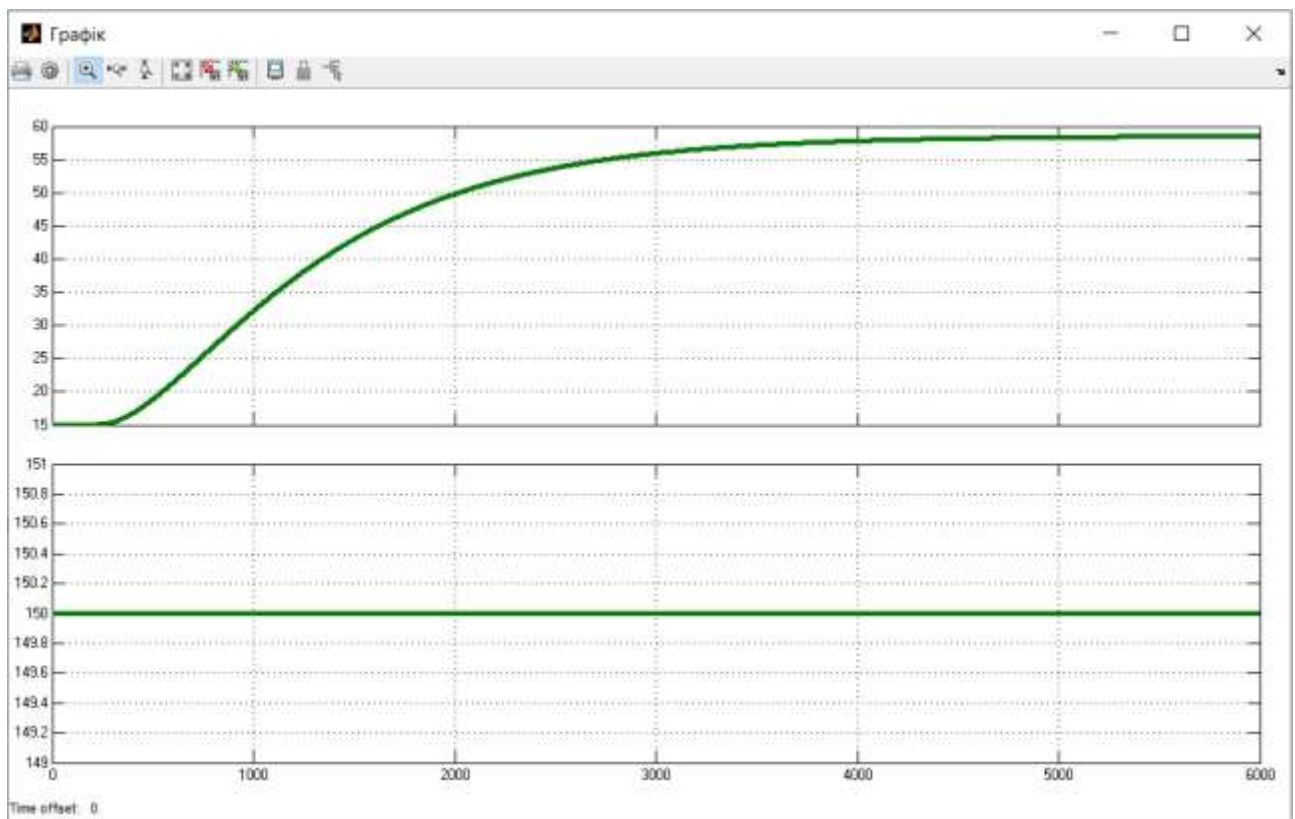


Рисунок 3.14 – Результат моделювання об'єкта керування

### 3.4.5 Перевірка моделі на адекватність

Модель Simulink, яка використовується для перевірки моделі об'єкта керування на адекватність(рис. 3.15):

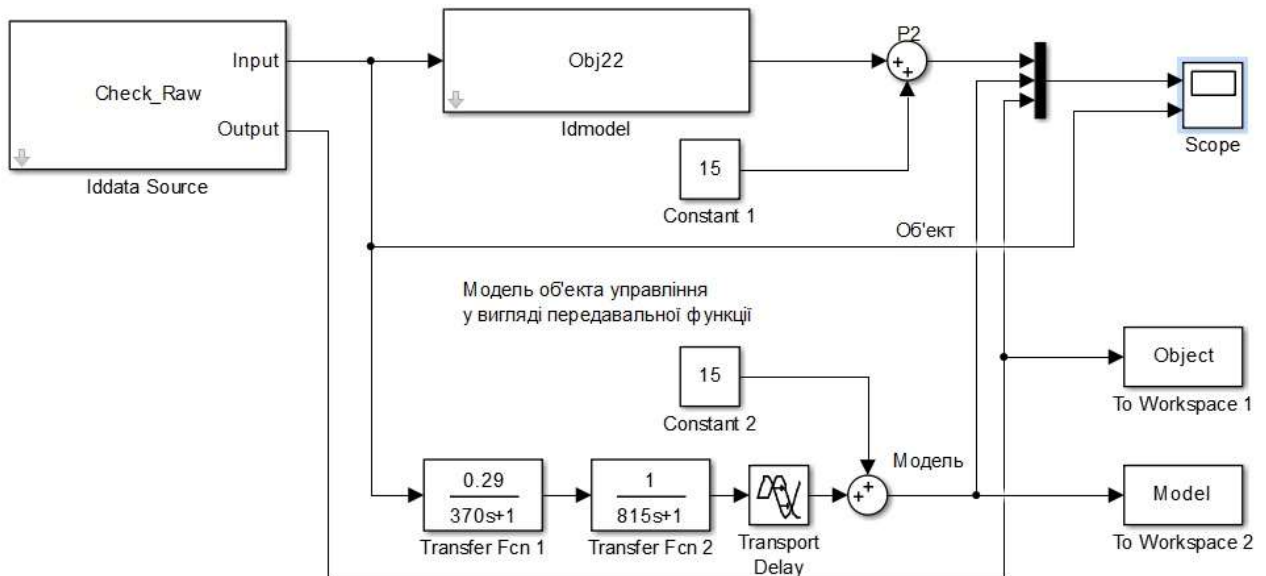


Рисунок 3.15 – Модель Simulink перевірки на адекватність

Характеристики моделі Simulink що використовуються при перевірці моделі об'єкта керування на адекватність (рис. 3.16):

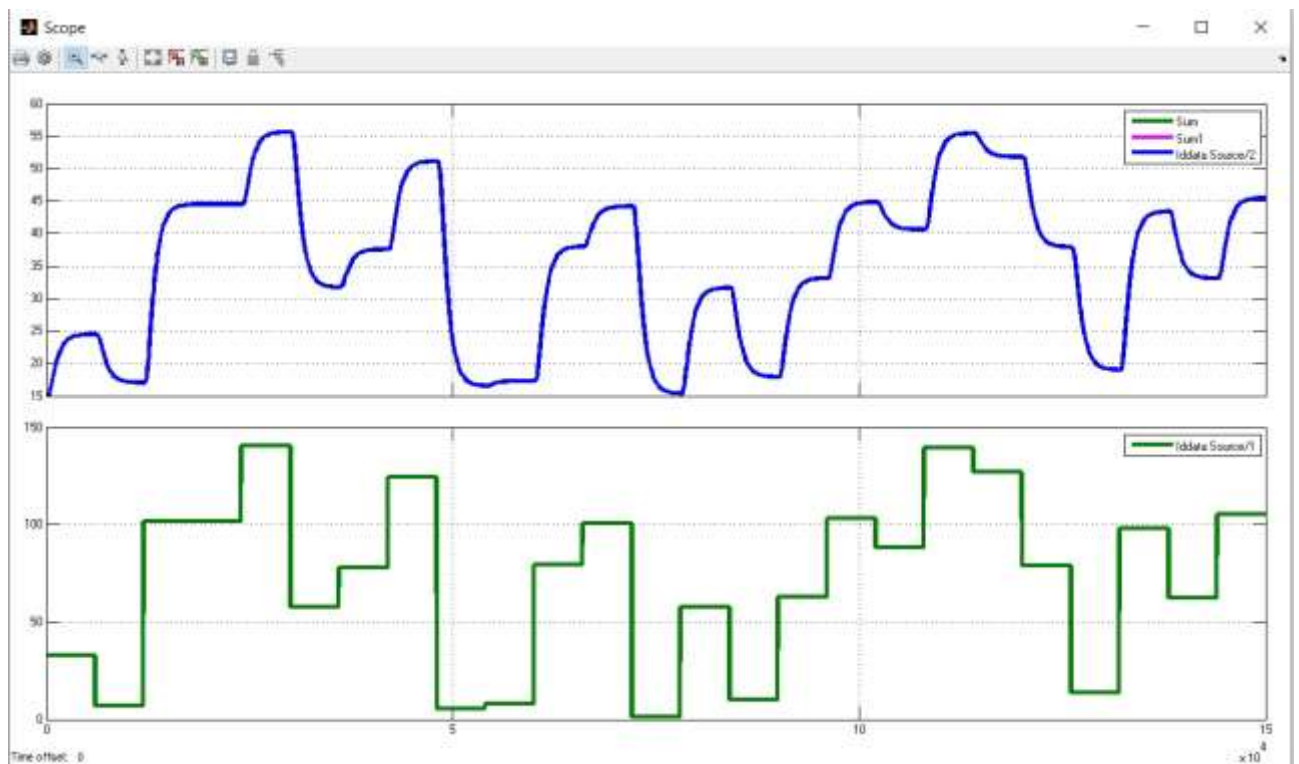


Рисунок 3.16 – Графік моделювання перевірки на адекватність

О

цінка відповідності моделі об'єкта до перевірючих даних за нормованим середньоквадратичним відхиленням "NRMSE"

```
>> nrmse = goodnessOfFit(Model, Object, 'NRMSE') * 100.0
```

nrmse =  
99.9958

Модель об'єкта керування відповідає перевірочним даним на 99.995%. Виходячи з цього, модель є адекватною і може бути використаною для моделювання об'єкта керування і системи керування в цілому.

### 3.5. Висновки по розділу

Розроблена методика дослідження зерносушарки по каналу температура агенту сушіння – температура нагріву зерна дозволила отримати модель об'єкту керування.

У результаті виконання експерименту, обробки результатів та структурної ідентифікації встановлено наступне: об'єкт керування має транспортне запізнення, динамічна характеристика має два перегону; об'єкт самовирівнюється і не володіє інтегруючими властивостями; об'єкт керування є симетричним; об'єкт керування є лінійним у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 150 °С;

У результаті параметричної ідентифікації об'єкту керування за допомогою програмного забезпечення "System Identification Toolbox" встановлено наступне: модель першого порядку з запізненням 230 секунд більше відповідає перевірочним даним експерименту ніж інші моделі.

За допомогою оцінки за нормованим середньоквадратичним відхиленням встановлено що отримана модель відповідає перевірочним даним на 99,995%.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

Розвиток технічних, апаратних і програмних засобів, дає можливість підприємствам зменшувати витрати, підвищувати якість продукції, збільшувати швидкість виробництва, автоматизувати процеси та приймати безліч інших рішень.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядається економічна доцільність розробки автоматизації технологічного процесу нагріву зерна у зерносушарці. Для ефективного ведення процесу сушіння із збереженням якості зерна необхідно, щоб температура зерна не перевищувала певних граничних значень. Відомо, що температурне поле в зерносушарках нерівномірне. Для правильного протікання процесу необхідна інформація про температуру зерна в точках максимального його нагрівання, оскільки тільки ці точки визначають місця теплового травмування зерна.

Вологість зерна на виході з сушарки - найважливіший параметр, що характеризує якість процесу сушіння. Інформація про початкову та проміжну вологість зерна дозволяє правильно організувати процес сушіння.

Ця інформація дозволяє операторам сушарок керувати процесом сушіння, без запізнення, що призводить до якісного сушіння і значного підвищення продуктивності сушарки. При використанні автоматичних пристроїв контролю вологості, період вимірювання вологості значно скорочується у порівнянні з існуючим зараз.

Автоматизована система нагріву зерна у зерносушарці, що розроблена в кваліфікаційній роботі бакалавра, має такі переваги:

- висока точність підтримки заданих технологічних параметрів;
- висока інформативність, яка дає гарні передумови для створення повністю автоматизованої системи керування підприємством;

- висока надійність обладнання сучасної технічної бази системи керування.

#### 4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Розрахуємо капітальні витрати, що пов'язані з виготовленням та впровадженням автоматизованої системи керування. Визначення проектних капітальних витрат виконується відповідно до:

$$K_{ПКВ} = C_{ОБ} + D_{ТР} + M_{МН} + K_{ПЗ}, \quad (4.1)$$

де  $K_{ПКВ}$  – проектні капітальні витрати (грн.);

$C_{ОБ}$  – вартість основного та допоміжного обладнання (грн.);

$D_{ТР}$  – транспортно-заготівельні витрати (грн.);

$M_{МН}$  – витрати на монтаж і налагодження системи (грн.);

$K_{ПЗ}$  – витрати на розробку програмного забезпечення (грн.).

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат  $C_{ОБ}$

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Контролер CPU VIPA 200V	од.	1	15 800,00	15 800,00
2	Модуль вводу/виводу	од.	1	8 280,00	8 280,00
3	Блок живлення 24В	од.	2	1 700,00	3 400,00
4	Термоперетворювач	од.	1	1 160,00	1 160,00
5	Кабель КВВГ 4х1	м.	20	19,00	380,00
6	Мережевий кабель	м.	30	28,00	840,00
	Разом				29 860,00

Вартість основного та допоміжного обладнання  $C_{ОБ} = 29\,860,00$  грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{ТР} = C_{ОБ} \cdot 0,08. \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{ТР} = 29\,860,00 \cdot 0,08 = 2\,388,80 \text{ (грн.)}.$$

Вартість монтажних-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{\text{МН}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{\text{МН}} = 29\,860,00 \cdot 0,07 = 2\,090,20 \text{ (грн.)}.$$

### 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

#### 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{\text{н}} + t_g. \quad (4.4)$$

де  $t$  – трудомісткість розробки програмного забезпечення (люд.-год.);

$t_o$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (люд.-год.);

$t_u$  – витрати праці на дослідження алгоритму керування (люд.-год.);

$t_a$  – витрати праці на розробку схеми алгоритму (люд.-год.);

$t_n$  – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму (люд.-год.);

$t_{\text{от}}$  – витрати праці на налаштування програмного забезпечення (люд.-год.);

$t_g$  – витрати праці на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де  $Q$  – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;

$q$  – кількість операторів у програмному забезпеченні;

$c$  – коефіцієнт складності програми (приймаємо  $c = 1,35$ );

$p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо  $p = 0,1$ ).

Виходячи з програмного забезпечення, як правило розробленого на мові Structured Text типове значення для подібних систем керування має діапазон 100... 200, приймаємо  $q = 160$ );

Таким чином для програмного забезпечення, що розробляється, кількість операторів складає:

$$Q = 160 \cdot 1,35 \cdot (1 + 0,1) \approx 238$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 40$  (люд.-год.).



Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k} \quad (4.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо  $B = 1,5$ );

$k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо  $k = 1,2$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 238 * 1,5 / (80 * 1,2) \approx 4 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \quad (4.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 238 / (20 * 1,2) \approx 10 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 238 / (20 * 1,2) \approx 10 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_H = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k} \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_H = 238 / (4 * 1,2) \approx 50 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{ДР} + t_{ДО}, \quad (4.10)$$

де  $t_{ДР}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{ДО}$  – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{ДР} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k} \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{ДР} = 238 / (15 * 1,2) \approx 14 \text{ (люд. – год.)}.$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 \cdot t_{\text{ДР}}. \quad (5.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 * 14 = 11 \text{ (люд. – год.)}.$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 14 + 11 = 25 \text{ (люд. – год.)}.$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 40 + 4 + 10 + 10 + 50 + 25 = 139 \text{ (люд. – год.)}$$

#### 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку програмного забезпечення визначається як:

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МІ}}, \quad (4.13)$$

де  $Z_{\text{ЗП}}$  – витрати на заробітну плату розробника програмного забезпечення;

$Z_{\text{МІ}}$  – вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми (грв.).

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{\text{ЗП}} = t \cdot C_{\text{ПР}}, \quad (4.14)$$

$C_{\text{ПР}}$  – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо  $C_{\text{ПР}} = 111,50$  (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 139 * 111,50 = 15\,498,50 \text{ (грн.)}.$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$Z_{\text{МІ}} = t_n \cdot C_{\text{МЧ}}, \quad (4.15)$$

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;

$C_{\text{МЧ}}$  – вартість машинного часу (приймаємо  $C_{\text{МЧ}} = 11,75$  (грн./год.)).

Приймаємо  $C_{\text{МЧ}} = 13,20$  (грн./год.), тоді вартість витрат на програмне забезпечення, що розробляється становить:

$$Z_{\text{МІ}} = 10 * 13,20 = 132,00 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{ПЗ} = 15\,498,50 + 132,00 = 15\,630,50 \text{ (грн.)}.$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де  $T$  – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.);

$B_k$  – кількість розробників (приймаємо  $B_k = 1$ );

$F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176$  (год./міс.)).

$$T = 139 / (1 \cdot 176) \approx 1,0 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = 29\,860,00 + 2\,388,80 + 2\,090,20 + 15\,630,50 \approx \\ \approx 49\,969,50 \text{ (грн.)}.$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_з + C_c + C_{р0} + C_{ee} + C_{інш}, \quad (4.17)$$

де  $C_e$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування (грн.);

$C_a$  – амортизація основних фондів (грн.);

$C_з$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.);

$C_c$  – відрахування на соціальні заходи (грн.);

$C_{р0}$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання (грн.);

$C_{ee}$  – вартість електроенергії (грн.);

$C_{інш}$  – інші витрати (грн.).

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.

##### 4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де  $H_a$  – норма амортизації (%);

$T$  – термін корисного використання об'єкта (років).

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{\text{ПВ} \cdot H_a}{100 \%, \quad (4.19)$$

де  $C_a$  – річна амортизація основних фондів (грн.);

ПВ – первинна вартість (ПВ =  $K_{\text{ПКВ}}$ ) (грн).

Отже, норма амортизації для проекрованої системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%.$$

Сума амортизації для проекрованої системи становить:

$$C_a = 49\,969,50 \cdot 40/100 = 19\,987,80 \text{ (грн.)},$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{К}} - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_{\text{З}}, \quad (4.20)$$

де  $T_{\text{НР}}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника (год.);

$T_{\text{К}}$  – календарний фонд робочого часу ( $T_{\text{К}} = 365$  (днів));

$T_{\text{ВС}}$  – вихідні дні та свята ( $T_{\text{ВС}} = 114$  (днів));

$T_{\text{В}}$  – відпустка ( $T_{\text{В}} = 21$  (день));

$T_{\text{З}}$  – тривалість зміни ( $T_{\text{З}} = 8$  (год.)).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{НР}} = (365 - 114 - 21) \cdot 8 = 1\,840 \text{ (год.)}.$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу та - кожна зміну та 1 інженер-технолог і 1 наладчик електроустаткування - одна зміна на добу. Графік роботи у три зміни, так як процес безперервний.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ П/П	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор	3	90,00	1 840	496 800,00	39 744,00	34 776,00	571 320,00
2	Технолог	1	125,00		230 000,00	18 400,00	16 100,00	264 500,00
3	Наладчик	1	110,00		202 400,00	16 192,00	14 168,00	232 760,00
Разом								1 068 580,00

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 1\,068\,580,00 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3. \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 1\,068\,580,00 = 235\,087,60 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB}. \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 49\,969,50 = 2\,498,48 \text{ (грн.)}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування, розробленої у проекті:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{рд} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4.23)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите проектною системою керування (приймаємо  $K_e = 0,6$  (кВт · год.));

$T_3$  – кількість часу роботи за сутки ( $T_3 = 24$  (год.));

$K_{рд}$  – кількість робочих днів у році ( $K_{рд} = 365$  (день));

$T_e$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 2,26 грн.·кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф  $T_e = 2,712$  (грн.)).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,6 * 365 * 24 * 2,712 = 14\,254,28 \text{ (грн.)},$$

#### 4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot C_3. \quad (4.24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 * 1\,068\,580,00 = 42\,743,20 \text{ (грн.)}.$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (4.17), (табл. 4.3):

$$C = 19\,987,80 + 1\,068\,580,00 + 235\,087,60 + 2\,498,48 + 14\,254,28 + 42\,743,20 = 1\,383\,151,36 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.3 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показчика	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	19 987,80
2	Фонд заробітної плати	1 068 580,00
3	Відрахування на соціальні виплати	235 087,60
4	Ремонт та технічне обслуговування	2 498,48
5	Електроенергія	14 254,28
6	Інше	42 743,20
7	Загалом	1 383 151,36

#### **4.5 Висновки по розділу**

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають 50 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть приблизно 1,4 млн. грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Кваліфікаційна робота бакалавра передбачає розробку системи автоматизації процесу нагріву зерна у зерносушарці, що є складовою частиною технологічного процесу сушіння зерна. В даному розділі розглянуті основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори робочого місця оператора системи керування, розроблені заходи щодо їх зниження та забезпечення сприятливих умов праці. Узагальнені питання пожежної профілактики робочого місця оператора системи керування, проаналізовано вплив прийнятих у роботі рішень на навколишнє середовище.

Для роботи на ділянці допускаються чоловіки і жінки у віці не молодше 18 років, що пройшли попередній медичний огляд і визнані годними до виконання робіт по даній спеціальності, пройшли навчання і перевірку знань за правилами експлуатації обладнання, веденню технологічного процесу і охорони праці, інструктаж і допущені до самостійної роботи.

Роботодавець зобов'язаний організувати проведення попереднього та періодичного медичних оглядів працівників, які зайняті на важких роботах, роботах зі шкідливими або небезпечними умовами праці, а також щорічного огляду осіб віком до 21 року.

Допуск до самостійної роботи здійснюється керівником виробничої ділянки після стажування працівника під керівництвом досвідченого наставника на протязі не менше п'яти змін [13, 14].

### 5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Основними шкідливими факторами при сушінні зерна є:

- пил;
- шум і вібрація.

В основному пил речовин, вживаних у виробництві, надає дратівливу дію на слизисті оболонки верхніх дихальних шляхів людини і по мірі дії на організм людини відноситься до IV класу (мало небезпечні речовини). ГДК



нетоксичного пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати  $10 \text{ мг/м}^3$ .

Потенційними джерелами шуму і вібрації служить наступне устаткування:

- вентилятори повітря, вентилятори аспірації;
- норії, транспортери.

## **5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

Розміри частинок зернового пилу у приміщеннях елеваторів можуть перебувати у широких межах – від часток мікрметра до 250 мкм. Залежно від розмірів частинок пил умовно поділяють на великий (50...250 мкм), середній (1 050 мкм) і дрібний (менше 10 мкм). На елеваторах і складах для зерна переважає великий пил. Шкідливість пилу залежить від його розмірів і хімічного складу. Великий пил менш небезпечний, ніж дрібний, оскільки він затримується під час дихання на слизових оболонках носа. Дрібний пил з розміром частинок 5...10 мкм – найбільш небезпечний для здоров'я людини [15, 16].

Допустиму концентрацію пилу під час викидання повітря в атмосферу після очищення в аспіраційних та пневмо-транспортних установках визначають розрахунком розсіювання повітря. Одне з основних завдань використання вентиляційних і аспіраційних установок – забезпечення чистоти повітря, запиленості, що не перевищує допустимі межі. Чистоту повітря у робочих приміщеннях (за запиленості) можна забезпечити аспіраційними установками допомогою ефективною аспірації всього обладнання, в якому утворюється пил. Чистоту повітря, яке надходить до атмосфери, можна забезпечити застосуванням високоефективних пиловловлювачів (фільтрів) [17].

Допустимі рівні шуму становлять, дБА:

- при виконанні роботи з підвищеними вимогами до процесів спостереження та дистанційного керування виробничими циклами (за

пультами у кабінах нагляду та дистанційного керування без мовного зв'язку по телефону) – 75;

- на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємств – 80.

Допустимі рівні ультразвукового тиску в октавних смугах з середньо-геометричними частотами 16; 31,5; 63 та вище (кГц) становлять відповідно 88, 106 і 110 дБ. Допустимий загальний рівень звукового тиску інфразвуку становить 110 дБл.

Рівень шуму при роботі на ділянці може досягати 100 дБ при допустимому рівні за ДСНЗ.3.037 80 дБ, тому необхідно користуватися поглинаючими шум навушниками.

### **5.3 Вибухонебезпека у приміщеннях зернових елеваторів**

Елеватори належать до підприємств з високим ступенем вибухо- і пожежонебезпеки [18]. Недотримання і порушення нормативів безпеки праці призводить до серйозних наслідків: від зруйнування силосів та елеваторного обладнання до загибелі працівників. Основною причиною таких наслідків є зерновий пил, який накопичується у приміщеннях елеватора. Зерновий пил є легкозаймистою речовиною [19, 20], температура займання якої менше 250 °С, а нижня концентраційна межа займання (НКМЗ) становить 20...63 г/м<sup>3</sup>.

Самозаймання дрібних частинок пилу, спричинене статичною електрикою або перегріванням підшипника двигуна, миттєво створює тиск до 10 кг/см<sup>2</sup>, що супроводжується раптовим зростанням температури до 3 000 °С. Такий вибух називають «первинним пиловим вибухом» і часто він є причиною «вторинного пилового вибуху», коли руйнуються будівлі елеватора, силосів і настають катастрофічні наслідки [21]. Вторинний вибух призводить до набагато більш тяжких наслідків, ніж початковий. Нерухомий пил на поверхах або в кутках становить додаткову небезпеку, оскільки ударна хвиля первинного вибуху переміщує його вгору, забезпечуючи спалимий матеріал для вторинного вибуху, який за силою може значно перевершувати первинний вибух і, у свою чергу, створювати сприятливу для третього вибуху ситуацію. Так утворюється

ланцюгова реакція з дедалі більшою інтенсивністю, кульмінаційним моментом якої є повне зруйнування конструкцій і пожежа [22]. Наприклад, однією з причин спалаху є засипання зерна у норії. Пробуксовування стрічки на приводній станції призводить до задимлення і загоряння, що у свою чергу зумовлює спалах зернового пилу. Потік полум'я з температурою близько 2 000 °С миттєво поширюється вниз до низу норії. Хвиля величезного надлишкового тиску руйнує металевий корпус норії, спричинюючи вібрацію і піднімаючи у повітря пил, що осів у сусідніх робочих зонах. Далі відбувається вторинний пиловий вибух – спалахи полум'я у робочій вежі, галереях, самопливах, зруйнування елеватора станеться протягом 1...2 хв.

Отже, для того, щоб стався вибух, необхідна наявність чотирьох чинників: кисню, зернового пилу в завислому в повітрі стані, джерело займання (іскра або температура близько 200 °С), замкнутий простір. Як основну технологію боротьби з пилом на елеваторах застосовують аспіраційне обладнання [23]. Проектування ефективної системи аспірації на елеваторі передбачає комплексний підхід, а саме: розрахунки обсягів очищення повітря, аналіз усіх параметрів роботи пило-вловлюваних систем, вибирання необхідного аспіраційного обладнання і вентиляторів та ряд інших важливих факторів. Найбільш ефективним рішенням є застосування кілька-стадійних систем аспірації, що дозволяє збільшити відсоток вловлюваного зернового пилу. Конструкційна такі системи передбачають наявність пило-вловлюваного обладнання різних типів, які разом забезпечують якомога більш ефективне очищення. Це одинарні циклони, їх батареїне устанавлення, рукавні фільтри очищають повітря в приміщеннях елеваторів від великих, середніх і дрібних пилових фракцій.

Принцип роботи циклонів [24] передбачає, що пилоповітряна маса зі зваженими в ній твердими зерновими частинками через вхідний патрубок надходить у камеру циклону, де набуває обертального руху. Під дією відцентрової сили фракції зернового пилу відокремлюються і стінками циклону переміщуються вниз у збірний конус. Зібраний пил надходить до пиле-проводів, а чисте повітря виводиться у повітропровід зверху або збоку циклону. Аналіз

аварій, пов'язаних з пило-повітряними вибухами, показує, що в більшості випадків місцем виникнення первинного вибуху або спалаху, було технологічне, транспортне або аспіраційне устаткування, а також силоси і оперативні бункери.

У кількох випадках первинний спалах стався безпосередньо в частині об'єму виробничого приміщення елеватора. Найбільш характерний початок розвитку вибуху, коли пилоповітряна суміш спалахує в замкнутому об'ємі. Цей процес супроводжувався підвищенням тиску, температури і подальшим займанням пилоподібних продуктів зерна. Якщо устаткування забезпечене ефективними вибухо-розрядними пристроями, герметичне і має досить міцний корпус, що витримує тиск вибуху, то у разі спрацьовування вибухо-розрядних мембран високотемпературні продукти горіння викидаються в атмосферу і локальний вибух, як правило, подальшого розвитку не має [25]. Але й у разі спрацьовування вибухо-розряджувачів можливий подальший розвиток вибуху, якщо під час горіння пило-повітряної суміші займеться зерно, а устаткування не буде зупинена. Іскрові частки, переміщаючись вздовж технологічних комунікацій, можуть запалити пило-повітряну суміш в устаткуванні, силосі або в бункері. Наприклад, після загоряння пило-повітряної суміші в голівці норії і спрацьовування мембрани вибухо-розряджувача може загорітися зернова маса і осередок горіння переміститься у завантажуваний силос, в якому концентрація пилу у вільному об'ємі практично завжди вище за нижню концентраційну межу займання. У результаті відбувається вибух в силосі.

#### **5.4 Пожежна профілактика**

Головною та необхідною умовою для забезпечення пожежної безпеки є безумовне і точне виконання персоналом вимог по експлуатації обладнання, інструкції по технології, дотримання трудової дисципліни.

Потенційними джерелами виникнення пожежі може бути електроустаткування, паливо – мастильні матеріали.

Пожежа може виникнути при несправності і аварії в електроустановках, удару блискавки.

Приміщення сушильно - пічного відділення відноситься до категорії „Г”, оскільки в ньому знаходяться речовини в розжареному стані і вугілля, що спалюється для одержання сушильного агента.

Контроль за дотриманням протипожежного режиму покладений на керівників служби підприємств.

В приміщенні необхідно мати такі засоби гасіння пожежі:

- пожежний щит з протипожежним інвентарем (відра, багри, лопати тощо);
- вогнегасники типу ВП -10 та ВВ-5.

Евакуаційних виходів з приміщень повинно бути не менше двох.

Захист від прямих ударів блискавки будівлі здійснюватиметься стрижневими блискавковідводами, встановленими на даху виробництва.

Технологічне обладнання при нормальних режимах роботи повинно бути пожежобезпечним, а на випадок виникнення несправностей і аварій необхідно передбачати заходи, що обмежують масштаби і наслідки пожежі:

- загальна компоновка обладнання повинна забезпечувати необхідні проходи і вільні підходи до нього;
- робота обладнання та його навантаження повинно відповідати вимогам паспортних даних та технологічного режиму;
- обладнання повинно бути максимально герметичним з тим, щоб не було виділення пилу до виробничого приміщення.

Виключення аспіраційних установок при роботі технологічного і транспортуючого обладнання забороняється.

Вміст пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинен перевищувати допустимих концентрацій.

Всі аспіраційні сітки повинні бути паспортизовані, паспорт повинен відповідати спеціальній інструкції по наладці аспіраційних систем.

Аспіраційні машини і автомати повинні бути постійно у справному стані.

Усі кришки лючків та вікон в аспіраційних машинах повинні бути щільно підігнані до своїх гнізд і туго притягнутими барашками. По периметру кришки ущільнюються прокладками.

Усі стики та з'єднання машин повинні ретельно ущільнювати, а випускні клапани осадних камер сепараторів та інших машин повинні щільно прилягати до своїх гнізд.

У сепараторах та аналогічних машинах необхідно не менш 3-х разів за чергування перевіряти вихід відходів з машин (щоб був без перешкод).

Обладнання, підлога, стеля, стіни і конструкції повинні систематично прибиратися. Періодичність прибирання встановлюється у інструкціях, що затверджені адміністрацією підприємства.

Норії, потужністю 50 т/год і більше обладнуються автоматичними гальмівними пристроями, що не допускають смузі робити зворотній хід під час зупинки норії.

Не допускається експлуатація фільтрів з колектором рукавів і з відкритими люками.

Вивід з корпусів циклонів і фільтрів пилу повинен бути без перешкод і автоматичним.

На виробництвах, що відносяться до категорії "Б" (розмельні цехи, корпуси, відділення мельзаводів, вибойні цехи і відділення збереження борошна і вибою відходів, пилу, безтарні приймальні та відпускні пристрої (відділення) для борошна), очистка повітря у пилезбірниках повинна проводитися до подання його до вентиляторів (на всмоктуючій частині аспіраційної мережі).

На виробництвах, що відносяться до категорії "В" (робочі будівлі та силосні корпуси елеваторів; приймально-відпускні пристрої для зерна; зерноочисні відділення борошномельних заводів; склади тарного збереження борошна; механізовані і не механізовані) допускається установка пилезбірників (циклонів) після вентилятору на нагнітаючій стороні аспіраційної мережі.

В приміщення, де можливе виділення пилу із обладнання, не повинно бути виступаючих будівельних конструкцій, що не виявлені технологічним вимогам, на яких можливий осад пилу.

Кут нахилу виступів (балок, ригелів і т.д.) до горизонтальної площини повинен бути не менш 60°.

Внутрішня поверхня стін приміщень підприємств, силосів і бункерів, балки, колони повинні бути гладкими, легко очищуватися від пилу, а внутрішня поверхня приміщень повинна бути пофарбована у тони, що відрізняються від кольору пилу.

Масильні масла дозволяється зберігати у спеціально обладнаних коморах або шафах у спеціальній тарі, що не б'ється, у кількості не більше добової необхідності [14].

#### **5.4.1 Протипожежні заходи, що спрямовані на виключення виникнення джерел запалювання**

Конструкції, вид виконання, ступінь захисту оболонки, спосіб устаткування і клас ізоляції машин, що застосовуються, і апаратів, приладів, кабелів, проводів та інших елементів електроустаткування повинні відповідати номінальній напрузі мережі, класу вибухо-пожежонебезпеки зон приміщень і зовнішніх установок, характеристиці оточуючого середовища, а також вимогам ПУЕ.

Електродвигуни, світильники, проводки, розподільчі пристрої повинні очищуватися від горючого пилу не менш 1 раз у тиждень в приміщеннях зі значним виділенням пилу.

Пристрої для вводу кабелів або приводів до електричних машин, апарати і прилади повинні відповідати виконанням машин, приладів, що потрібні для даного класу зони приміщення і установки.

Щитки і вимикачі світлових ланок встановлювати у вибухонебезпечних приміщеннях не дозволяється, а у пожежонебезпечних- не рекомендується.

Запобіжники, а також вимикачі освітлювальних ланок у загальнопромисловому виконанні слід встановлювати за межами вибухонебезпечних приміщень.

У вибухонебезпечних приміщеннях розігрівання зовнішньої поверхні оболонок при роботі електрообладнання, на які має можливість осідати горючий пил, не повинні перевищувати температуру оточуючого повітря більш чим на 40 °С.

Забороняється користуватися кабелями і проводами з ушкодженою ізоляцією, що втратила у процесі експлуатації захисні електроізоляційні якості, а також користуватися ушкодженими розетками та з'єднувальними коробками.

Належать до підключення до контуру заземлення за допомогою окремого розділення, незалежно від заземлення з'єднаних з ними комунікацій та конструкцій: апарати, ємності, агрегати, у яких проходить подрібнення, розпилення продуктів, окремих машин, агрегатів, апаратів, що не з'єднані трубо-проводами із загальною системою.

Технологічне обладнання і трубопроводи, продуктопроводи і т.д., що розміщені у вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях, що відносяться до категорій А,Б,В і маємо зони (22 і П-П), належать до обов'язкового заземлення не менш як у 2-х місцях з вирівнюванням потенціалів до безпечних величин.

Проведення тимчасових вогневих робіт можливо бути дозволено лише в тих випадках і тільки по тому обладнанню і устаткуванню, які із-за своїх габаритів не може бути винесеним із промислового або складового приміщення.

Деталі та вузли машин, що мають поступально-зворотній рух або обертаються навколо своєї вісі, повинні бути перевірені на урівноваженість їх мас і відбалансовані.

Машини повинні знаходитися у справному стані, відрегульовані, працювати плавно, без незвичайного для них шуму, ривків, зростаючої вібрації або зростанню рівня тертя частин механізму, що рухається.

Температура підшипників машин і механізмів під час роботи не повинна перевищувати температуру оточуючого повітря більш чим на 45 °С і повинна бути у всіх випадках не більшою за 60 °С.



Підшипники повинні забезпечуватися регулярною змазкою. Привідні ремні і смуги конвеєрів, норій та інших транспортних машин, а також трансмісій повинні мати нормальний натяг, що виключає їх буксування і провисання, а також удари і тертя об кожухи огорожі.

Перед пропуском хлібопродуктів через вальцьові станки, дробарки та інші машини ударного принципу роботи повинні бути встановлені магнітні сепаратори. Згідно норм технологічного проектування та правил ведення технологічних процесів.

Обладнання підлягає поточному і капітальному ремонту згідно з ТСХ умовами, інструкцією по організації ремонту і в строки, що встановлені графіком, що затверджені головним інспектором.

Електромагнітні сепаратори забезпечуються блокувальним пристроєм, що попереджує подачу при відсутності постійного струму.

Вентилятори аспіраційної мережі повинні бути відбалансованими, підшипники встановлені без перекосів, щоб виключити удари лопатей об кожух вентилятора [14].

## **5.5 Висновки по розділу**

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуто питання з охорони праці та безпеки під час експлуатації системи нагріву зерна технологічного процесу сушіння зерна.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо безпеки праці обслуговуючого персоналу, вибухобезпеки, протипожежної профілактики.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію на науково-технічній конференції «Тиждень студентської науки» з 16 по 20 травня 2022 року. Секція 12 Автоматизація і інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка», 17 травня 2022 року.

В кваліфікаційній роботі бакалавра проведено аналіз технологічного процесу сушіння зерна та розглянуто роботу об'єкта автоматизації – шахтної зерносушарки безперервної дії ДСП-32-ОТ-2. Як об'єкт керування, цей апарат відноситься до класу безперервних об'єктів, що сушить зерно у потоці.

Розроблено структуру системи керування, відповідно до вимог системи керування виконано вибір апаратного забезпечення автоматизованої системи керування технологічним устаткуванням. Автоматизована система керування побудована на базі програмувального логічного контролера VIPA 214-2BE03. Розроблено технічну документацію системи керування з наступними документами: перелік елементів, схема автоматизації, схема електрична принципова.

Виходячи з опису технологічного процесу і структури об'єкта керування для отримання передавальної характеристики об'єкту керування було прийняте рішення провести активний експеримент, розроблено план експерименту для ідентифікації моделі об'єкту керування.

У результаті виконання експерименту, обробки результатів та структурної ідентифікації встановлено наступне: об'єкт керування має транспортне запізнення, динамічна характеристика має два вигини; об'єкт самовирівнюється і не володіє інтегруючими властивостями; об'єкт керування є симетричним; об'єкт керування є лінійним у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 150 °С;

У результаті параметричної ідентифікації об'єкту керування за допомогою програмного забезпечення "System Identification Toolbox" встановлено наступне: модель другого порядку з запізненням 230 секунд більше відповідає перевірочним даним експерименту ніж інші моделі.

За допомогою оцінки за нормованим середньоквадратичним відхиленням встановлено що отримана модель відповідає перевірочним даним на 99,995%. Отже, дана отримана модель об'єкта керування може бути використана для моделювання об'єкта керування та розробки системи керування в цілому, що дозволить підвищити якість керування процесом нагріву зерна.

В економічному розділі розраховано капітальні витрати при впровадженні рекомендованої системи автоматизації складають 50 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть 1.4 млн. грн.

В розділі охорони праці та безпеки під час експлуатації системи нагріву зерна технологічного процесу сушіння зерна проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо безпеки праці обслуговуючого персоналу, вибухобезпеки, протипожежної профілактики.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. В 2021 году в Украине был собран рекордный урожай зерновых и масленичных – Лещенко [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.apk-inform.com/ru/news/1524134> – 23.05.2022 р.
2. Петрушко Л. Украина впервые собрала более 100 млн. тонн агрокультур. Почему урожай бьет рекорды. [Electronic resource] / Л. Петрушко, И. Крицкая. – Access mode: <https://forbes.ua/ru/news/ukraina-vpervye-sobrala-bolee-100-mln-tonn-agrokultur-pochemu-urozhay-bet-rekordy-24122021-3067> – 23.05.2022 р.
3. ТОВ «Сквирський комбінат хлібопродуктів» [Electronic resource]. – Access mode: <https://skviryanka.com.ua/uk/#sp-perevagy-wrapper> – 23.05.2022 р.
4. ДП «Новопокровський комбінат хлібопродуктів» [Electronic resource]. – Access mode: <https://nkhp.com.ua/produkcija.html> – 23.05.2022 р.
5. Купченко А. В. Современное состояние и тенденции развития мощностей по хранению зерна в хозяйствах Украины / А. В. Купченко // Хранение и переработка зерна. – 2012. – №4. – С. 32–35.
6. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок / [Станкевич Г.М., Шаповаленко О.І., Страхова Т.В., Петруня Б.М., Яковенко А.І., Остапчук М.В., Шашкін А.Б.] – Одеса-Київ : ДАК «Хліб України», 1997. – 72 с.
7. Горелка МДГГ. – Режим доступа: [www.URL: http://gorelka.com.ua/ru/gorelka\\_mdgg\\_foto.html](http://gorelka.com.ua/ru/gorelka_mdgg_foto.html) – 23.05.2022 р.
8. Пшениця. Технічні умови : ДСТУ 3768:2004. – [Чинний від 2004-05-28].– К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 16 с. – (Національний стандарт України)
9. Термоперетворювачі опору з вихідним сигналом 4–20мА. – Access mode: <https://owen.ua/ua/datchyky/dtsxx5mi-yermoperetvorjuvachi-oporu-z-vyhidnym-sygnalom-4...20ma> – 23.05.2022 р.
10. VIPA. – режим доступу: <https://vipa.com.ua/products/control-systems/200v.html> – 23.05.2022 р.

11. ГОСТ 34.003-90. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Терміни, і визначення. - М.: Держстандарт, 1992 р. - 54 с.

12. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного керування для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – С. 35-72 – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>.

13. Міністерство соціальної політики України. Наказ 20.09.2017 № 1504. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 жовтня 2017 р. за № 1288/31156 Про затвердження Правил охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна.

14. Пожежна безпека виробництв: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» спеціалізації "Охорона праці" денної та заочної форми навчання. Освітній ступінь "бакалавр" . Укладач: О.М. Роянов. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – 420 с.

15. Войналович О.В., Виговський С.М. Вибухо- і пожежонебезпека на елеваторах. Тези доповідей XIX Міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (25–29 березня 2019 року). К.: НУБіП України. 2019. С. 27-28.

16. Клевлеев В.М., Минаев Д.С., Алифереикова М.А. Пожаровзрывоопасность взвешенной ультрадисперсной пыли. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 12. С. 11-13.

17. Гросул Л.Г., Гапонюк О.І., Мосієнко Г.А., Гончаренко Г.А. Удосконалення агрегатного устаткування та компоновка транспортнофункціональних комплексів. Зернові продукти і комбікорми. 2011. № 3. С. 4850.

18. Гуліда Е.М. Вплив пожежного ризику на величину збитків від пожежі в приміщеннях різних об'єктів. Пожежна безпека: збірник наукових праць ЛДУ БЖД. 2016. № 28. С. 36-42.

19. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.
20. НАПБ В.01.057-2006/200. Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України.
21. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій на об'єктах зберігання й перероблення зерна та зернопродуктів. Затверджено Наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків 26 Чорнобильської катастрофи, Міністерства аграрної політики України від 21 грудня 2009 року № 864/912, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 квітня 2010 р. за № 303/17598.
22. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Затверджена наказом Міністерства України з питань НС та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 23.02.2006 р. № 98.
23. ДСТУ EN ISO 19353 (EN ISO 19353:2016, IDT, ISO 19353:2015, IDT) Безпечність машин. Запобігання пожежі та протипожежний захист.
24. Дмитрук Є.А., Гопанюк О. І. Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна. К., Одеса: Друкарський дім. 1995. 131 с.
25. Фесенко О.О., Лисюк В.М. Проблеми пожежної безпеки зерносушарок. Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. 2017. С. 73-74.
26. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст]. – Чинні від 2000-01-01. – К. : МОЗ України, 2000. – 34 с.



**ВІДГУКИ ПО РОЗДІЛАМ ТА ПІДРОЗДІЛАМ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ  
РОБОТИ**



**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**ВІДГУК**

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра  
на тему: “Автоматизація процесу нагріву зерна у зерносушарці”  
здобувач вищої освіти академічної групи 151-19ск-1  
Галюлько Владислав Володимирович

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає меті – перевірці знань та ступеню підготовки студента за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано повністю відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій.

Тема роботи актуальна, а досягнення поставленої у кваліфікаційній роботі мети призведе до створення сучасної системи керування яка буде відповідати вимогам часу. Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі бакалавра достатня для навчального процесу.

В рамках кваліфікаційної роботи виконано аналіз технологічного процесу сушіння зерна, відповідно до вимог технологічного процесу для системи керування обрано апаратне забезпечення, виконано структурну та параметричну ідентифікацію, отримано модель об'єкту керування, визначено капітальні та експлуатаційні витрати при впровадженні системи, запропоновані заходи з охорони праці та протипожежної безпеки об'єкту автоматизації.

Студент виконав роботу з добрим ступенем самостійності підтримуючи консультації з керівниками розділів. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «\_\_\_\_\_» балів при відповідному захисті, а студент Галюлько В.В. присвоєння йому кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, доцент

К.В. Соснін

01.06.2022

**РЕЦЕНЗІЯ**

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра  
на тему: “Автоматизація процесу нагріву зерна у зерносушарці”  
здобувач вищої освіти академічної групи 151-19ск-1  
Галюлько Владислав Володимирович

Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає меті – перевірці знань та ступеню підготовки студента за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”. Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано повністю відповідно до вимог стандартів та методичних рекомендацій повністю.

Тема роботи актуальна, а досягнення поставленої у кваліфікаційній роботі мети призведе до створення гнучкої сучасної системи керування яка буде відповідати вимогам часу.

В рамках кваліфікаційної роботи виконано аналіз технологічного процесу керування нагрівом зерна, відповідно до вимог технологічного процесу. Для системи керування обрано апаратне забезпечення, виконано структурну та параметричну ідентифікацію, отримано модель об'єкту керування, визначено капітальні та експлуатаційні витрати при впровадженні системи, запропоновані заходи з охорони праці та протипожежної безпеки об'єкту автоматизації.

Повнота та глибина вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі бакалавра достатня для навчального процесу. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «\_\_\_» балів за умови відповідного захисту, а здобувач Галюлько В.В. присвоєння йому кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

---

---

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та  
інформаційно-вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022  
року

### ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему “Автоматизація процесу нагріву зерна у зерносушарці”, здобувача вищої освіти, групи 151-19ск-1, Галюлько Владислав Володимирович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 70 сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unicheck.com>”. Рівень запозичень у роботі складає \_\_\_\_\_ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,  
асистент КФІВС

\_\_\_\_\_ Воскобойник Є.К.  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(дата)

Ім'я користувача:  
Олег Бойко

ID перевірки:  
1011458192

Дата перевірки:  
03.06.2022 23:58:51 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
04.06.2022 00:00:21 EEST

ID користувача:  
100008838

Назва документа: 01\_група151\_19ск\_Галюлько\_ВВ\_ПЗС

Кількість сторінок: 67 Кількість слів: 11507 Кількість символів: 86183 Розмір файлу: 1.70 MB ID файлу: 1011336610

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 28.2% Схожість

Найбільша схожість: 10.3% з Інтернет-джерелом (<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/158798/%D0%9A%D..>)

28.2% Джерела з Інтернету

195

Сторінка 69

Не знайдено джерел з Бібліотеки

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 15.5% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

Немає вилучених Інтернет-джерел

15.5% Вилученого тексту з Бібліотеки

32

Сторінка 69

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

67

Підозріле форматування

12  
сторінок