

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 Юрченко Денис Романович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1

(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 технологічного процесу сушіння крохмалю

(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. Воскобойник Є.К.			

Дніпро
2023

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

_____ Бубликов А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

студенту Юрченко Д.Р. академічної групи 151-19-1
(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 технологічного процесу сушіння крохмалю,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 08.05.2023 № 328-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.	08.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та схеми електричної принципової.	15.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Розробка методики дослідження об'єкту керування. Виконання експерименту, обробка результатів. Перевірка моделі на адекватність.	22.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	29.05.2023
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	05.06.2023

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

доц. Соснін К.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 06.03.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Юрченко Д.Р.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 69с., 35 рис., 14 табл., 1 додаток, 24 джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматизованого керування сушіння крохмалю у пневматичній сушарці ПС-15.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні сушінням крохмалю.

Мета: підвищення якості процесу керування сушіння крохмалю у пневматичній сушарці ПС-15, шляхом ідентифікації об'єкту керування та розробки системи автоматизованого керування.

В кваліфікаційній роботі бакалавра проведено аналіз технологічного процесу виробництва крохмалю, сушіння крохмалю, надано опис роботи об'єкта автоматизації – пневматичної сушарки ПС-15.

Згідно з вимогами до системи керування, було обрано відповідне апаратне забезпечення, що містить датчик температури крохмалю, калорифер для нагріву повітря, промисловий контролер VIPA з модулем аналогового вводу/виводу, блоки живлення.

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

Після проведеного експерименту та обробки результатів, була отримана модель об'єкта керування в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink, ступінь відповідності якої за нормованим середньоквадратичним відхиленням становить 99,9885%.

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

КРОХМАЛЬ, СУШІННЯ, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ПС-15.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Стан питання та постановка завдання	7
1.1 Галузь промисловості	7
1.2 Технологічний процес	9
1.3 Об'єкт керування	11
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	11
1.3.2 Принцип функціонування об'єкта керування	14
1.4 Постановка завдання	15
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	21
2.3.4 Вибір джерел живлення	25
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	28
2.5 Розробка схеми електричної принципової	29
2.6 Висновки по розділу	29
3 Визначення моделі об'єкта керування	31
3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	31
3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування	32
3.3 Виконання експерименту	33
3.4 Обробка результатів експерименту	34
3.4.1 Підготовка даних	34
3.4.2 Структурна ідентифікація	35

	5
3.4.3 Параметрична ідентифікація	39
3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	42
3.4.5 Перевірка моделі на адекватність	44
3.5. Висновки по розділу	45
4 Економічна частина	46
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	46
4.2 Розрахунок капітальних витрат	47
4.3. Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	48
4.4. Розрахунок експлуатаційних витрат	51
4.5. Висновки по розділу	54
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	55
5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів процесу сушіння крохмалю	55
5.2 Заходи щодо нормалізації умов праці	56
5.3 Пожежна профілактика	61
5.4 Висновки по розділу	64
Висновки	65
Перелік посилань	67
Додаток А	70

ВСТУП

В економіці України сучасна крахмалопаточна промисловість це важлива галузь господарства. Крахмалопаточні підприємства випускають сухий крохмаль, глюкозу, різні види крохмальної патоки, модифіковані крохмалі, декстрин, глюкозофруктозні сиропи та ін. Асортимент вироблюваної продукції становить десятки найменувань. Крохмаль та продукти з крохмалю використовують у різних галузях харчової промисловості - кондитерській, хлібопекарській, консервній, молочній, харчоконцентратній, а також у медичній, текстильній, поліграфічній, паперовій та ін.

Підприємства, що переробляють картоплю і кукурудзу, отримують сирий крохмаль вологістю 50 ... 52%. Такий крохмаль зберігатися не може, так як є прекрасним середовищем для розвитку мікроорганізмів, він закисає. Тому сирий крохмаль на цих же або на інших підприємствах переробляють в сухій вологістю для картопляного 20%, або використовують для виготовлення патоки, глюкози та інших продуктів з крохмалю. Сушіння дозволяє зберегти та підвищити якість крохмалю.

Завданням роботи є регулювання температури нагріву крохмалю при сушінні. Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню особливості технології сушіння крохмалю, визначенню вимог до системи керування сушінням крохмалю, розробці загальної структури системи керування та визначення моделі об'єкта керування.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Харчова промисловість – це галузь, яка задіяна в процесі виробництва крохмалю. Харчова промисловість є однією з найбільших галузей промисловості, що швидко розвивається. Серед продуктів, що виробляються в цій галузі, крохмаль займає важливе місце. Крохмаль використовується в багатьох харчових продуктах, таких як соуси, десерти і напої.

Процес сушіння крохмалю є важливим етапом у виробництві крохмалю. Цей процес знижує вміст вологи в крохмалі до необхідного рівня. Недостатнє сушіння може призвести до псування крохмалю і погіршення якості, тоді як надмірне сушіння може призвести до втрати поживних речовин і погіршення якості кінцевого продукту, в якому використовується крохмаль.

Автоматизація процесу сушіння крохмалю може підвищити ефективність і якість виробництва. Використовуючи сучасні прилади і технології, програмне забезпечення для керування процесом і моніторингу, можна точно контролювати такі параметри процесу, як температура, вологість і час сушіння. Це зменшує ризик людських помилок і забезпечує стабільність процесу. Автоматизація також зменшує відхилення від заданих значень параметрів і дозволяє здійснювати безперервний моніторинг процесу, таким чином зменшуючи витрати на моніторинг і відновлення виробництва у випадку, якщо щось піде не так. Крім того, автоматизація може забезпечити швидкість і ефективність процесу, оскільки обладнання може більш точно керуватися людиною без перерви.

Автоматизація процесу сушіння крохмалю може передбачати використання сучасних пристроїв і технологій, таких як сенсорні датчики, контролери, програмне забезпечення для збору та аналізу даних і системи керування процесом.

Датчики можуть використовуватися для вимірювання таких параметрів, як температура і вологість, щоб контролювати процес сушіння. Контролер

автоматично регулює параметри процесу, щоб забезпечити найкращі умови для сушіння крохмалю.

Програмне забезпечення для збору та аналізу даних збирає та обробляє дані з датчиків та іншого обладнання, щоб забезпечити стабільність процесу та виявити проблеми в режимі реального часу. Система керування процесом дозволяє здійснювати автоматизований моніторинг і контроль процесу сушіння, допомагаючи знизити витрати на моніторинг і обслуговування процесу.

Крім того, автоматизація процесу сушіння крохмалю включає використання спеціалізованого обладнання, яке дозволяє автоматично завантажувати крохмаль, струшувати його, змішувати з рідинами і спрямовувати до сушарки. Це забезпечує максимальну ефективність і точність процесу сушіння крохмалю.

Автоматизація процесу сушіння крохмалю є важливим етапом у виробництві крохмалю. Вона покращує якість і кількість продукту, знижує витрати на виробництво і обслуговування, а також забезпечує безпеку і стабільність процесу.

Автоматизація процесу сушіння крохмалю також може підвищити конкурентоспроможність виробників на ринку, оскільки вони можуть більш точно і ефективно контролювати виробничий процес. Крім того, це дозволяє гнучко реагувати на зміни ринкового попиту і забезпечувати високу якість продукції.

Наприклад, автоматизувавши процес сушіння крохмалю, виробники можуть більш ефективно використовувати енергію, тим самим зменшуючи виробничі витрати і вплив на навколишнє середовище. Це також зменшує ризик виникнення дефектів і підвищує якість продукції завдяки усуненню відходів і більш точному дотриманню технологічних параметрів.

Таким чином, автоматизація процесу виробництва крохмалю є однією зі стратегічних галузей промисловості України. Вона покращує якість і кількість продукту, знижує витрати на виробництво і обслуговування, забезпечує безпеку

і стабільність процесу і допомагає виробникам стати більш конкурентоспроможними на ринку.

1.2 Технологічний процес

Технологічні схеми сучасних виробництв спрямовані на отримання високих техніко-економічних показників виходу крохмалю, максимального ступеня використання сухих речовин зерна, отримання високої продуктивності праці. Використовується сучасне обладнання: подрібнювачі ударного типу, гідроциклони для відокремлення зародків, відцентровані сепаратори, гідроциклони для очищення крохмалю (рис. 1.1).

Після збору врожаю зерно містить велику кількість різноманітних домішок [1-13]. Зерно може містити насіння бур'янів, частинки соломи, іншого зерна і навіть фрагменти ґрунту та дрібні камінці. Під час транспортування та різних операцій із зерном до нього можуть потрапляти й інші предмети, наприклад, шматки дроту, різні металеві предмети, мотузки, скло. Все це є небажаними домішками і повинно бути видалено із зерна перед обробкою. Перед подачею до виробництва зерно кукурудзи очищують від сміттєвих домішок (прохід скрізь сита отвором 2.5 мм).

Очищене зерно зважують на автоматичних вагах (3), та спрямовують у чани для замочування (1) зерна рис (1.1). Чани для замочування з підігрівачами (2) комплектують у батареї за принципом протитечії. Сірчисту кислоту з абсорбера (5) через збірник (4) спрямовують у чан у якому завершується цикл замочування зерна, рідкий екстракт відкачують з чану зі свіжозавантаженим зерном. Для замочування використовують сірчисту кислоту, яка перед подачею у чан має концентрацію 0.15 – 0.2 % SO₂. Після завершення циклу замочування зерно промивають гарячою водою (40 – 50 °C), що повертається для створення розчину сірчистої кислоти.

Замочену та промиту кукурудзу за допомогою гідротранспортеру та насосу (34) подають до виробництва через гідроциклон – відокремлювача каміння (8) на перше подрібнення. Перед подачею замоченого зерна до

дробарки (11) транспортерну воду відокремлюють від зерна на дуговому решеті (9), а зерно подають у бункер (10). Відокремлення зародків виконують на гідроциклонній установці (12). Відокремлений зародок з крохмальною суспензією спрямовують до станції контрольного очищення зародків (18), а матеріал, що містить частину зародку разом з ендоспермом на друге дроблення (13). На другій дробарці виконують більш дрібне дроблення для повного звільнення пов'язаного зародку. Матеріал після другої дробарки подають на гідроциклони другого відокремлення зародку (14). Дворазове дроблення зерна та відокремлення зародку при правильному виконанні технологічного процесу забезпечує можливість визволення цілого вільного зародку у кількості 90% від його змісту у зерні.

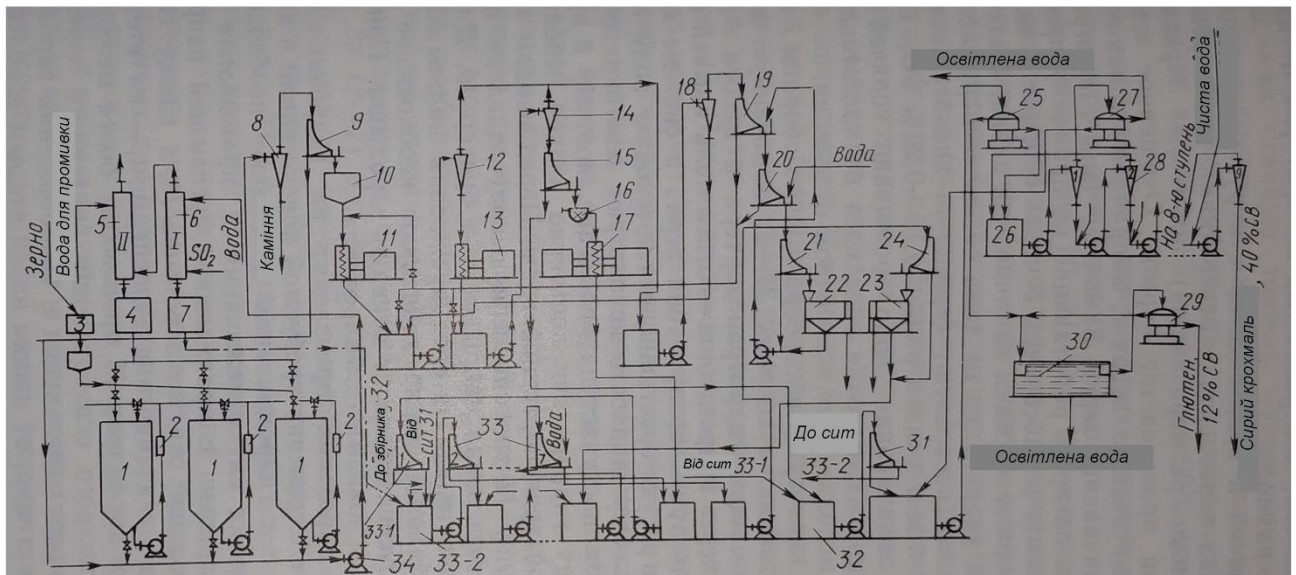


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу виробництва кукурудзяного крохмалю,

де 1 – чани для замочування зерна; 2 – підігрівач; 3 – автоматичні ваги; 4, 7 – збірник; 5, 6 – абсорбер; 8 – гідроциклон; 9 – решето; 10 – бункер; 11, 13 – дробарка, 12, 14 – гідроциклон, 15 – дугові сита, 16 – змішувач, 17 – дробарка ударного типу, 18 – станція контрольного очищення зародків, 19, 20, 21 – дугові сита, 22 – шнек-прес, 25 – сепаратор, 26 – збірник, 28 – гідроциклони, 29 – відцентрований сепаратор, 30 – флотаційна камера, 31 – сита, 32 – збірник.

Суспензію з зародками подають на дугові сита (19) відокремлення зародку та дворазове промивання (20, 21) зародку. При промиванні зародку освітленої глютенною водою від нього відокремлюється вільний крохмаль. Відокремлений зародок вижимають на шнек-пресах (22) та сушать.

Матеріал після другого гідроциклону (14) подається на дугові сита (15) першого відділення крохмального молока, потім до змішувачу (16) та тонесенького подрібнювання за допомогою машин ударного типу (17). Перше крохмальне молоко спрямовують до збірника (32), а потім до сит (31) для остаточного очищення суспензії від дрібної мезги.

Очищену крохмальную суспензію спрямовують на станцію відцентрованих сепараторів-роздільників (25) для відокремлення білкових речовин та відокремлення рідини, що містить велику кількість розчинених речовин зерна. Згущений матеріал після сепараторів подається до збірника (26), а потім до батареї, що містить дев'ять ступенів гідроциклонів (28). Білкові речовини та рідка фаза (1 % зваженої речовини) спрямовують до станції концентрування глютену, що оснащена флотаційними камерами (30) та відцентрованими сепараторами (29). Очищений за допомогою сепараторів та гідроциклонів крохмаль використовують для виробництва продуктів, що містить крохмаль.

Використовуючи схему замкнутого процесу вдається кратною мірою зменшити витрату свіжої води, повністю використовується сухі речовини кукурудзяного зерна, знизити витрати пару для підігріву виробничої води, зменшити витрати сірчаної кислоти, знижується викид стічних вод, що забруднено органічними речовинами.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Волога, що залишається у крохмалю після механічного зневоднення, видаляється за допомогою сушіння, тобто перетворенням у пароподібний стан.

Стандартний сухий кукурудзяний крохмаль має вологу 13 %, сухий картопляний крохмаль має вологу 20 %.

Установка для сушіння крохмалю [1-2] складається з чотирьох основних елементів:

Нагрівач, який нагріває очищене через фільтри повітря до заданої температури (часто за допомогою пари відповідного типу);

Сушильної камери, яка змішує гаряче повітря з рідким крохмалем, нагріває крохмаль і відокремлює та видаляє пари, що утворюються;

Вентиляторна установка для подачі та видалення повітря з сушильної камери;

Сепараційний блок для осадження крохмалю та уловлювання крохмального пилу з відпрацьованого повітря та з сушарки.

В крохмальній промисловості отримали поширення пневматичні сушарки («миттєвої дії»), у яких забезпечується гарний контакт продукту, що висушується з підігрітим повітрям, що є теплоносієм та вологопоглиначем. Процес сушіння протікає дуже швидко, тому властивості крохмалю помітно не змінюються. Технічні характеристики пневматичної сушарки для крохмалю ПС-15 представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики пневматичної сушарки ПС-15

Назва параметру	Значення
Продуктивність технічна по картопляному крохмалю вологістю 20 %, т/добу	15
Продуктивність по волозі, що випарувалася, кг/годину	325
Тиск пара у калорифері, МПа	0.6-0.8
Температура повітря, що надходить до сушарки, °С	140
Витрата повітря, м ³ /год	10 000
Витрата пара на 1 кг сухого крохмалю, кг	0.7-1.3
Потужність електродвигуна, кВт	28.6
Габаритні розміри, мм	
Довжина	5848
Ширина	3700
Висота	9000

Для нагріву повітря використовується пароповітряний біметалевий калорифер. Паровий калорифер КПСК номінальною тепловою потужністю від 46,1 до 552,3 кВт, продуктивністю по повітрю від 2000 до 25000 м³/год використовується для теплопостачання устаткування при сушіння деревини, зернових культур, картону та інших матеріалів [14]. Конструкція калорифера КПСК має вигляд моноблоку (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд парового калорифера КПСК

Всередині сталевому корпусу розміщено змійовик з трубчатих нагрівачів з алюмінієвими ребрами (алюмінієве ребрення). Подача тепла виконується за рахунок пуску сухого насиченого (перегрітого) пару, нагрітого під тиском 12 атмосфер до температури 190 °С. У процесі циркуляції пар віддає тепло трубчатим нагрівачам. Перегрітий пар циркулює всередині трубчатого нагрівача та віддає тепло сталевим трубам та ребрам з алюмінію. Під час контакту ребер з алюмінію з повітряним потоком здійснюється нагрів повітря для сушіння. Приєднання ребра з алюмінію до сталевій труби виконується методом спіральної накатки під тиском, що дозволяє створювати між сталю та алюмінієм з'єднання високої щільності. Це суттєво збільшує теплообмін та коефіцієнт корисної дії приладу.

Обладнання нагріву повітря, що містить паровий калорифер КПСК комплектується блоком автоматики, регулюючою апаратурою, датчиками тиску. Блок автоматики має різні інтерфейси для обміну даними, у тому числі інтерфейс RS-485, з реалізацією протоколу Modbus RTU. Значення температури агенту сушіння задається оператором за допомогою блоку автоматики парового калорифера або через інтерфейс обміну даними з комп'ютера оператора.

1.3.2 Принцип функціонування об'єкта керування

На рисунку 1.3 представлена схема пневматичної сушарки марки ПС-15. Сирий крохмаль, що зневоднено за допомогою центрифуг, вакуум-фільтрів через змішувач-живильник (4) надходить до розпушувача (3). Тут він змішується з гарячим повітрям, що очищено у масляному фільтрі (1) та підігрите за допомогою калориферу (2). Більшість вологи, що видаляється при сушінні, випаровується у розпушувачі. У подальшому за рахунок вакууму, що утворюється у системі вентилятором (10), суміш крохмалю та повітря підіймається вгору вздовж труби (5), де основна маса крохмалю досушується до потрібного вмісту вологи. У верхній частині труби розміщено противибуховий клапан (7). Недосушені грудочки, як більш важки, падають до низу швидше та через карман (6) та шлюзові затвори (15) повертаються до живильника (4).

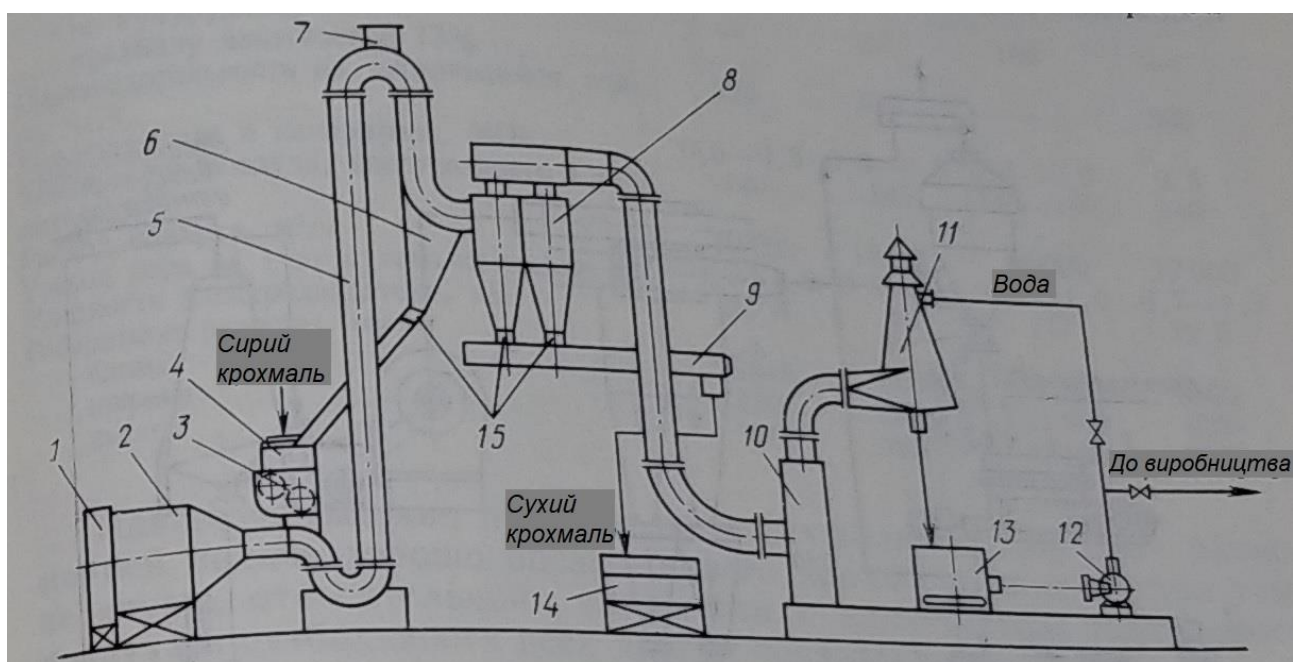


Рисунок 1.3 – Схема пневматичної сушарки ПС-15, де

1 – фільтр; 2 – калорифер; 3 – розпушувач; 4 – змішувач-живильник; 5 – труба; 6 – карман; 7 – противибуховий клапан; 8 – аероциклони; 9 – збірний шнек; 10 – вентилятор; 11 – мокрий скрубєр; 12 – насос; 13 – збірник, 14 – бурат; 15 – шлюзові затвори.

Суміш сухого крохмалю з повітрям подається в повітряні циклони (8), де крохмаль осаджується, а повітря з крохмальним пилом вентилятором (10) надходить до мокрого скрубєру (11), де очищується від пилу та видаляється з сушарки. Сухий крохмаль з циклонів (8) через шлюзові затвори (15) надходить до збирального шнеку (9), що подає його до бурату (14) для охолодження, після чого крохмаль прямує до розсіву та упаковки.

Критерієм ефективності роботи пневматичної сушарки крохмалю марки ПС-15 є мінімальне відхилення температури крохмалю на виході з сушарки від заданого значення

$$\text{відхил } T_k = | T_{k. \text{вих}} - T_{\text{зад}} | \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де $\text{відхил } T_k$ – відхилення значення параметру температура крохмалю на виході сушарки; $T_{k. \text{вих}}$ – значення параметру температура крохмалю на виході сушарки; $T_{\text{зад}}$ – задане значення параметру температура крохмалю на виході сушарки.

1.4 Постановка завдання

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

розробити структурну схему системи керування температурою крохмалю, обґрунтувати вибір апаратного забезпечення, створити функціональну схему автоматизації, схему електричну принципову та перелік елементів для системи;

згідно методики виконати ідентифікацію об'єкту керування та перевірку адекватності отриманої моделі об'єкту керування; створення керуючих впливів за допомогою SCADA-системи ZENON; отримати динамічні, статичні та П-подібні (імпульсні) характеристики та дані випробувань за допомогою програмного забезпечення Identification System Toolbox;

визначити капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження системи керування температурою при сушінні крохмалю;

розробити комплекс заходів для захисту працівників під час сушіння крохмалю.

1.5 Висновки по розділу

Для сушіння крохмалю використовується пневматична сушарка марки ПС-15, представлені технічні характеристики. Як досліджуваний об'єкт сушарка відноситься до категорії об'єктів безперервної дії для сушіння крохмалю в потоці. Важливим параметром технологічного процесу сушіння крохмалю на виході пневматичної сушарки є температура крохмалю після сушарки.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми системи керування

Розглянута в цій роботі система керування сушінням крохмалю підтримує задану температуру крохмалю на виході з пневматичної сушарки ПС-15. Вологість вхідного крохмалю знаходиться в межах 20 (%). Значення температури крохмалю на виході сушарки вимірюється за допомогою датчиків і має становити $55 \pm 3^\circ\text{C}$. Температура повітря, що надходить в сушарку, регулюється паровим калорифером в діапазоні $0-150^\circ\text{C}$.

Ми обрали систему керування, що має три рівня. Перший рівень включає в себе датчики та виконавчі механізми. До них відносяться датчик температури крохмалю на виході з сушарки і калорифер, який нагріває повітря. Другий рівень обробляє інформацію, отриману від датчиків, формує керуючі сигнали для виконавчого механізму і обмінюється даними з верхнім рівнем. Ці функції виконують промислові мікроконтролери – мікропроцесорні пристрої керування. Третій рівень – це пульт керування або автоматизоване робоче місце оператора для людино-машинного інтерфейсу між людиною-оператором і керованим об'єктом. Ці пульти відображають стан технологічного обладнання у вигляді мнемосхем, графіків і трендів, керують процесом і зберігають дані про нього в базі даних. Ці функції виконує спеціальний персональний комп'ютер (рис. 2.1).

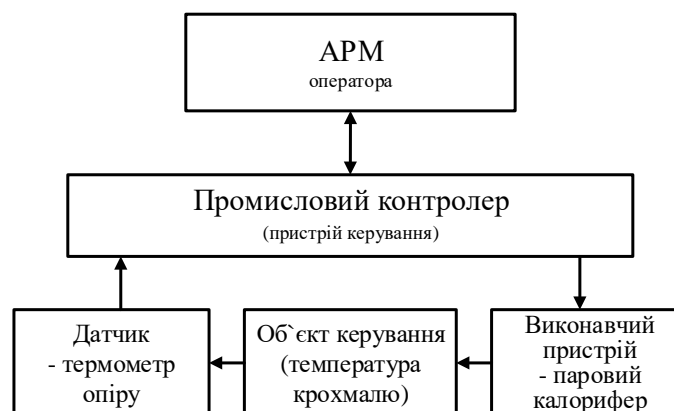


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизованого керування процесу сушіння крохмалю

2.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків

Оскільки система повинна забезпечувати візуалізацію та керування технологічними процесами, вона повинна містити підсистеми, що забезпечують інформаційну підтримку роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-машинного інтерфейсу, реєстрації параметрів процесу та сигналів при досягненні параметрами заданих значень.

Крім того, система повинна гарантувати збереження значень параметрів процесу, тому вона повинна мати підсистему ведення запису параметрів і подій, що включає базу даних і резервне сховище. Структурна схема розробленої інформаційної системи показана на рисунку 2.2. Ця структура повинна забезпечувати підтримання заданої температури крохмалю при сушінні, збір, реєстрацію, візуалізацію, зберігання в базах даних та резервне копіювання даних технологічного процесу. Крім того, ця структура забезпечує керування обладнанням і сигналізує, коли параметри керування досягають заданих значень.

Таким чином, підсистема автоматичного керування технічним обладнанням представлена у вигляді програмно-апаратного комплексу, до складу якого входить датчик температури крохмалю на виході пневматичної сушарки ПС-15, пристрій керування – паровий калорифер, контролер – програмований логічний контролер.

Підсистема інформаційного забезпечення представлена у вигляді програмно-апаратного комплексу на базі персонального комп'ютера з операційною системою Microsoft Windows і SCADA-системою Zenon, що виконує функції операторської консолі. Підсистема зберігання параметрів і подій забезпечується окремим програмним модулем SCADA-системи "Zenon".

Згідно з вимогами, зв'язок між зареєстрованими групами обладнання здійснюється через корпоративну мережу, а зв'язок між програмним забезпеченням – за допомогою стандартних протоколів.

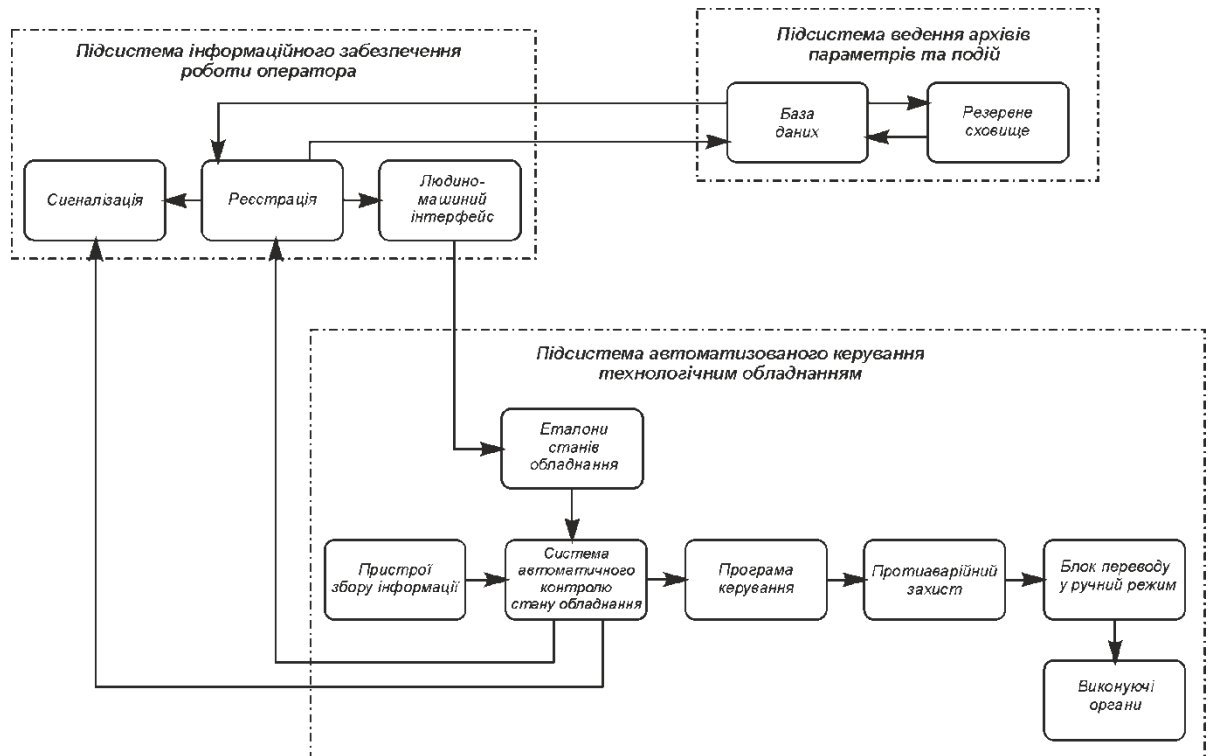


Рисунок 2.2 – Структурна схема інформаційних потоків

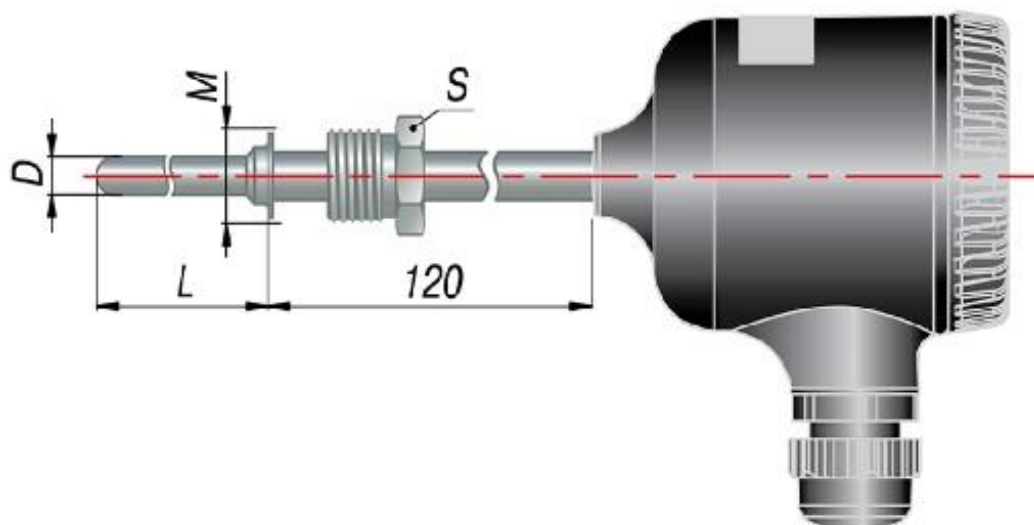
2.3 Вибір апаратного забезпечення системи керування

2.3.1 Вибір датчиків

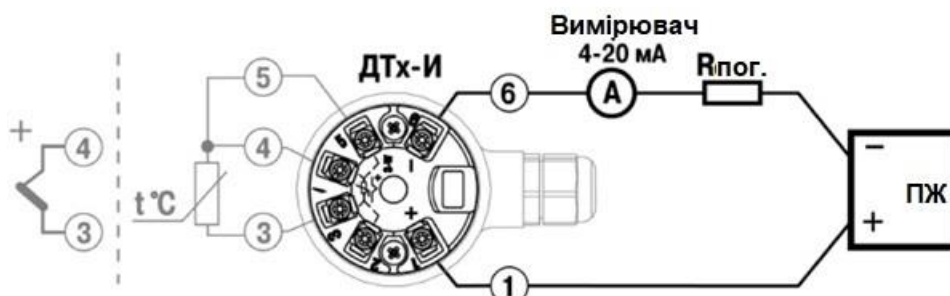
Основним призначенням системи автоматизації технологічного процесу сушіння крохмалю, що розробляється, є підтримання температури сухого крохмалю, значення якої має дорівнювати $55^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Датчик температури крохмалю у потоці розташовується на виході пневматичної сушарки ПС-15. Значення температури крохмалю повинно передаватися за допомогою заводостійкого інтерфейсу обміну. Для виміру температури крохмалю обираємо термоперетворювач опору мідний з високоточним нормованим перетворювачем, з уніфікованим вихідним сигналом 4...20 мА[12]. Принцип дії термоперетворювача ґрунтується на вимірі величини опору при зміні температури.

Діапазон вимірюваних температур термоперетворювача ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.160.И[1] складає від мінус 50 до плюс 180 С. Цей термоперетворювач (рис. 2.3) призначено для безперервного вимірювання та

перетворення значень температури рідин, газоподібних, твердих та сипучих речовин в уніфікований вихідний сигнал струму 4...20 мА.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Термоперетворювач ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.160.И[1], де а) загальний вигляд термоперетворювача, б) схема підключення.

Термометри опору надійні в експлуатації, мають високу чутливість, вони мають хорошу розповсюдженість. Позначення ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.160.И[1] має наступний зміст, що до виготовлення та поставці підлягає термоперетворювач з вихідним сигналом 4...20 мА з одним чутливим елементом «термометр опору», матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т, у корпусі типу 035 с пластиковою комутаційною головкою, довжина монтажної частини 160 мм, діапазон перетворення мінус 50...+180 °С. Поріг допустимої основної приведенної похибки $\pm 0.5\%$. 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 крохмалю	Перетворення температури в опір	Аналоговий	мінус50 – плюс 180°C	0,5	4-20 мА	10 с	0.8 Вт

2.3.2 Вибір виконавчих пристроїв

Пристроєм для здійснення процесу нагрівання крохмалю в сушарці є паровий калорифер. Технічні характеристики підігрівача визначаються комбінованим технічним агрегатом – пневматичною сушаркою. Підігрівач повітря оснащений блоком автоматики, регулюючою апаратурою і датчиками. Блок автоматики або мікропроцесорний блок калорифера має різні інтерфейси для обміну даними з комп'ютером оператора, наприклад, цифровий інтерфейс RS-485 з протоколом Modbus. Значення температури повітря може бути задане оператором в числовому вигляді за допомогою модуля автоматизації нагрівача або в цифровому вигляді через інтерфейс обміну даними RS-485 між блоком автоматики нагрівача і комп'ютером оператора.

2.3.3 Вибір пристроїв керування

Відповідно до вимог системи керування сушіння крохмалю, в якості контролера слід використовувати програмований логічний контролер VIPA [16]. Робочий цикл контролера повинен бути менше 100 мс, щоб гарантувати, що контролер реагує на зміну важливих параметрів технологічного процесу. Контролер також повинен мати щонайменше 1 кілобайт вільної робочої пам'яті для запуску керуючої програми.

Виходячи з того, що контролер підключається до пристрою з аналоговим виходом або керується аналоговим сигналом, контролер повинен бути модульним, щоб забезпечити підключення обраного пристрою.

Конфігурація системи керування повинна включати інформаційну підсистему для підтримки завдань оператора, яка, згідно з системними

вимогами, повинна бути реалізована на базі персонального комп'ютера, в цьому випадку контролер повинен мати можливість підключення через інтерфейс Ethernet.

Цим вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BE03. Цей контролер має час спрацьовування 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кілобайти та об'єм робочої пам'яті 96 кілобайт (рис. 2.4). Технічні характеристики цього контролера наведені в таблиці 2.2.



Рисунок 2.4 – Програмований логічний контролер 214-2BE03

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 датчика термоперетворювача ОВЕН ДТС035М до програмованого логічного контролера слід використовувати модуль аналогового входу з діапазоном вхідного сигналу 4-20 мА. Цим вимогам

відповідає модуль VIPA 234-1BD50 з двома аналоговими входами і двома аналоговими виходами з діапазоном сигналу 4-20 мА. Зовнішній вигляд модуля та схема підключення показані на рисунку 2.5.

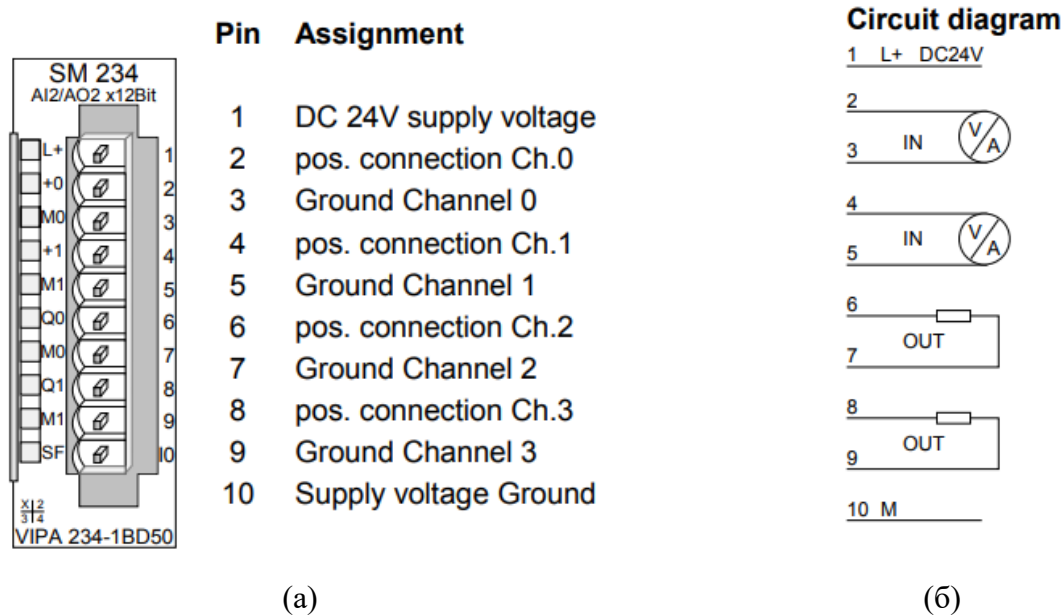


Рисунок 2.5 – Модуль аналогового вводу/виходу VIPA 234-1BD50,

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

Модуль VIPA CP240-1CA20 використовується для підключення блоку автоматики підігріву повітря калориферу або мікропроцесорного блоку через інтерфейс RS-485. Модуль реалізує послідовний інтерфейс RS-485, ізольований від шини контролера, і підтримує протоколи ASCII, STX/ETC, 3964(R), RK512 і

Modbus. Живлення модуля здійснюється від шини контролера. Зовнішній вигляд та схема підключення модуля показані на рисунку 2.6.

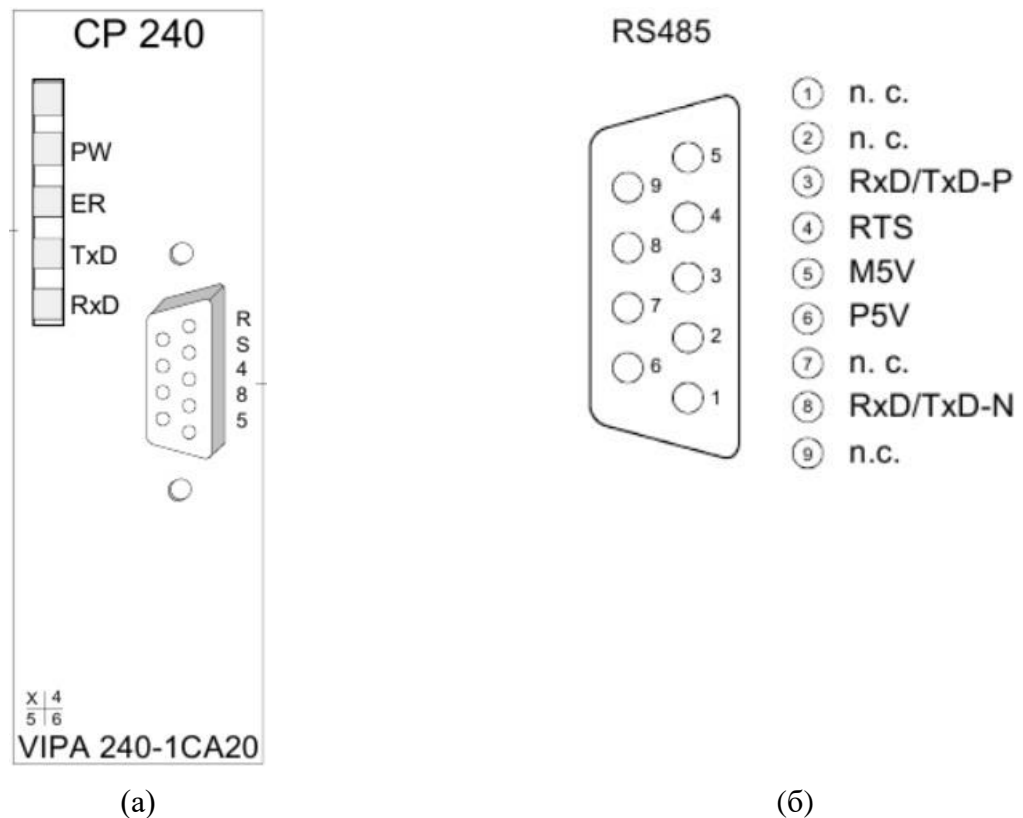


Рисунок 2.6 – Модуль серійний інтерфейс RS-485 VIPA CP240-1CA20, де а – зовнішній вигляд, б – найменування контактів роз’єму.

Технічні характеристики модуля аналогового вводу/виводу наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики модуля серійного інтерфейсу RS-485

№	Найменування параметру	Значення
1	Максимальна швидкість передачі даних, кбіт/с	115.2
2	Максимальна відстань передачі даних, м	1200
3	Максимальна кількість під’єднаних абонентів	32
4	Ступень захисту від завад	висока
5	Режим передачі даних	напівдуплексний
6	Споживана потужність, Вт	0.75

Згідно з вимогами системи керування технологічним процесом, підсистема інформаційної підтримки роботи оператора повинна відображати поточний стан технологічного процесу на основі даних, отриманих від

програмованого логічного контролера. Підсистема інформаційної підтримки буде реалізована на базі персонального комп'ютера, а зв'язок з програмованим логічним контролером буде здійснюватися через інтерфейс Ethernet. Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера 241-2BE03 показана на рисунку 2.7.

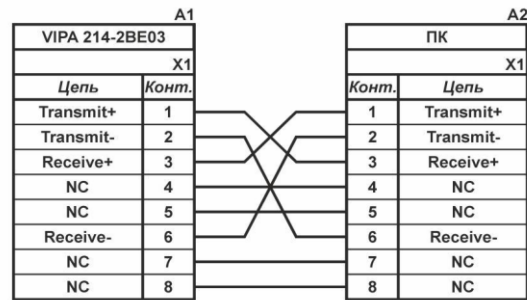


Рисунок 2.7 – Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера 241-2BE03

На підставі обраного програмованого логічного контролера і його модулів складена таблиця 2.5 щодо потужності обраних засобів.

Таблиця 2.5 – Потужність засобів

№	Найменування	Пристрій	Потужність
1	VIPA 214-2BE03	Центральний процесорний модуль	6,00 Вт
2	VIPA CP240-1CA20	Модуль серійний інтерфейс RS-485	0,75 Вт
3	VIPA 234-1BD50	Модуль аналогового вводу/виводу	2,90 Вт
		ОВЕН ДТС035М-50М.0,5.160.И[1]	0,8 Вт

2.3.4 Вибір джерел живлення

Напруга живлення програмованого логічного контролера 241-2BE03 та його модулів становить 24 В постійного струму, а загальна споживана потужність програмованого логічного контролера – 6 Вт, інші засоби ще 5 Вт. Виходячи з цього, в якості джерела постійної напруги для контролера було обрано блок живлення SPD24301 зі змінною напругою живлення в діапазоні ~85-264 В, вихідною напругою 24 В постійного струму та потужністю 30 Вт (рисунок 2.8). Технічні характеристики цього блоку живлення наведені в таблиці 2.6.



Рисунок 2.8 – Джерело живлення SPD24301

Схема підключення програмованого логічного контролера 241-2BE03 до джерела живлення SPD24301 приведена на рисунку 2.9.

Таблиця 2.6 – 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

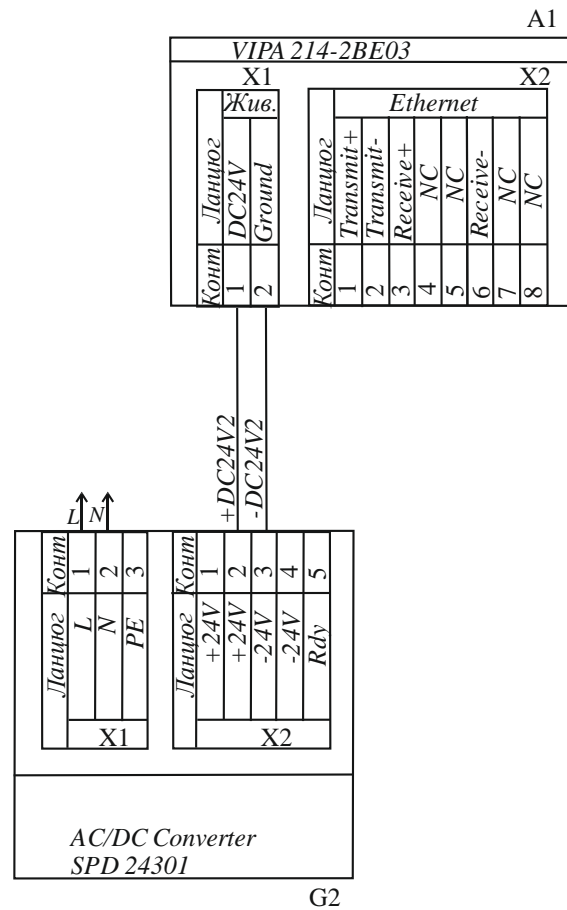


Рисунок 2.9 – Схема підключення VIPA 241-2BE03 до джерела живлення SPD24301

Враховуючи обране обладнання можна зробити висновок, що модуль аналогового вводу-виводу (напруга живлення 24 В, споживана потужність 2,9 Вт), який використовується для підключення датчика температури термоперетворювача ОВЕН (напруга живлення 24 В, споживана потужність 0,8 Вт), також потребує зовнішнього джерела живлення. Сумарне енергоспоживання пристрою та підключеного до нього обладнання:

$$P = 2.9 + 0.8 = 3.7 \text{ Вт}, \quad (2.1)$$

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 сушіння крохмалю та обраного обладнання розроблена функціональна схема автоматизації, що наведена на рисунку 2.10 (Додаток А).

В якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 1 – VIPA 214-2BE03). Дані програмованого логічного контролера про хід технологічного процесу відображаються на пульті оператора (UYR – Персональний комп'ютер).

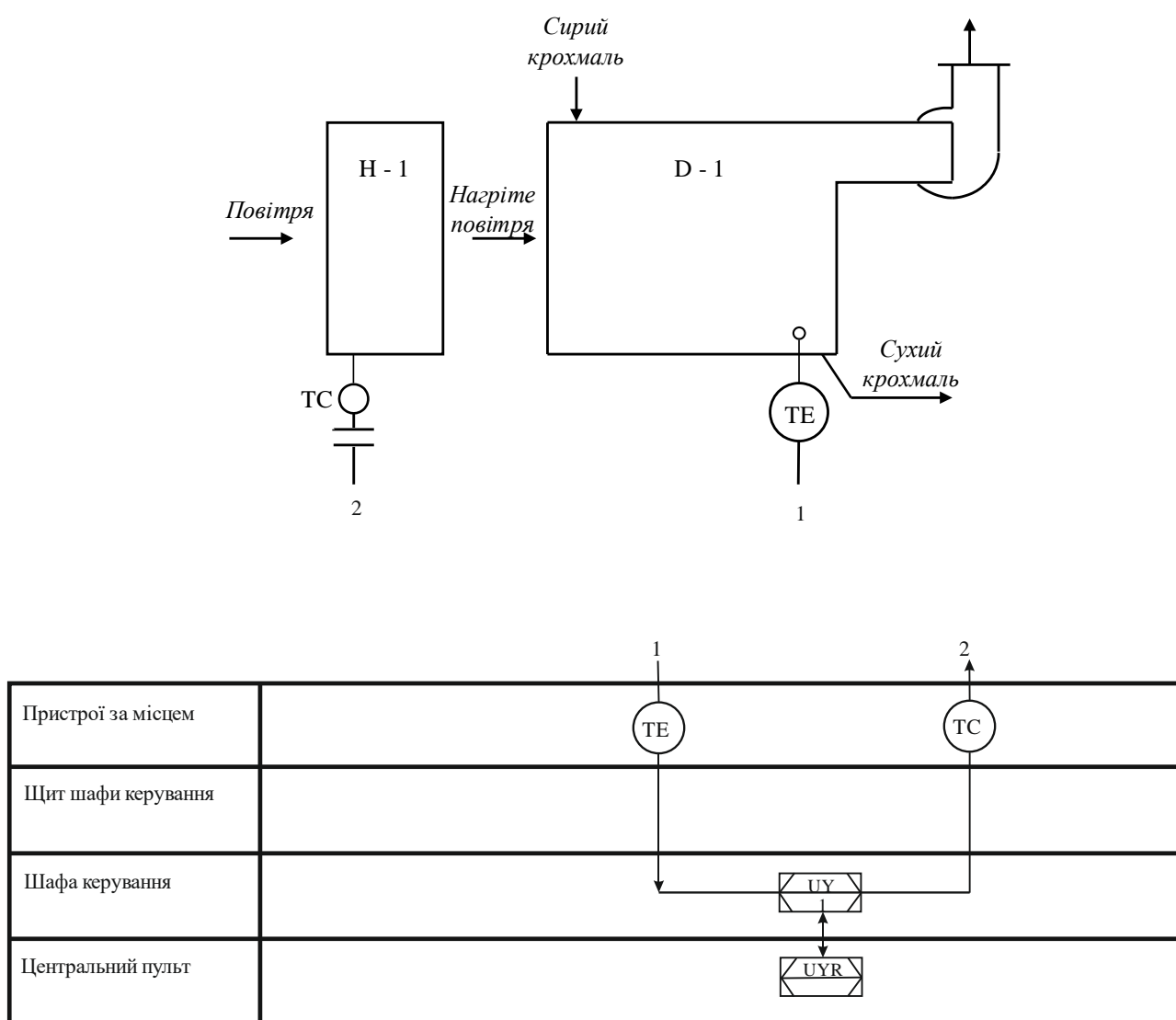


Рисунок 2.10 – Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сушіння крохмалю

Температура крохмалю на виході пневматичної сушарки вимірюється за допомогою термоперетворювача (ТЕ 1-1 – ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.160.И[1]) для оцінки похибки керування процесом сушіння крохмалю. Мікропроцесорний контролер на підставі статичної характеристики об'єкту керування та значення вологості крохмалю на вході до пневматичної сушарки розраховує значення температури повітря, яку необхідно подати до сушарки. Розраховане значення температури повітря подається до блоку автоматики парового калориферу (ТС – Блок автоматики калорифера) у вигляді сигналу інтерфейсу RS-485, протокол Modbus, який задає положення регульованого клапана подачі пару до калориферу.

2.5 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми автоматизації технологічного процесу, апаратного забезпечення для керування температурою нагріву крохмалю було створено перелік елементів та схему електричну принципову системи керування сушінням крохмалю (рисунок 2.11) (Додаток А).

Система використовує два джерела живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1 і G2). Перше джерело живлення (G1) підключено до модуля аналогового вводу-виводу VIPA 234-1BD50 (A2), а друге джерело живлення (G2) підключено до програмованого логічного контролера VIPA 214-2BE03 (A1). Зв'язок між блоком автоматики калорифера (ТС) та програмованим логічним контролером (A1) виконується через модуль послідовного інтерфейсу VIPA CP 240-1CA20 (A0) цього контролера. Робочі параметри системи керування можна встановити за допомогою персонального комп'ютера, який виконує роль операторської консолі. Зв'язок між програмованим логічним контролером (A1) і персональним комп'ютером здійснюється через інтерфейс Ethernet.

Температура крохмалю на виході пневматичної сушарки вимірюється за допомогою термоперетворювача ОВЕН (ТЕ – ОВЕН ДТС035М–50М.0,5.160.И). Струмний сигнал 4-20 мА термоперетворювача підключений до модуля аналогового вводу/виводу (A2) програмованого логічного контролера (A1).

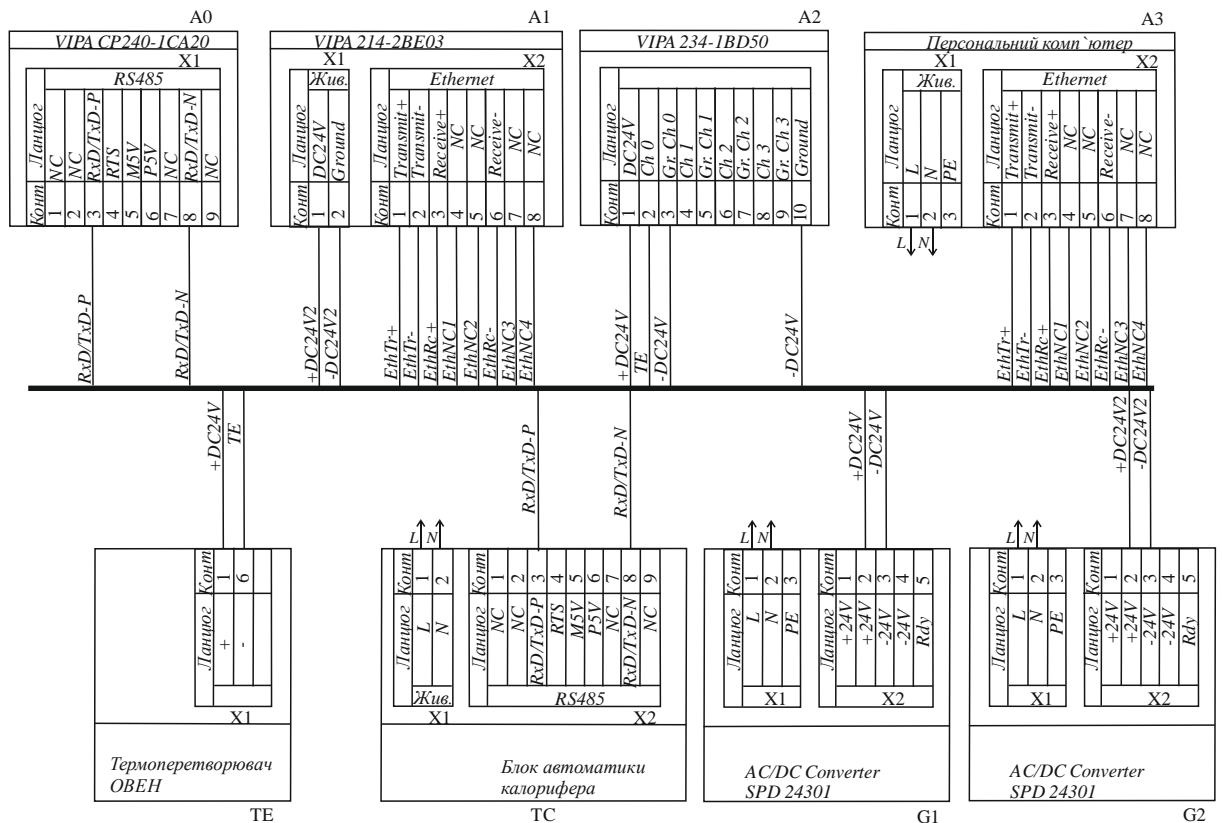


Рисунок 2.11 – Схема електрична принципова системи автоматизації технологічного процесу сушіння крохмалю.

Температура повітря, що надходить до блоку автоматики калорифера пневматичної сушарки встановлюється програмованим логічним контролером (A1) через модуль послідовного інтерфейсу VIPA CP 240-1CA20 (A0), на який подається сигнал інтерфейсу RS-485, використовується протокол Modbus для завдання температури агенту сушіння через блок автоматики парового калорифера (TC).

2.6. Висновки по розділу

Виходячи з вимог до системи автоматичного керування процесом сушіння крохмалю, були розроблені креслення, підібрано обладнання з автоматизації та підготовлена технічна документація: функціональна схема автоматизації, схема електрична принципова та перелік елементів.

Основою системи автоматичного керування є сучасний промисловий контролер VIPA System 200V (Німеччина).

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1. Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

Система Zenon SCADA [17] має людино-машинний інтерфейс і програмний програмований логічний контролер (рис. 3.1).

Через людино-машинний інтерфейс ви можете регулювати діапазон керуючого впливу та фактичне значення. Крім того, людино-машинний інтерфейс може відображати ці значення у вигляді трендів.

Керуючі входи, що генеруються в середовищі виконання, перетворюються з фізичних одиниць в цифрові значення в діапазоні 0-27648 і надсилаються до віддаленої системи вводу/виводу через канал зв'язку. Система дистанційного вводу/виводу використовує цифро-аналоговий перетворювач для перетворення електричних значень в діапазоні 0-10 В і подачі їх на виконавчий механізм об'єкта контролю. Фактичне значення контрольованого об'єкта вимірюється датчиками з діапазоном 4-20 мА. Це електричне значення перетворюється в цифрове значення в діапазоні 0-27648 за допомогою аналого-цифрового перетворювача в системі віддаленого вводу/виводу, яке передається в середовище виконання по каналу зв'язку, де значення перетворюється в фізичні одиниці і відображається на людино-машинному інтерфейсі.



Рисунок 3.1 – Структура системи дослідження об'єкта керування

3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування

З опису випливає, що система дослідження керованого об'єкта дозволяє генерувати довільні форми керуючих впливів, які потім можуть бути застосовані до входу керованого об'єкта, так що керований об'єкт може бути досліджений активними експериментальними засобами, які дозволяють ідентифікувати керований об'єкт і отримати математичну модель керованого об'єкта.

План експерименту.

1. Динамічна характеристика
 - 1.1 Приведення системи до початкового стану (дійсне вхідне значення температури крохмалю складає 10°C , що дорівнює температурі повітря)
 - 1.2 Запуск системи реєстрації даних
 - 1.3 Подача східчастого керуючого впливу зі значенням 150°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 крохмалю складає 10°C)
 - 2.2 Запуск системи реєстрації даних
 - 2.3 Подача східчастого впливу зі значенням 30°C або 20%
 - 2.4 Очікування завершення перехідного процесу
 - 2.5 Подача східчастого впливу зі значенням 60°C або 40%
 - 2.6 Очікування завершення перехідного процесу
 - 2.7 Подача східчастого впливу зі значенням 90°C або 60%
 - 2.8 Очікування завершення перехідного процесу
 - 2.9 Подача східчастого впливу зі значенням 120°C або 80%
 - 2.10 Очікування завершення перехідного процесу
 - 2.11 Подача східчастого впливу зі значенням 150°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 крохмалю складає 10°C)
 - 3.2 Запуск системи реєстрації даних
 - 3.3 подача східчастого впливу зі значенням 150°C або 100%
 - 3.4 Очікування завершення перехідного процесу
 - 3.5 подача східчастого впливу зі значенням 0°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 крохмалю складає 10°C)
 - 4.2 Запуск системи реєстрації даних
 - 4.3 подача східчастих впливів тривалістю 2000 с з випадково обраними значенням від 0 до 100% протягом 80000 секунд
 - 4.4 вимкнення системи реєстрації даних.

3.3 Виконання експерименту

Для отримання динамічної характеристики увімкніть систему керування та реєстратор реальних значень після того, як система перейде в початковий стан. Потім застосуйте ступінчасту дію зі значенням 100% і дочекайтеся завершення перехідного стану, після чого вимкніть реєстратор даних, щоб отримати динамічну характеристику (рис. 3.3).

Для отримання П-подібних характеристик встановіть систему в початковий стан, увімкніть логгер і застосуйте ступінчастий ефект зі значенням 100%. Дочекайтеся завершення перехідного процесу, потім застосуйте ступінчастий ефект зі значенням 0 і вимкніть реєстратор даних після досягнення стаціонарного стану для отримання П-подібних характеристик (рис. 3.4).

Для отримання статичної характеристики застосуйте ступінчасту дію зі значенням 0, щоб вивести систему в усталений стан, і дочекайтеся завершення перехідного процесу. Потім запусіть реєстратор даних, застосуйте ступінчастий вплив зі значеннями 20%, 40%, 60%, 80% і 100% і дочекайтеся завершення перехідного стану після кожного керуючого впливу. Після цього вимкніть реєстратор даних і отримайте дані для статичної характеристики (рис. 3.5).

Для отримання тестових даних систему переводять у початковий стан і вмикають реєстратор. Потім з інтервалом 2000 секунд подається ступінчастий вплив з випадковими значеннями 0-100 %; через 80 000 секунд реєстратор вимикається і знімаються тестові дані (рис. 3.7).

3.4 Обробка результатів експерименту

3.4.1 Підготовка даних

Експериментальні дані, отримані з SCADA-системи Zenon, представлені у вигляді текстових файлів, що містять ряд відповідних значень параметрів і міток часу. Ці дані були імпортовані в математичний пакет MATLAB у вигляді змінних (рис. 3.2) та за допомогою функції інтегрування.

Name ▲	Value	Min	Max
Check_Input	12001x1 double	7.0567	140.20...
Check_Output	12001x1 double	10	56.2545
Check_Raw	12001x1x1 iddata		
Dynamic_Input	12001x1 double	0	150
Dynamic_Output	12001x1 double	10	59.5000
Dynamic_Raw	12001x1x1 iddata		
P_Input	12001x1 double	0	150
P_Output	12001x1 double	10	59.4499
P_Raw	12001x1x1 iddata		
Static_Input	12001x1 double	0	150
Static_Output	12001x1 double	10	59.4778
Static_Raw	12001x1x1 iddata		
ext	'srx'		

Рисунок 3.2 – Таблиця з файлами даних

Виміряні значення отриманих даних містять статичну складову при температурі 10 °С (температура крохмалю на вході), тому для цілей ідентифікації значення зменшуються на цю величину:

```
>> Dynamic_Output = Dynamic_Output - 10;
>> Static_Output = Static_Output - 10;
```

```
>> P_Output = P_Output - 10;  
>> Check_Output = Check_Output - 10;
```

Щоб перетворити всі дані, потрібно виконати в командному вікні наступну послідовність дій:

```
>> 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 випробування на П-подібний вплив, можна розділити на два вектори. Перший вектор відображає реакцію випробуваного об'єкта при зміні керуючого впливу від 0 до 150°C або 100%, а другий вектор відображає реакцію при зміні керуючого впливу від 150°C або 100% до 0.

3.4.2 Структурна ідентифікація

Аналіз динамічних характеристик (рис. 3.3) показує, що існує час транспортної затримки для появи вихідного сигналу. Цей час затримки передачі складається з часу нагрівання теплообмінника, часу затримки нагрівання повітря, що подається в сушарку, передачі гарячого повітря від теплообмінника до пневматичної сушарки або часу затримки нагрівання сушарки та часу затримки нагрівання крохмалю в сушарці, що становить близько 150 секунд.

На динамічних характеристиках чітко видно один перегіт, з якого можна зробити висновок, що об'єкт має чітку траєкторію. Таким чином, модель об'єкта керування може бути виражена у вигляді аперіодичної ланки першого або вищого порядку.

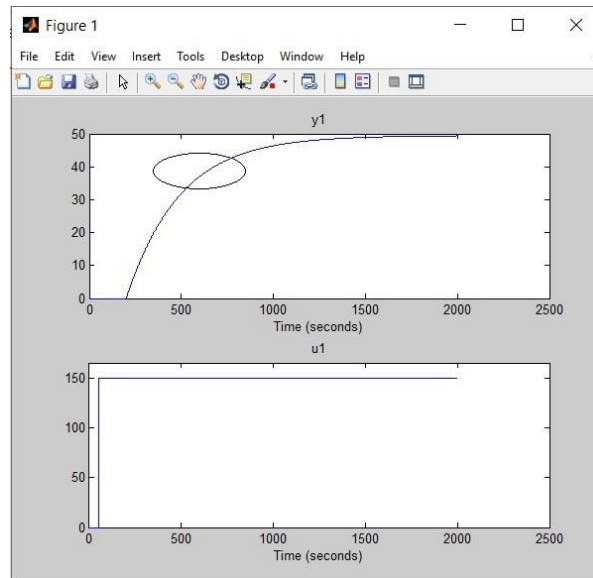


Рисунок 3.3 – Аналіз динамічної характеристики

Аналіз характеристик, отриманих при використанні П-подібного керуючого впливу (рис. 3.4), показує, що вимірні значення збільшуються при зміні керуючого впливу від 0 до 150 °С або 100% і зменшуються при зміні керуючого впливу від 150 °С або 100% до 0. З цього можна зробити висновок, що шар крохмалю керованої сушарки є самовирівнюваним і не має інтегральних характеристик.

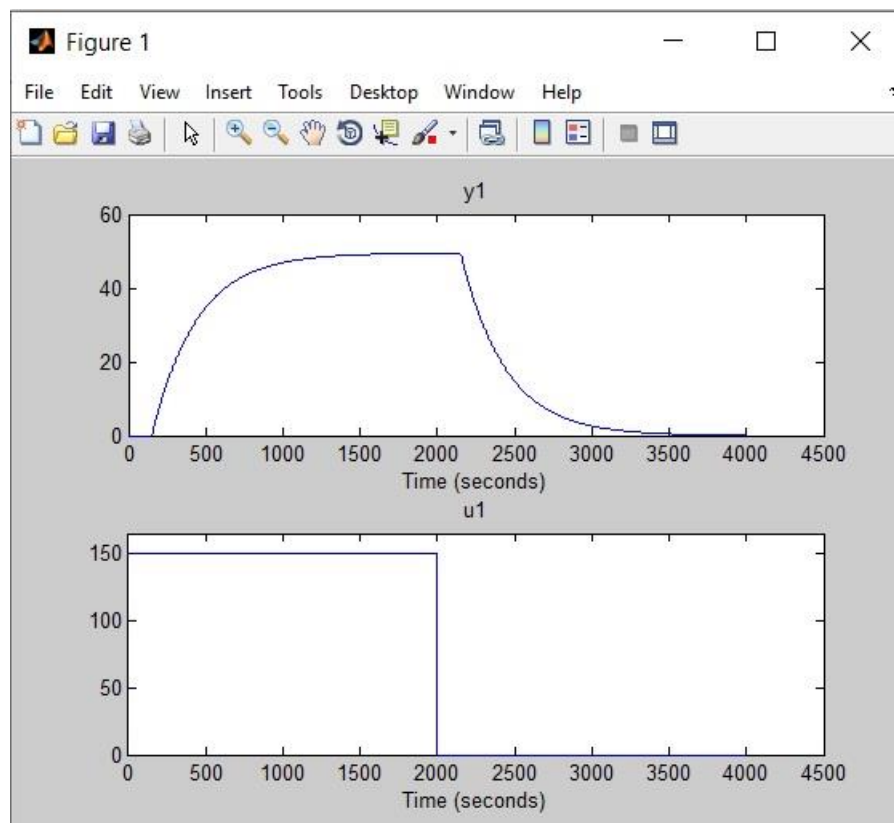


Рисунок 3.4 – Аналіз П-образної характеристики

Перевірка об'єкта керування на симетричність

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

```
ans =
```

```
0.0187
```

Діапазон зміни вихідної величини об'єкта керування становить 49.45, тому значення отриманого середньоквадратичного відхилення різниці 0.0187 становить менше 1% (0.4945) від діапазону. З цього можна зробити висновок, що об'єкт керування є симетричним і модель може бути використана для моделювання процесів, пов'язаних зі збільшенням або зменшенням фактичної величини.

Значення були отримані для побудови статичних характеристик за допомогою інструментів редагування графіків у середовищі MATLAB (рис. 3.5).

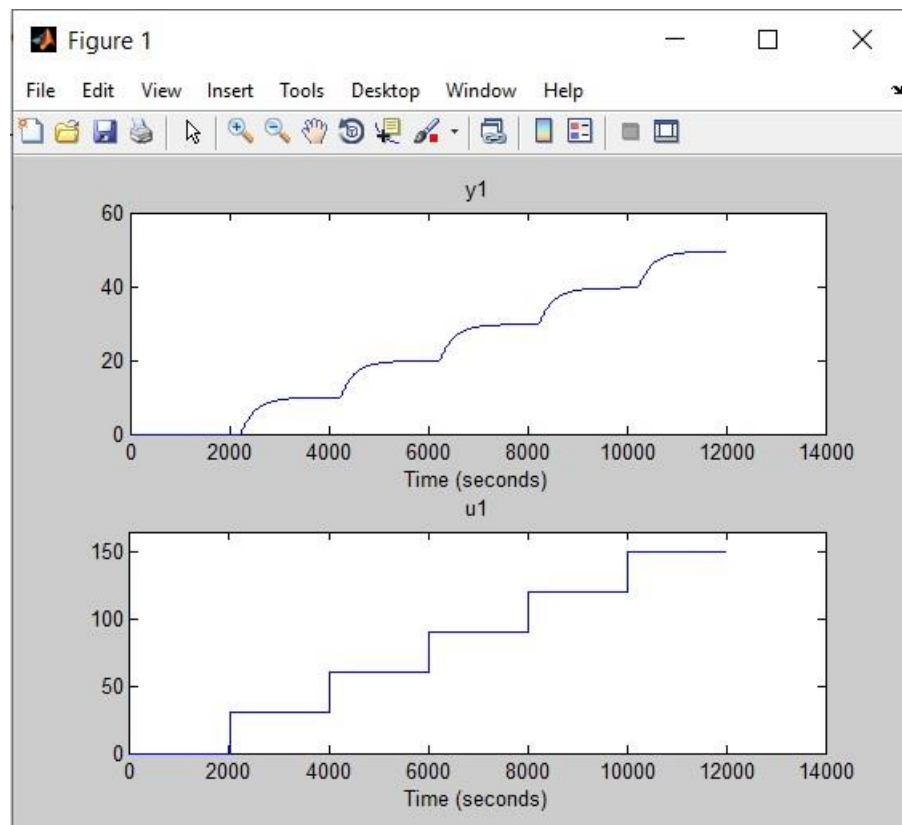


Рисунок 3.5 – Дані для побудови статичної характеристики

На основі отриманих даних були побудовані статичні характеристики (рис. 3.6):

```
>> Static_Input_Vector = [ 0 30 60 90 120 150];
>> Static_Output_Vector = [ 0 9.9 19.8 29.7 39.6 49.5];
>> plot(Static_Input_Vector, Static_Output_Vector, '-ok', 'LineWidth', 3)
```

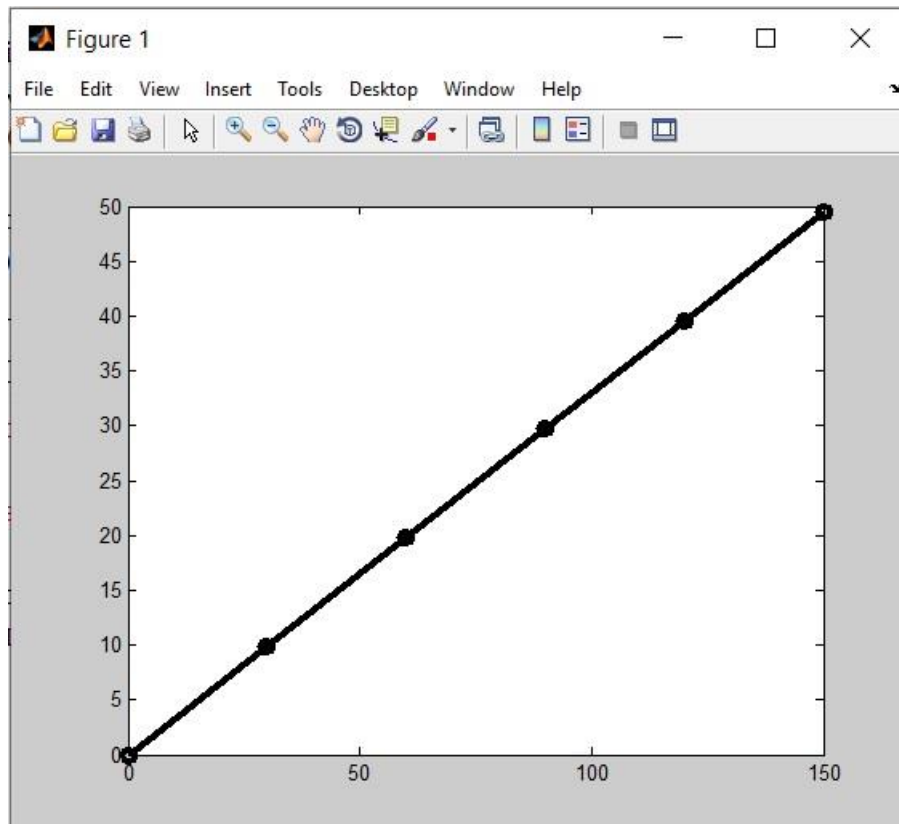


Рисунок 3.6 – Статична характеристика

Оскільки статичний характер об'єкта керування є лінійним, можна зробити висновок, що об'єкт керування також є лінійним у всьому діапазоні 0–150 °С або 100% керуючого впливу.

З аналізу експериментальних даних можна зробити висновок, що об'єкт керування можна представити як аперіодична ланка першого порядку або вищого порядку із запізненням:

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{Tp + 1}, \quad (3.1)$$

де $W(p)$ – передаточна функція об'єкту керування; T – постійна часу; k – коефіцієнт підсилення, τ_0 – час запізнення.

Дані валідації графічно проілюстровані на рисунку 3.7.

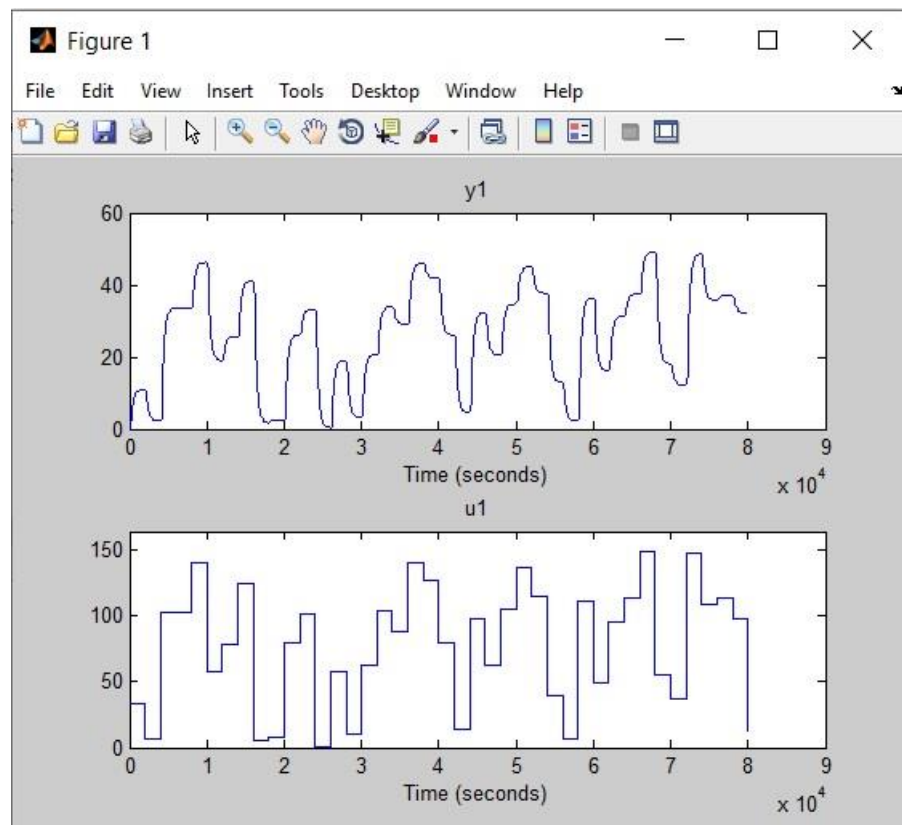


Рисунок 3.7 – Приклад перевірочних даних

3.4.3 Параметрична ідентифікація

Програмне забезпечення Matlab "System Identification Toolbox" використовується для розрахунку параметрів моделі аперіодичними ланками першого та другого порядку з запізненням (рис. 3.8 – 3.10).

Process Models

Model Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + T_p1 s)}$$

Poles

1 All real

Zero
 Delay
 Integrator

Parameter	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	0.33395	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	429.1053	Auto	[0 349782.4]
Tp2	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	30	Auto	[0 30]

Initial Guess

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

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

Display progress
 Continue

Name: PID
 Estimate Close Help

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

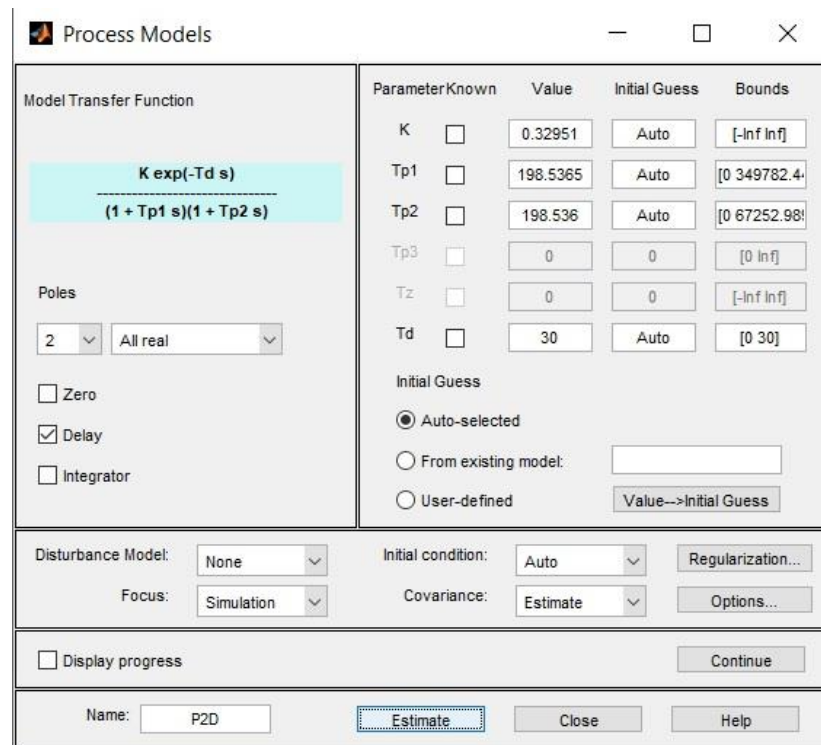


Рисунок 3.9 – Розрахунок параметрів для аперіодичної ланки другого порядку з запізненням

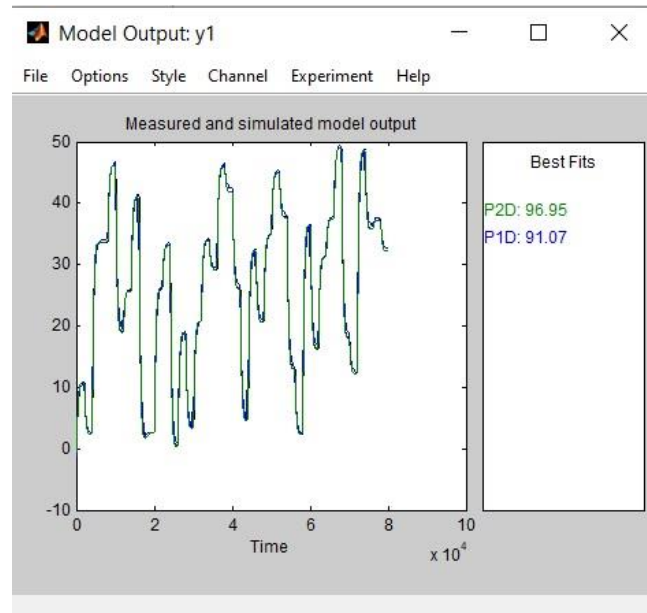


Рисунок 3.10 – Оцінка моделей по перевірочним даним

Як видно з оцінок, модель першого порядку краще узгоджується з тестовими даними.

Проаналізувавши значення коефіцієнта підсилення та часу запізнення, можна зробити висновок, що раніше отриманий час запізнення є меншим. Після

корекції часу затримки було отримано параметри з вищим ступенем відповідності (рис. 3.11 та 3.12).

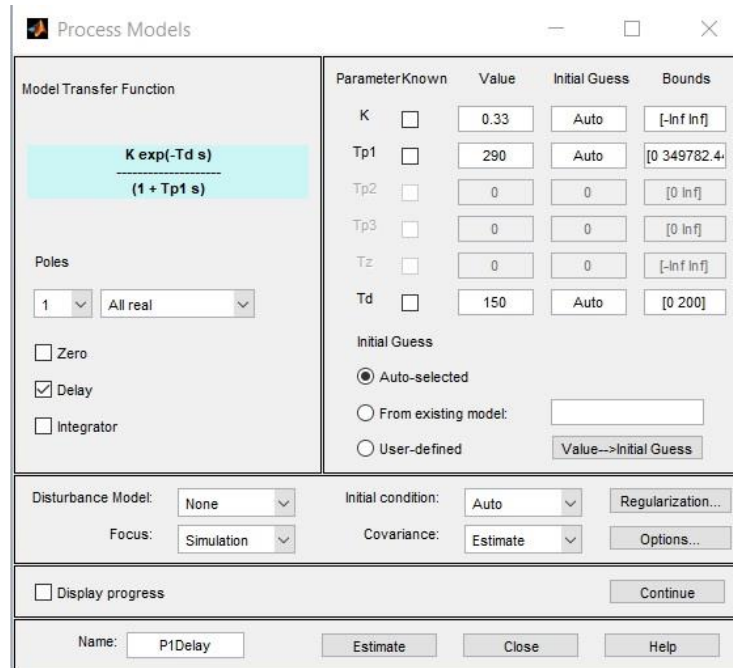


Рисунок 3.11 – Параметри для аперіодичної ланки першого порядку з запізненням

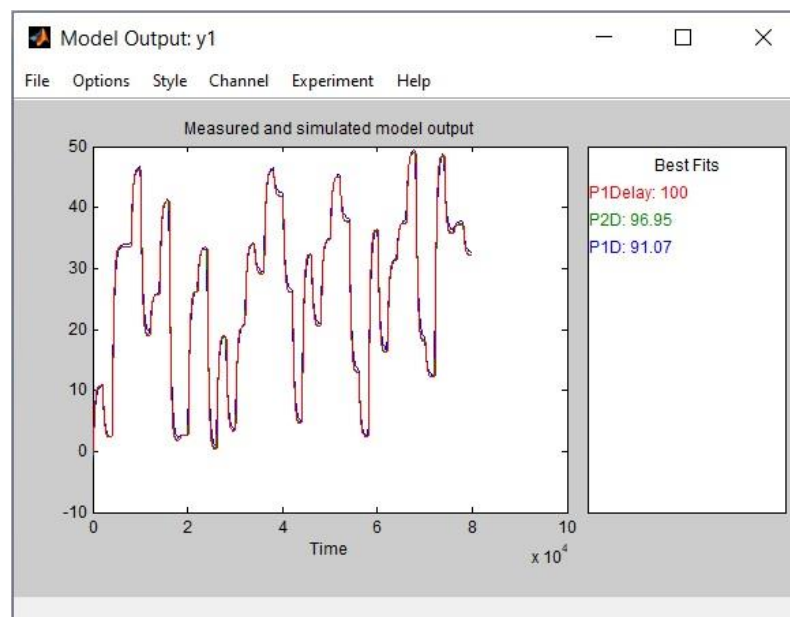


Рисунок 3.12 – Оцінка моделей по перевірочним даним

Значення параметрів моделі об'єкта, отримані за результатами параметричної ідентифікації, представлені в табличній формі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Значення параметрів моделей

Найменування	P1D	P1Delay	P2D
k	0.33395	0.33	0.32951
T₁, с	429,11	290	198.54
T₂, с	-	-	198.54
τ, с	30	150	30
Динамічна характеристика			
NRMSE, %	84.68	100	94.46
FPE	4.963	3.151e-25	0.6058
MSE	3.561	6.157e-25	0.4663
Перевірочні дані			
NRMSE, %	91.07	100	96.95

Як видно з отриманих оцінок, нова модель першого порядку краще узгоджується з тестовими даними, ніж інші моделі (100% проти 96,95% або 91,07%). На основі цього можна зробити висновок, що аперіодична ланка першого порядку з запізненням 150 секунд є найбільш придатним для досліджуваного тестового об'єкта.

На основі цього дослідження були визначені характеристики передачі по каналу регулювання "температура агенту сушіння – температура крохмалю" пневматичної сушарки крохмалю ПС-15 і встановлено, що вони мають наступне рівняння (3.2) з коефіцієнтом збігу близько 100%.

$$W(p) = \frac{0.33e^{-150p}}{290p + 1} \quad (3.2)$$

3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Графік виміряного істинного значення об'єкта керування накладається на графік моделі об'єкта керування, отриманої в програмному забезпеченні System Identification Toolbox, та на графік моделі об'єкта керування, побудованої на основі передаточної функції. Таким чином, модель, отримана в середовищі

моделювання Simulink (рис. 3.13, 3.14), не відрізняється від моделі, отриманої в програмному забезпеченні System Identification Toolbox.

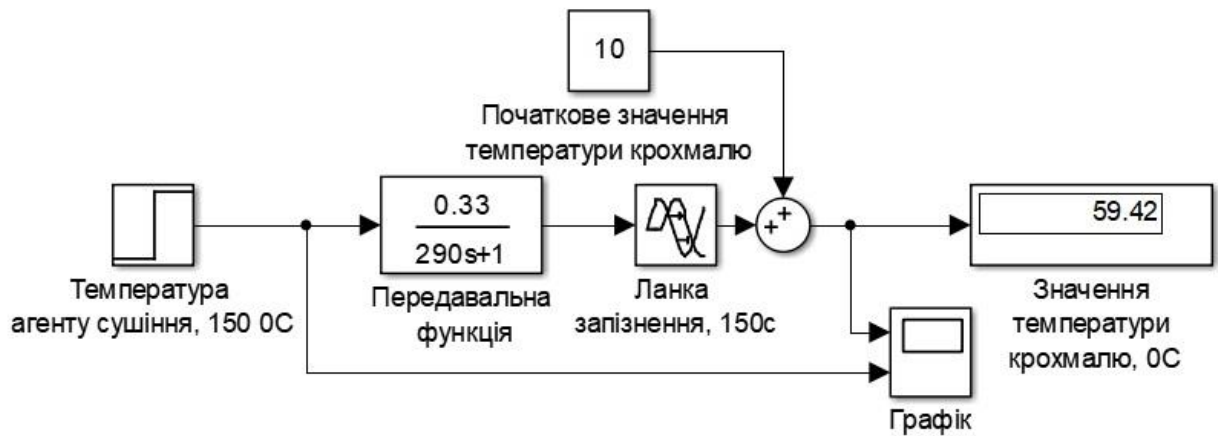


Рисунок 3.13 – Модель об'єкта керування у Simulink

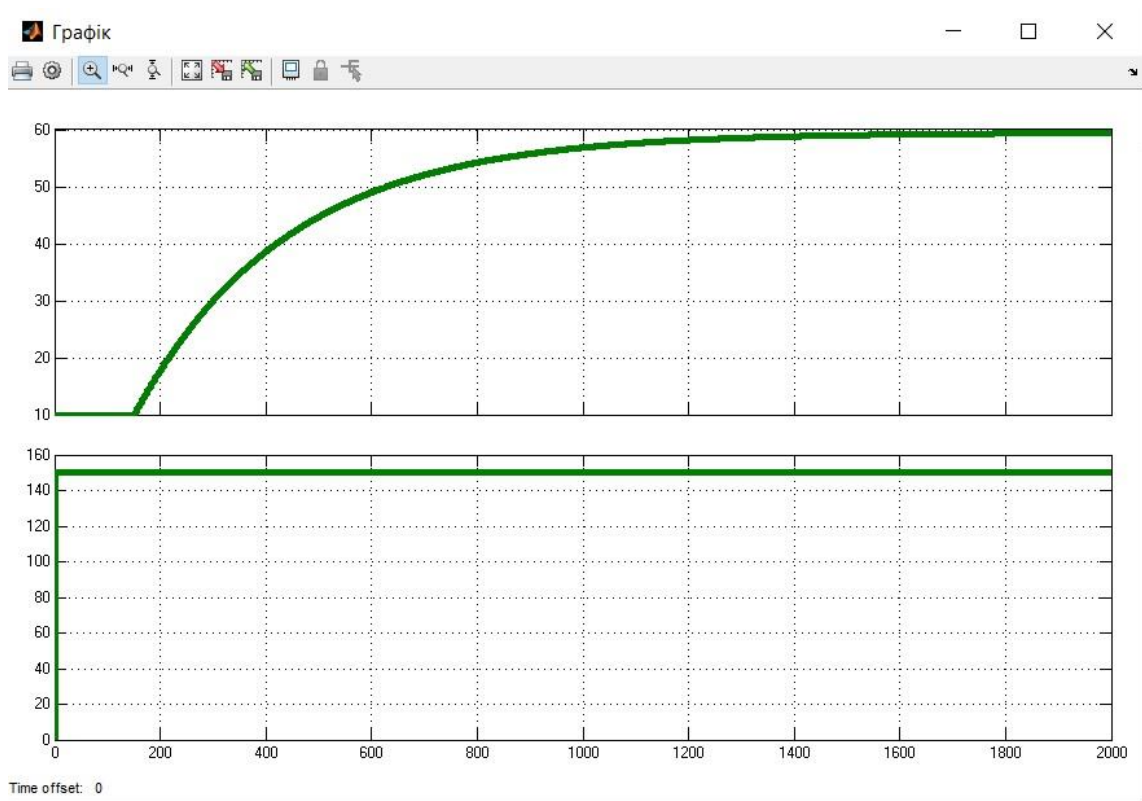


Рисунок 3.14 – Графік динамічної характеристики об'єкта керування

3.4.5 Перевірка моделі на адекватність

Модель Simulink використовується для перевірки відповідності моделі, що тестується (рис. 3.15).

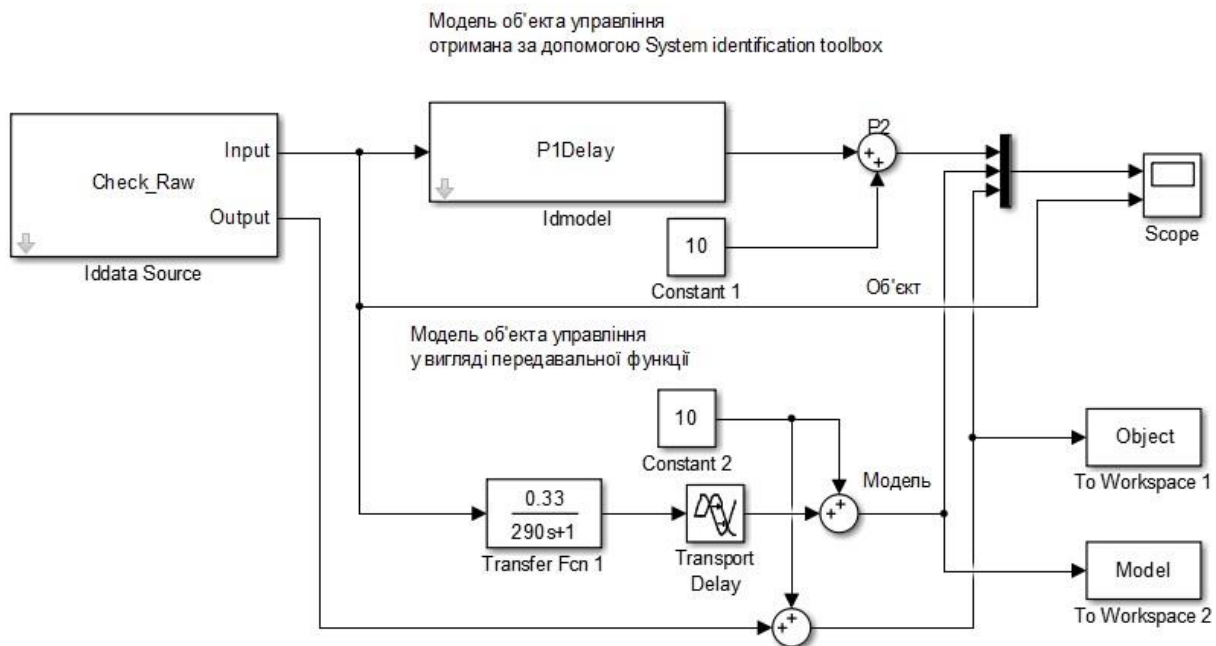


Рисунок 3.15 – Модель Simulink перевірки на адекватність
Графічне представлення моделі об'єкту у Simulink, що використовується
для перевірки придатності моделі (рис. 3.16).

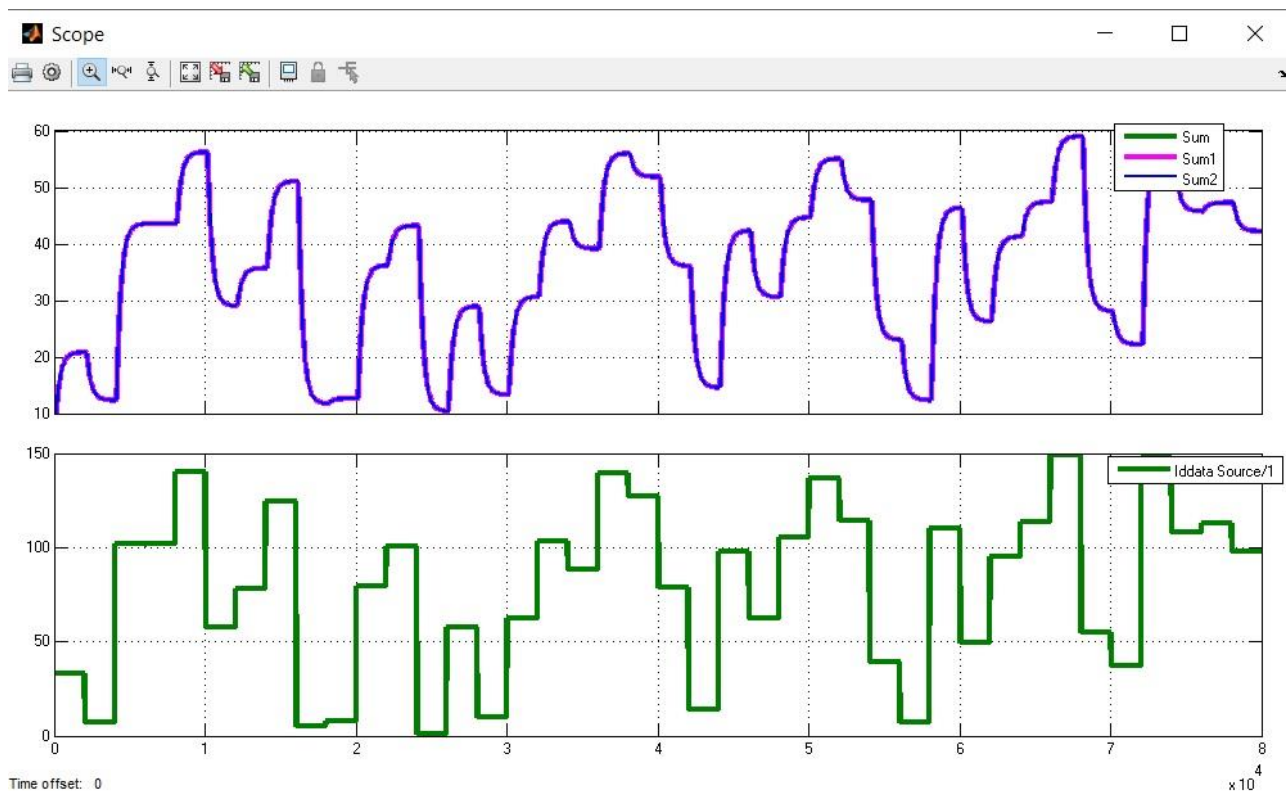


Рисунок 3.16 – Графік результату порівняння моделей

Результати оцінки відповідності моделі об'єкта з нормованою середньоквадратичною похибкою "NRMSE" в Matlab

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

```
nrmse =
```

```
99.9885
```

В результаті модель тестового зразка відповідає 99,9885% тестовим даним. Отже, модель є придатною і може бути використана для моделювання тестового об'єкта та системи керування в цілому.

3.5. Висновки по розділу

Розроблено методику дослідження досліджуваного об'єкта – пневматичної сушарки крохмалю ПС-15 по каналу керування "температура агенту сушіння – температура крохмалю на виході".

Проведені експерименти, обробка результатів та визначення структури показали, що об'єкт керування має транспортне запізнення, динамічна характеристика має один перегін, об'єкт керування самовирівнюється та не має інтегральної складової, об'єкт керування симетричний, об'єкт керування лінійний у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 150°C,

Параметрична ідентифікація об'єкта керування за допомогою програмного забезпечення System Identification Toolbox показала, що модель першого порядку із запізненням 150 секунд найкраще відповідає експериментальним даним, ніж інші моделі.

Використовуючи оцінку нормованого середньоквадратичного відхилення встановлено, що отримана модель об'єкта керування відповідає експериментальним даним на 99,9885%.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі розглядаються питання автоматизації технологічного процесу сушіння крохмалю.

Автоматизація спрямована на підвищення продуктивності виробництва в цілому, оскільки для виробництва такої ж кількості кінцевого продукту потрібно менше працівників і часу.

Суттєвою проблемою виступає те, що повна або часткова автоматизація призводить до звільнення робочих, але в той же час є те, вона призводить до створення робочих місць у таких сферах, як виробництво засобів автоматизації, дослідження, розробка сучасного програмного забезпечення для цих систем.

Однак все ще існують побоювання щодо соціальних та економічних наслідків швидкого переміщення робочих місць, пов'язаних з автоматизацією та глобалізацією. Автоматизація необхідна для того, щоб залишатися конкурентоспроможною на міжнародному рівні. Якщо одна країна не автоматизує, виробництво переміститься в ті країни, які це роблять, а потім отримає порівняльну перевагу. Система автоматичного керування спеціально розроблена під конкретні умови обраного технологічного обладнання і всього допоміжного обладнання, і забезпечує експлуатацію технологічного обладнання з раціональністю, безпекою і надійністю.

Система керування використовує бренд VIPA, з архітектурою програмного забезпечення PLC та промисловою мережею Ethernet. Візуалізація в системі керування розроблена буде розроблена таким чином, щоб мати яскраві візуальні ефекти та динаміку. Всі елементи обладнання, що мають відобразитися на інтерфейсі - аналогічні фактичному вигляду обладнання і кресляться з відповідним програмним забезпеченням конфігурації. Всі елементи ходового обладнання ілюструватимуться зміною кольору, напрямком обертання і індикацією потоку.

Розроблювана система керування має наступні переваги: система керування виконана на промисловому PLC; присутній постійний контрольований зв'язок з отримання сигналу з польових приладів з перетворювачами частоти і т. п.; присутній зв'язок з іншими системами керування; повна комп'ютеризована високоточна настройка параметрів технологічного процесу; низькі вимоги до оператора.

4.2 Розрахунок капітальних витрат

Витрати на автоматизацію для фірм вимагають значних капіталовкладень, а вигоди можуть зайняти кілька років, щоб перевищити поточні показники виробництва. Відсутність інвестицій в автоматизацію може викликати слабке зростання продуктивності праці. Рентабельність інвестицій при прагненні автоматизувати виробничі процеси переважає причини не інвестувати. Загальна цінність автоматизації полягає в зниженні витрат і збільшенні доходів.

Розрахуємо капітальні витрати:

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

де $K_{\text{ПКВ}}$ – капітальні витрати для системи автоматизації, грн.; $C_{\text{ОБ}}$ – вартість обладнання, грн.; $D_{\text{ТР}}$ – транспортні витрати, грн.; $M_{\text{МН}}$ – витрати на монтаж, грн.; $K_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку ПЗ, грн.

Вартість обладнання системи автоматизації наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на обладнання для системи автоматизації

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль контролеру VIPA 214-2BE03	од.	1	17 160,00	17 160,00
2	Модуль комунікаційного процесора VIPA 240-1CA20	од.	1	5 800,00	5 800,00
3	Модуль аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD50	од.	1	11 012,00	11 012,00
4	Модуль живлення 24В SPD24301	од.	2	3 600,00	7 200,00
5	Термоперетворювач ОВЕН ДТС035М-50М.0,5.160.И[1]	од.	1	1 542,00	1 542,00
5	Кабель контрольний КВВГ 4x1	м	20	57,00	1 140,00
6	Кабель віта пара УТР	м	35	35,00	1 225,00
	Разом				45 079,00

Капітальні витрати на закупку обладнання для системи автоматизації складає $C_{OB} = 45\,079,00$ грн.

Транспортно-заготівельні витрати для створення нової системи автоматизації визначаються в залежності від загальної вартості як основного так і допоміжного обладнання, і типова вартість зазвичай складає 8 %:

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

У нашому випадку витрати на транспортно-заготівельні роботи дорівнюють:

$$D_{TP} = 45\,079,00 \cdot 0,08 = 3\,606,32 \text{ (грн.)}.$$

Для розрахунку вартості монтажних-налагоджувальних робіт, скористаємося тим же принципом, що і раніше – вони на пряму залежать від загальної вартості для основного та допоміжного обладнання і як і раніше типова вартість визначається на рівні 7 %:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Таким чином витрати на монтажні-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 45\,079,00 \cdot 0,07 = 3\,155,53 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Капітальні витрати

4.3.1 Час розробки програмного забезпечення

Розробка спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) часто перевищує попередні часові оцінки і, отже, призводять до збільшення бюджету, втрати доходів, втрачених ринкових можливостей, а для підрядчика з розробки ПЗ застосовують штрафні санкції за низький рівень обслуговування. Щоб уникнути цих небажаних результатів, керівники проектів повинні мати структурований підхід до оцінки тривалості проекту. Треба мати підхід, який допомагає давати точні оцінки у своїй практиці розробки програмного забезпечення. Показники розробки програмного забезпечення допоможуть встановити правильні очікування щодо часу і вартості процесу розробки програмного забезпечення.

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) для нашого випадку розраховується як:

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

де t – час розробки ПЗ (люд.-год.); t_o – час підготовки до поставленого завдання (люд.-год.); t_u – час на вибір оптимального алгоритму для системи керування (люд.-год.); t_a – час розробки схеми алгоритму (люд.-год.); t_n – час на програмування по схемі алгоритму (люд.-год.); t_h – час на налаштування ПЗ (люд.-год.); t_g – час на підготовку документації по завданню (люд.-год.).

Складові часу визначаються за кількістю команд у ПЗ:

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

де Q – фінальна кількість команд ПЗ; q – кількість команд ПЗ на мові Structured Text (200... 400, приймаємо $q = 355$); c – коефіцієнт складності ПЗ (приймаємо $c = 1,6$); p – коефіцієнт корекції ПЗ (приймаємо $p = 0,4$).

Для ПЗ, що розробляється, складові часу становитимуть:

$$Q = 355 \cdot 1,6 \cdot (1 + 0,4) \approx 796 \text{ операторів}$$

Час на підготовку ПЗ складає $t_o = 36$ (люд. – год.).

Час на вивчення завдання буде:

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

де B – коефіцієнт збільшення часу (1,2...2,0, приймаємо $B = 1,7$);
 k – коефіцієнт кваліфікації програміста (1,0...4,0, приймаємо $k = 1,4$).

Для ПЗ, що розробляється, час на вивчення завдання становитиме:

$$t_u = 796 \cdot 1,7 / (82 \cdot 1,4) \approx 12 \text{ (люд. – год.)}$$

Час на розробку алгоритму керування буде:

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

Час на розробку алгоритму керування становитиме:

$$t_a = 796 / (22 \cdot 1,4) \approx 26 \text{ (люд. – год.)}$$

Час праці на складання програми по схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(22 \dots 25) \cdot k} \quad (4.8)$$

Час праці на складання ПЗ по готовій схемі алгоритму становитиме:

$$t_n = 796 / (22 \cdot 1,4) \approx 26 \text{ (люд. – год.)}$$

Час праці на налаштування ПЗ розраховуються як:

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

Час праці на налаштування ПЗ становить:

$$t_h = 796 / (4,5 \cdot 1,4) \approx 127 \text{ (люд. – год.)}$$

Час праці на підготовку документації буде

$$t_g = t_{др} + t_{до}, \quad (4.10)$$

де $t_{др}$ – час підготовки матеріалів;

$t_{до}$ – час на оформлення документації.

Час підготовки матеріалів до написання визначається як:

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

Час підготовки матеріалів до написання становить:

$$t_{др} = 796 / (17 * 1,4) \approx 34 \text{ (люд. - год.)}.$$

Час оформлення документації буде:

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}. \quad (4.12)$$

Час оформлення документації буде:

$$t_{до} = 0,75 * 34 = 26 \text{ (люд. - год.)}.$$

Для розробленого ПЗ час на підготовку документації по завданню становлять:

$$t_g = 34 + 26 = 60 \text{ (люд. - год.)}.$$

Таким чином час розробки ПЗ буде:

$$t = 36 + 12 + 26 + 26 + 127 + 60 = 287 \text{ (люд. - год.)}$$

4.3.2 Витрати на розробку ПЗ

Витрати для розробки ПЗ системи керування визначаються як:

$$K_{ПЗ} = Z_{зп} + Z_{мч}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де $Z_{зп}$ – заробітна плат (ЗП) розробника ПЗ, грн.; $Z_{мч}$ – вартість машинного часу, грн.

ЗП розробника ПЗ визначається як:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн.}, \quad (4.14)$$

де t – час розробки ПЗ, год; $C_{пр}$ – годинна тарифна ставка розробника ПЗ (приймаємо $C_{пр} = 180$ грн./год.).

ЗП розробника ПЗ становить:

$$Z_{зп} = 287 * 180 = 51\,660,00. \text{ грн.},$$

Вартість машинного часу буде:

$$Z_{мч} = t_n \cdot C_{мч}, \text{ грн.}, \quad (4.15)$$

де t_n – час налаштування ПЗ, год;

$C_{мч}$ – вартість машинного часу (приймаємо $C_{мч} = 25,5$ грн./год.).

Вартість машинного часу буде:

$$З_{\text{МІ}} = 26 * 25,5 = 663,00 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку ПЗ системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 51\,660,00 + 663,00 = 52\,323,00 \text{ грн.}$$

Час розробки програмного забезпечення:

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

де T – час розробки ПЗ (міс.);

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

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

$$T = 287 / (1 * 176) = 1,86 \approx 1,7 \text{ (міс.)}$$

Час розробки ПЗ становить:

$$K_{\text{ПКВ}} = 45\,079,00 + 3\,606,32 + 3\,155,53 + 52\,323,00 \approx \\ \approx 104\,163,85 \text{ грн.}$$

4.4 Експлуатаційні витрати

У обліку експлуатаційних витрат розраховують витрати, пов'язані з вартістю роботи та вартістю процесу.

Процесна калькуляція собівартості зазвичай використовується для визначення того, скільки коштує стандартизація або масове виробництво товарів, оброблених аналогічно, оптом або у величезних обсягах. Витрати визначаються на кожному кроці процесу. Таким чином, виробничі або виробничі компанії можуть оцінити, скільки коштує виробництво продукту. Різні відділи, такі як команда розробників продукції, складальний відділ та відділ доставки та прийому, мають різні витрати, пов'язані з виробництвом одиниці продукції. Тому, у міру проходження продукту різними стадіями виробництва, витрати можуть бути ідентифіковані і додані, процес за процесом. Це дозволяє компанії відстежувати загальні витрати і загальні запаси продукції для безперервного технологічного виробництва.

І навпаки, калькуляція собівартості використовується для з'ясування витрат на виготовлення виробу. До цього методу обліку включаються матеріали, витрати на оплату праці та накладні витрати. Виявлення витрат допомагає бізнесу визначити відповідну ціну за продаж товару. Знання загальної вартості роботи також допомагає компанії реалізувати потенційний

прибуток і зрозуміти ціновий діапазон для підтримки прибуткового і конкурентоспроможного бізнесу. Це поширене явище для індивідуальних або спеціально виготовлених продуктів.

Для нашого випадку річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{PO} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (4.17)$$

де C_e – поточні витрати для системи керування, грн.; C_a – амортизація основних фондів, грн.; C_3 – ЗП обслуговуючого персоналу, грн.; C_c – відрахування на соц. заходи, грн.; C_{PO} – витрати на обслуговування та ремонт обладнання, грн.; C_{ee} – вартість електроенергії, грн.; $C_{\text{ІНШ}}$ – інші витрати, грн.

4.4.1 Відрахування на амортизацію

Обладнання належить до 4 групи (машини та обладнання), термін експлуатації - 5 років. За методом прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

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

де H_a – норма амортизації, %; T – час 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 проектованої системи керування складає:

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

Амортизації становить:

$$C_a = 104\,163,85 \cdot 40 / 100 = 41\,665,54 \text{ грн.}$$

4.4.2 Фонд заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_K - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_3, \quad (4.20)$$

де $T_{\text{НР}}$ – номінальний річний фонд робочого часу, год.; T_K – календарний фонд робочого часу, днів ($T_K = 365$); $T_{\text{ВС}}$ – вихідні дні та свята, днів ($T_{\text{ВС}} = 114$); $T_{\text{В}}$ – відпустка, днів ($T_{\text{В}} = 21$); T_3 – тривалість зміни, год ($T_3 = 8$).

Річний фонд складе:

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

У процесі експлуатації системи автоматизації для технологічного процесу сушіння крохмалю буде задіяно:

- 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну;
- 1 інженер-технолог на добу.
- 1 наладчик електроустаткування на добу.

Технологічний процес сушіння крохмалю безперервний – 3 зміни на добу. Річний фонд ЗП робітників визначено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок ЗП

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, Години тарифна ставка, грн./год.	Номинальний річний фонд	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.	
1	Оператор НМІ	3	106,50	1 840	587 880,00	47 030,40	41 151,60	676 062,00
2	Інженер-технолог	1	155,50	1 840	286 120,00	22 889,60	20 028,40	329 038,00
3	Наладчик	1	132,40	1 840	243 616,00	19 489,28	17 053,12	280 158,40
Разом							1 285 258,40	

ЗП обслуговуючого персоналу системи керування $C_3 = 1\,285\,258,40$ грн.

4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соц. заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 \cdot 1\,285\,258,40 = 282\,756,85 \text{ грн.}$$

4.4.4 Витрати на обслуговування та ремонт

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання приймаємо на рівні 5 % від капітальних витрат:

$$C_{\text{PO}} = 0,05 \cdot K_{\text{КВ}} \cdot (K_{\text{ПКВ}}) \quad (4.22)$$

Витрати на обслуговування і ремонт становлять:

$$C_{\text{PO}} = 0,05 \cdot 104\,163,85 \text{ грн} = 5\,208,20 \text{ грн.}$$

4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

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

де K_e – кількість електроенергії, приймаємо $K_e = 0,65$ (кВт · год.);
 T_3 – часу роботи за сутки, $T_3 = 24$ (год.); $K_{pд}$ – кількість робочих днів у році, $K_{pд} = 365$ (день); T_e – тариф на електроенергію з урахуванням ПДВ становить $T_e = 2,86 * 1,2 = 3,432$ (грн.).

Вартість електроенергії дорівнює:

$$C_{ee} = 0,65 * 365 * 24 * 3,432 = 19\,541,81 \text{ грн.}$$

4.4.6 Інші витрати

Витрати на охорону праці, спецодяг та інше. Ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду ЗП обслуговуючого персоналу:

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

Таким чином інші витрати будуть:

$$C_{інш} = 0,04 * 1\,285\,258,40 = 51\,410,34 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати будуть (табл. 4.4):

$$C = 41\,665,54 + 1\,285\,258,40 + 282\,756,85 + 5\,208,20 + 19\,541,81 \\ + 51\,410,34 = 1\,685\,841,14 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.3 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	41 665,54
2	Фонд заробітної плати	1 285 258,40
3	Відрахування на соціальні виплати	282 756,85
4	Ремонт та технічне обслуговування	5 208,20
5	Електроенергія	19 541,81
6	Інше	51 410,34
7	Загалом	1 685 841,14

4.5 Висновки за розділом

При впровадженні системи автоматизації для технологічного процесу сушіння крохмалю капітальні витрати становлять 100 тис. грн., час розробки ПЗ близька 1,7 місяці. Річні експлуатаційні витрати становитимуть трохи менше 1,7 млн. грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів процесу сушіння крохмалю

Сушіння крохмалю - це процес видалення вологи з крохмалю, щоб зберегти його та продовжити термін зберігання.



Рисунок 5.1 – Процес сушки крохмалю

Однак, цей процес може бути пов'язаний з декількома шкідливими та небезпечними факторами, такими як:

Пил та випари: Під час сушіння крохмалю утворюється пил та випари, які можуть викликати подразнення дихальних шляхів та очей. Вдихання цих речовин може призвести до проблем з диханням, алергій та інших захворювань.

Висока температура: Під час сушіння крохмалю висока температура може створювати небезпечні умови для працівників, які зайняті в цьому процесі. Занадто висока температура може спричинити тепловий удар, який може бути небезпечним для здоров'я.

Пожежна безпека: Сушіння крохмалю може бути пов'язано з пожежною небезпекою через високу температуру та надмірну кількість пилу. Якщо пил та випари утворюють зайву кількість у повітрі, то це може створити небезпечну ситуацію, яка може призвести до пожежі.

Ризик зараження: Сушіння крохмалю може бути пов'язано з ризиком зараження бактеріями та іншими мікроорганізмами. Якщо установки не

очищені та не дезінфіковані належним чином, то це може призвести до забруднення крохмалю та збільшення ризику інфікування людей.

Шум: Процес сушіння крохмалю може бути пов'язаний з високим рівнем шуму, що може вплинути на погіршення слуху та інші проблеми здоров'я, які пов'язані з впливом шуму.

5.2 Заходи щодо нормалізації умов праці

У наявності пилу є дві основні небезпеки:

- вдихання шкідливих речовин;
- горіння і вибух.

Наслідки вдихання пилу для здоров'я залежать від концентрації борошна в повітрі та тривалості контакту з ним (табл.5.1). Частий вплив низького рівня може не викликати симптомів протягом 30 років. Борошно може містити штучні підсолоджувачі, ароматизатори або барвники. Ці інгредієнти можуть додатково подразнювати ваші дихальні шляхи.

Таблиця 5.1 - Наслідки вдихання пилу для здоров'я

Короткочасний вплив	Нежить, нежить з очей Хрипи, чханья та кашель Задишка
Тривалий вплив	Професійна астма

Як будь-яка органічна речовина, крохмаль є горючим, якщо його подрібнити досить дрібно. Якщо концентрація борошняного пилу в повітрі достатня, а пил знаходиться в обмеженому просторі, проста іскра може спричинити сильний вибух.

Для проведення розрахунку ризику професійної астми можна використовувати методику, яка базується на таких параметрах:

- інтенсивність впливу (C);
- час експозиції (T);
- вразливість (V);

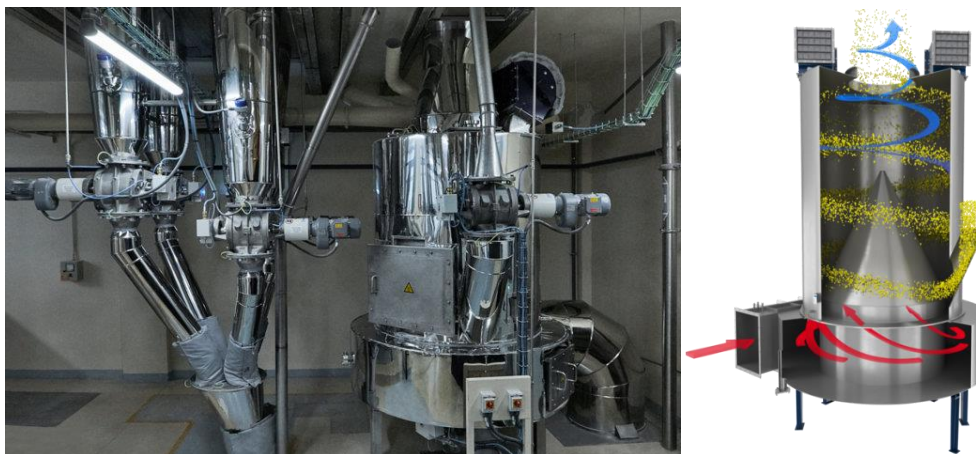
Ризик (R) обчислюється за формулою:

$$R = C \times T \times V \quad (5.1)$$

Для прикладу, розглянемо ситуацію, коли працівники під час сушіння крохмалю працюють 8 годин на день, 5 днів на тиждень, протягом 6 місяців на рік. Інтенсивність впливу пилу та випарів оцінюється на рівні 3 (за шкалою від 1 до 5). Вразливість працівників вважається середньою, оскільки вони застосовують засоби індивідуального захисту. Отже, за формулою:

$$R = C \times T \times V = 3 \times 8 \times 5 \times 6 = 720 \quad (5.2)$$

Отриманий результат 720 означає, що ризик професійної астми для цієї групи працівників може бути помірним, і необхідно вживати додаткових заходів для зменшення впливу пилу та випарів на їхнє здоров'я.



Рисонок 5.2 – Процес сушки крохмалю

Оцінка ризиків пов'язаних з цими факторами залежить від конкретної ситуації на місці роботи, включаючи розмір та тип установок, які використовуються для сушіння крохмалю, та заходи безпеки, які застосовуються для захисту працівників та запобігання небезпечним ситуаціям.

Загальні рекомендації для запобігання небезпечним ситуаціям та зменшення ризиків пов'язаних з цими факторами включають:

Використовуйте вентиляційні системи, щоб зменшити рівень пилу та випарів у повітрі та забезпечити належну циркуляцію повітря.

Дотримуйтеся правил безпеки щодо високих температур та пожежної безпеки, включаючи застосування відповідних захисних засобів та навчання працівників правилам пожежної безпеки.

Регулярно очищуйте та дезінфікуйте установки, щоб запобігти забрудненню крохмалю та ризику зараження.

Застосовуйте заходи безпеки щодо шуму, включаючи захист від шуму та обмеження тривалості впливу шуму на працівників.

Навчайте працівників правилам безпеки та забезпечуйте належне обладнання та інструменти для забезпечення безпеки.

Розрахунок обсягу повітрообміну базується на гігієнічних нормах, вимогах комфортності:

Біологічні виділення від людей різних категорій, які обумовлені його життєдіяльністю (вуглекислий газ (CO₂), неприємні запахи, стічні води, куріння);

Виділення (емісія) від будівельних конструкцій, меблів, килимів (формальдегід, поліефірні смоли, фенол, спори грибків і навіть радіація);

Згідно ДБН В.2.5-67:2013 Україна, мінімальний витрата зовнішнього повітря, за певною квадратурі і кількості людей, визначають згідно з ДСТУ EN 15251 за формулою:

$$Q_{tot} = n * q_p + S * q_v, \quad (5.3)$$

де n - кількість людей; S - квадратура приміщення; q_p - питома витрата зовнішнього повітря на кожного перебуває; q_v - питома витрата зовнішнього повітря, потрібний для розведення концентрацій виділяється меблями, штукатуркою, бетоном, фарбою і ін.

Таблиця 5.2 - Обчислення вентиляції

Умови мікроклімату	Мінімальна витрата повітря для розведення шкідливих речовин від будівельних матеріалів, м ³ /час		
	Низьке забруднення	Середнє забруднення	Високе забруднення
Комфортні	1 260	1 800	2 880
Оптимальні	882	1260	2016
Допустимі	504	720	1152

Для зниження температури потрібно встановити калорифер відповідно таблиці 1 при температурі зовнішнього повітря 22 °С та температурі внутрішнього повітря 36 °С.

Таблиця 5.3 - Обчислення потужності калорифера

Умови мікроклімату	Потужність калорифера, кВт		
	Низьке забруднення	Середнє забруднення	Високе забруднення
Комфортні	5,88	8,44	13,44
Оптимальні	4,12	5,88	9,41
Допустимі	2,35	3,36	5,38

Оцінка шуму на робочому місці проводилась в цеху та наведено на рис. 5.3, відповідно показано розповсюдження шуму від працюючого двигуна. Для оцінки ризику впливу шуму на здоров'я людини враховуються такі фактори, як рівень звуку, тривалість впливу, частотний склад шуму та інші. Згідно зі стандартами, допустимий рівень шуму на робочому місці протягом 8 годин не повинен перевищувати 85 дБА.



Рисунок 5.3 – Оцінка рівня шуму на робочому місці

Для оцінки ризику впливу шуму на здоров'я людини можна використати формулу:

$$L_{\text{доп}} = 85 + 10 \log (t/8), \quad (5.4)$$

де $L_{\text{доп}}$ - допустимий рівень шуму, дБА, t - тривалість впливу в годинах.

В даному випадку, ми маємо рівень шуму на робочому місці 92 дБА протягом 8 годин. Тому, за формулою, допустимий рівень шуму для такого тривалого впливу дорівнює:

$$L_{\text{доп}} = 85 + 10 \log (8/8) = 85 \text{ дБА} \quad (5.5)$$

Отже, рівень шуму на робочому місці з 92 дБА є небезпечним для здоров'я людини і може викликати ризик ураження слуху, зокрема, втрату слуху внаслідок тривалого впливу шуму.

Тому, в даному випадку, ризик впливу шуму може бути оцінений як "значний" або "надзвичайно великий", в залежності від стандартів та вимог щодо рівнів шуму на конкретному робочому місці. Рекомендується вжити заходів для зменшення рівня шуму або захисту від нього, наприклад, використовуючи засоби індивідуального захисту, такі як навушники або вушний шумозахисний пристрій.

Наявність ризику зараження під час сушіння крохмалю залежить від різних факторів, включаючи:

- вихідні матеріали: якщо використовувані для виготовлення крохмалю сировинні матеріали (наприклад, картопля) містять мікроорганізми або токсини, то ризик зараження може бути високим;

- умови сушіння: якщо умови сушіння не дотримуються, наприклад, недостатнє нагрівання або неадекватна вентиляція, то це може призвести до розвитку мікробіологічних інфекцій;

- санітарний стан приміщення: якщо приміщення, де проводиться сушіння крохмалю, не підлягає регулярній очистці і дезінфекції, це може призвести до збільшення ризику зараження;

Для зниження ризику зараження під час сушіння крохмалю рекомендується:

- використовувати тільки якісні вихідні матеріали;
- забезпечити належні умови сушіння, включаючи належне нагрівання та вентиляцію;

- регулярно проводити очищення та дезінфекцію приміщення;

- дотримуватися правил особистої гігієни, включаючи миття рук перед та після роботи з крохмалем;

- використовувати індивідуальний захист, такий як рукавички та маски, при необхідності;

– проводити регулярні моніторинги за наявністю мікроорганізмів та токсинів в крохмалі, для забезпечення відповідного контролю за якістю продукту.

5.3 Пожежна профілактика

Крохмаль горючий, він створює небезпеку вибуху пилу, якщо розсіяний у вигляді дрібного пилу в повітрі в достатній концентрації. Гранули сильно набухають у воді і утворюють колоїдну суспензію. Несумісний з окислювачами, кислотами, йодом, основами. Реагує із сумішами азотної та сірчаної кислот, утворюючи нітрокрохмаль, вибухову речовину. Якщо крохмаль із картоплі витягти й перетворити на порошок, він, як і кукурудзяний крохмаль, стане легкозаймистим (знову ж таки через проблему надходження кисню до поверхні, а також через видалення води з картоплі).



Рисунок 5.4 – Вибух хмари пилу на промисловому підприємстві

Було проведено моделювання вибуху хмари пилу та визначено зони виділення вибухової хвилі рис. 5.5.

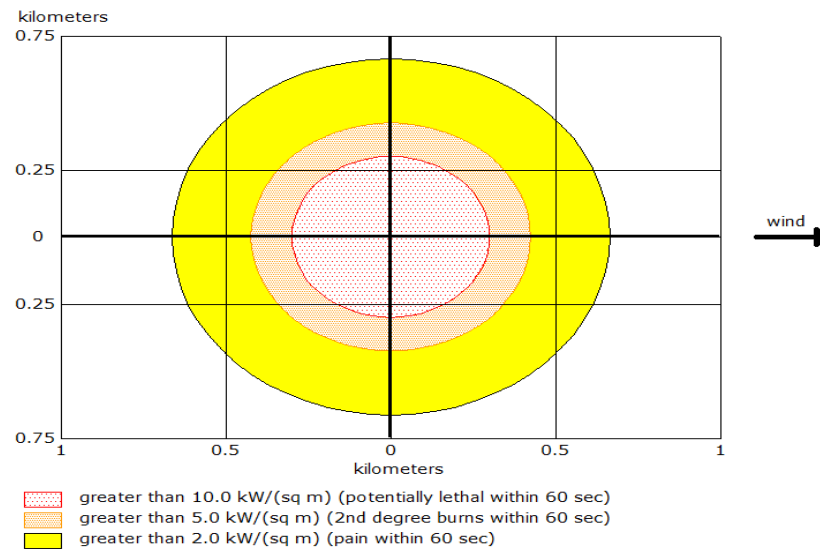


Рисунок 5.5 – Моделювання вибуху хмари пилу

У виробництві та обробці технологічних процесів у легкозаймистих і горючих атмосферах загроза статичної електрики завжди присутня. Існують певні типи пилоуловлювального обладнання, в якому легко утворюється статична електрика. До них відносяться млини, конвеєрні стрічки та пневматичні конвеєрні системи. У потенційно вибухонебезпечних атмосферах кількість енергії, що міститься в іскрових розрядах від установок, обладнання та навіть людей, може бути достатньою, щоб запалити багато дрібного пилу, що утворюється під час роботи з сипучими твердими речовинами, такими як порошок, гранули, гранули та пластівці. Електростатичний заряд ізольованого заводського обладнання або матеріалів можливий під час переміщення пилоподібних матеріалів у великій кількості. Принципово важливо вжити необхідних запобіжних заходів для пом'якшення викидів, які є достатньо потужними, щоб спричинити займання хмари пилу. Усі потенційні джерела внутрішніх і зовнішніх статичних розрядів від технологічного обладнання, розташованого в зоні та секретних зонах, необхідно враховувати та керувати відповідним чином. Якщо вони недостатньо з'єднані та заземлені, ізольовані компоненти систем транспортування та збору пилу здатні утримувати велику кількість статичної електрики. Ізольовані компоненти зазвичай є результатом недогляду за проектом або після того, як бригади технічного обслуговування повторно збирають фітинги без повторного

встановлення статичних з'єднань. Труби, клапани, повітрорудки, бункери та інші компоненти, задіяні в процесах перенесення порошку, можуть бути ізольовані один від одного завдяки ізоляційним властивостям таких деталей, як гумові прокладки, або через загальний знос. Найнадійнішим засобом пом'якшення накопичення заряду є з'єднання та заземлення компонентів на надійну перевірену землю.

Області, які слід розглянути для зменшення накопичення пилової хмари:

- підтримувати установку в герметичному стані (пошкоджені ущільнення, ослаблені болти);
- зменшити витрати праці на прибирання, спроектувавши установки з мінімальною кількістю горизонтальних виступів, де може осідати пил;
- електроустаткування може бути під загрозою перегріву, якщо осідає пил;
- запровадити технічні заходи захисту від вибуху;
- одним із найважливіших заходів пом'якшення є підтримання чистого робочого середовища. Якщо пилові відкладення накопичуються, вони можуть стати паливом для вторинного вибуху;
- для запобігання неконтрольованим статичним розрядам, що становлять небезпеку пожежі та вибуху під час обробки порошку, слід провести ретельний статичний аудит, який проводить кваліфікований персонал.

У ситуаціях, коли виявлено потенційно ізольовані компоненти, необхідно встановити спеціальне обладнання для заземлення для моніторингу та контролю вивільнення статичної електрики, таким чином усуваючи основне джерело займання в атмосфері горючого пилу. Враховуючи, що такі небезпеки існують у промисловості сьогодні; ретельне обслуговування, суворі практики технічного обслуговування, виявлення та зменшення ризику займання мають першочергове значення для пом'якшення вибуху пилу.

5.4 Висновки по розділу

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуто питання з охорони праці та безпеки під час технологічного процесу сушіння крохмалю.

Виконано аналіз потенційних небезпек, розроблено заходи щодо охорони праці під час обслуговування та роботи обладнання, пожежної профілактики, проаналізовані наслідки надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію на XIII Міжнародній науково-технічній конференції[24] аспірантів та молодих вчених «НАУКОВА ВЕСНА». Секція Кіберфізичні та інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка», 2 березня 2023 року.

В кваліфікаційній роботі бакалавра проведено аналіз технологічного процесу сушіння крохмалю та розглянуто роботу об'єкта автоматизації – пневматичної сушарки ПС-15. Як об'єкт керування, цей апарат відноситься до класу безперервних об'єктів, що сушить крохмаль у потоці.

Відповідно до вимог до 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, розроблена методика дослідження об'єкту керування.

У результаті виконання експерименту, обробки результатів та структурної ідентифікації встановлено наступне: об'єкт керування має транспортне запізнення, динамічна характеристика має один перегін; 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 150 секунд більше відповідає перевірочним даним експерименту ніж інші моделі.

За допомогою оцінки за нормованим середньоквадратичним відхиленням встановлено що отримана модель відповідає перевірочним даним на 99,9885%. Отже, дана модель об'єкта керування може бути використана для моделювання об'єкта керування та розробки системи керування в цілому, що дозволить підвищити якість керування процесом сушіння крохмалю.

В економічному розділі розраховано капітальні витрати при впровадженні рекомендованої системи автоматизації складають 100 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть 1,7 млн. грн.

В розділі охорони праці та безпеки під час експлуатації системи керування технологічним процесом сушіння крохмалю проведено аналіз потенційних небезпек, розроблені заходи щодо охорони праці під час обслуговування обладнання та виконання профілактичних робіт, проаналізовані наслідки надзвичайних ситуацій.

Ім'я користувача:
Олег Бойко

ID перевірки:
1015320433

Дата перевірки:
30.05.2023 14:11:07 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
30.05.2023 14:20:35 EEST

ID користувача:
100008838

Назва документа: 01_група151_19_ЮрченкоДР_ПЗС

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 11244 Кількість символів: 82968 Розмір файлу: 2.57 MB ID файлу: 1014990879

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

27.1% Схожість

Найбільша схожість: 22.2% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1011336610)

20.5% Джерела з Інтернету

293

Сторінка 68

24.6% Джерела з Бібліотеки

85

Сторінка 70

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи

73

Підозріле форматування

14
сторінок