

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет

«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Мунтяна Гліба Олексійовича

(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 процесу керування виготовлення розчинної кави

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ст.викл. Бойко О.О.			
Провідний консультант	ас. Воскобойник Є.К.			
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	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас.Воскобойник Є.К.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірjuвальних систем

(повна назва)

_____ Бубліков А.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

«_____» _____ 2023 року

на кваліфікаційну**роботу ступеня бакалавр**студенту Мунтяну Г.О.

(прізвище та ініціали)

академічної групи 151-19-1

(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 керування виготовлення розчинної кави

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____ р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	20.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	28.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	1.06.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	2.06.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	5.06.2023

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

Воскобойник Є.К.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі**Дата подання до екзаменаційної комісії****Прийнято до виконання**

_____ (підпис студента)

Мунтян Г.О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 100с., 46 рис., 19 табл., 1 додаток, 33 джерел.

Предмет дослідження: система автоматизації процесу керування охолодженням при виготовленні розчинної кави.

Об'єкт дослідження - методи, моделі та інформаційне забезпечення, використовувані для керування охолодженням кави.

Мета: покращення якості процесу керування охолодженням кави в сублімаційній сушарці шляхом ідентифікації об'єкта керування та розробки системи автоматизованого керування.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було проведено аналіз технологічного процесу, який включає створення емульсії кави, сушіння кави, а також надано опис роботи об'єкта автоматизації - сублімаційної сушарки.

Відповідно до вимог до системи керування, було вибрано необхідне апаратне забезпечення, що складається з датчика температури, датчика тиску, електропривода для керування засувкою, магнітних пускачів для керування конвеєром і компресором, контролера VIPA з модулем аналогового вводу і дискретного виводу та блоків живлення.

Враховуючи опис технологічного процесу та принцип роботи сублімаційної сушарки, був розроблений план активного експерименту для ідентифікації об'єкта керування. Отримання передавальної характеристики було забезпечено керівником кваліфікаційної роботи.

Після проведення експерименту та обробки результатів була отримана імітаційна модель процесу сублімації кави у сушарці, заснована на залежності температури агенту охолодження від температури кави в графічному середовищі моделювання Simulink. Ступінь відповідності цієї моделі, виміряний за нормованим середньоквадратичним відхиленням, становить 99,45%.

Отримана імітаційна модель може бути використана для моделювання об'єкта керування та розробки системи керування в цілому, що сприятиме покращенню якості процесу керування охолодженням кави під час сублімації.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	10
1.1 Галузь промисловості	10
1.2 Технологічний процес	11
1.3 Об'єкт керування	19
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	19
1.3.2 Структура об'єкту керування	22
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	23
1.4 Постанова завдання	24
1.5 Висновки до розділу	26
2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	28
2.1 Розробка структурної схеми системи керування	28
2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування	29
2.2.1 Вибір датчиків	29
2.2.2 Вибір виконуючих пристроїв	32
2.2.3 Вибір пристроїв керування	35
2.2.4 Вибір джерел живлення	40
2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	42
2.5 Розробка схеми електричної принципової	43
2.6 Висновки до розділу	46
3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	47
3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	47
3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування	48
3.3 Виконання експерименту	49

	5
3.4 Обробка результатів експерименту	52
3.4.1 Підготовка даних	52
3.4.2 Структурна ідентифікація	54
3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	65
3.4.5 Перевірка моделі на адекватність	67
3.5. Висновки до розділу	68
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	69
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	69
4.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	70
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	72
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	72
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	75
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	76
4.4.1 Амортизація основних фондів	76
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	77
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	78
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	78
4.4.5 Витрати на електроенергію	79
4.4.6 Інші витрати	79
4.5 Висновки до розділу	80
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	81
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на автоматизованій колоні	81
5.2 Ергономічні фактори ризику	83
5.3 Рішення щодо покращення ергономіки	84
5.4 Методи зниження ергономічних ризиків	85
5.5 Розрахунок освітлення	86
5.6 Висновок до розділу	88
ВИСНОВКИ	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	91

	6
ДОДАТОК А	94
ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	96
ВІДГУК	98
РЕЦЕНЗІЯ	99
ЗАТВЕРДЖЕНО:	100
ВИСНОВОК	100

ВСТУП

Кава - це смаковий продукт, що готується з обсмаженого насіння вічнозеленого кавового дерева роду *Coffea*. Батьківщиною кавового дерева є південно-західна частина Ефіопії - область Кефа (звідси і назва кави).

Кавове дерево культивують у вигляді дерева або куща. Відомо близько 50 його видів, але в промислових масштабах культивують тільки три: арабійські кави *Coffee arabica*, ліберійські кави *coffee liberica hiern*, робуста *coffee robusta*. Більше половини світового виробництва кави становить сорт Арабіка. Арабіка перевершує Робусту за смаком і ароматом напою.

Плоди кави - ягода, яка за зовнішнім виглядом, розміром і забарвленням нагадує вишню. У соковитій м'якоті укладено два плосковипуклих зерна, притиснутих один до одного плоскими сторонами. У плодах так само може розвиватися тільки одне з двох насін'я, набуваючи овально-круглу форму. Така кава цінується вище і називається перл-кава.

Плоди кави збирають зрілими до 3 разів на рік (всього з одного дерева до 3 кг). Після збору зерна звільняють від плодової м'якоті і внутрішніх оболонок мокрим, вологим або сухим способом, а потім сушать і сортують за розміром. Кавові зерна, очищені вологим способом краще за якістю. Для додання зернам красивого гладкого вигляду їх полірують в обертових барабанах або центрифугах. Розрізняють зерна за кольором на жовті, зелені і синюваї. Зелена кава підрозділяють за якістю на вищий, перший і другий сорти: ботанічного виду Арабіка - на вищий і 1-й; ботанічного виду Робуста - на 1-й і 2-й.

Залежно від використовуваної сировини і технології кавопродуктів поділяють на такі групи: кава сира або зелена; кава натуральна смажена в зернах і мелена; кава натуральна розчинна; кавові напої нерозчинні; кавові напої розчинні порошкоподібні; кавові напої розчинні пастоподібні; кава без кофеїну; кава і кавові напої з молоком.

Кава, як напій, з'явилася в Європі в 16 столітті, спочатку в Німеччині, а потім в наступному столітті в багатьох країнах континенту, особливо у Франції

та Голландії. Надалі, кава поширилася по решті світу та стала дуже популярним напоєм.

Так як кава не зберігає свій характерний смак і запах тривалий час після підсмажування і подрібнення виникла необхідність її отримання і збереження всюди, де вона вживається. Це проводиться на підприємствах промислової основи, які переробляють продукт (мова йде про піджарювання і подрібнення зерен). Як правило, це невеликі або середньої потужності заводи, але існують і великі фабрики, що виробляють в основному швидкорозчинні кави, яка зберігає тривалий час свій характерний смак і запах.

Виробництво меленої кави можна розбити на кілька основних технологічних процесів: суху обробку цільних зерен кави, вологу обробку цільних зерен кави, обсмажування зерен і власне виробництво меленої кави.

При виготовленні розчинної кави кавові зерна обсмажують, подрібнюють і обробляють гарячою водою. Одержаний концентрований напій потім висушують різними способами:

Сублімовану або фриз-драйд (фасовану) каву виробляють за технологією «сушка заморожуванням»;

Спрей-драйд або порошкову каву виробляють за технологією «сушка розпиленням». Кавовий екстракт розпорошується в потоці гарячого повітря, висихає і перетворюється в порошок;

Гранульовану або агломеровану каву виробляють з порошку, отриманого методом розпилювальної сушки за допомогою агрегації. Агрегація представляє собою процес змочування порошку для формування гранул.

Багато людей люблять пити каву, бо цей напій надає бадьорості і енергії, але процес варіння свіжої кави доволі довгий і частіше ми обираємо розчинну каву. Сублімація кави на сьогоднішній час є одним із найпродуктивніших методів сушіння і дозволяє зберегти поживні цінності і високі смакові якості продукту. Оскільки зараз дуже багато виробників кави, щоб бути конкурентоспроможними, потрібно постійно вдосконалювати свій асортимент і особливу увагу приділяти якості отриманого продукту. Тому ця проблема

сьогодні є актуальною.

Кваліфікаційна робота присвячена автоматизації процесу керування охолодженням кави у морозильній камері, що забезпечує ефективне сублімування. Це означає підтримання високої інтенсивності сушіння кави у морозильній камері, при низькій температурі. А також дослідженню, ідентифікації морозильної камери як об'єкта керування, розробці технічних документів автоматизованої системи керування дослідженню особливості технології приготування сублімованої кави, визначення вимог до способів керування, розробці загальної структури системи керування й алгоритмів роботи.

Актуальність кваліфікаційної роботи полягає в тому, що кава - найпоширеніший напій, а, отже, в умовах жорсткої конкуренції для підприємства важливо автоматизувати спосіб його виготовлення. Все це дасть змогу збільшити обсяги виробництва та якість виготовленої продукції.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Розчинна кава є безумовним лідером на українському ринку серед конкурентів. Україна через географічне розташування та природно-кліматичні умови позбавлена можливості мати власні плантації кавових дерев і змушена імпортувати на свій ринок кавові зерна з інших країн. Проте аналіз ринку кави, проведений компанією Pro-Consulting, свідчить про те, що виробництво кави в Україні стабільно розвивається. Виробники збільшували постачання кави на внутрішній ринок. Український ринок кави залежить від світового ринку, на якому простежується тенденція зростання виробництва через збільшення попиту на цей продукт.

В Україні представлені великі транснаціональні компанії, які займаються імпортом та виробництвом кави, а також є і власні українські компанії. Тому слід зазначити, що ринок кави в Україні є досить перспективним і буде розвиватися у найближчі роки досить швидко.

Прикладом розвитку є презентація нового підприємства, яке здійснюватиме повний цикл переробки зелених кавових зерен до отримання кінцевого упакованого продукту та випускатиме натуральну розчинну (сублімовану), смажену мелену каву та каву в зернах. "Укркава" зазначає, що в Україні це буде перше підприємство такого рівня, що дає змогу виробляти кавову продукцію обсягом близько 5 тис. тонн на рік. Згідно з програмою розвитку промисловості Одеської області річний обсяг інвестицій у його створення оцінено у 560 млн грн.

Вітчизняний ринок кави, кавових напоїв і сумішей становить лише 45000 тон в рік, а обсяг натуральної кави досягає майже 2000 тон / рік. В основному це ввезені сирі кавові зерна, які проходять обробку в Україні. Експорт кави хоч і присутній, але дуже мізерний і проводиться трейдерам Молдови, Грузії, Литви та Вірменії. Попит на каву в основному відбувається за рахунок відкриття нових ринків цього продукту (включаючи й Україну). Незважаючи на високі темпи зростання споживання кави, Україна поки що не досягнула свого максимуму

споживання і займає четверте місце в Європі за цим показником: одна чашка кави в день в середньому по Україні проти трьох у Європі.

Розчинна сублімована кава по праву вважається кращою з розчинної кави, тому що в ній максимально збережені властивості меленої кави. Багато з нас вважають кращою розчинну каву, завдяки тому, що вона проста в приготуванні.

1.2 Технологічний процес

Значною мірою від первинної обробки кавових плодів залежить якість готового продукту. Виробництво кави натуральної розчинної складається з наступних основних процесів: приймання, сепарації і обсмажування сировини, подрібнення і екстрагування обсмаженого напівфабрикату, сушки екстракту і фасування готової продукції. Каву приймають за видами та сортами окремо.

Зірвана кава перевозиться на ферми, де плоди найперше або просіваються, або промиваються водою, щоб видалити листя, незрілі плоди, каміння, пісок і інші домішки. Але це тільки попередня очистка. Подальша обробка кавових плодів проводиться двома методами: волога і суха обробка кави. Волога обробка містить наступні етапи: чистка; розбухання; видалення м'якоті плодів; ферментація; промивання; сушка; зняття лушпиння. Суха обробка кави: сортування та просіювання; сушка; видалення м'якоті; чистка.

При сухій обробці кави, яка використовується перш за все в Бразилії і Західній Африці, кавові зерна висипають на спеціальні майданчики для сушіння. Зерна там сушать на сонці від двох до трьох тижнів. При цьому кава з допомогою різноманітних пристосувань постійно перемішується. Щоб захистити кавові зерна від спеки і ранкової роси, майданчики з кавою на ніч покриваються тентами. У деяких кліматичних зонах частина врожаю сушиться за допомогою спеціальних машин гарячим повітрям. При цьому час такої обробки скорочується до двох-чотирьох днів. Як тільки м'якоть абсолютно висихає, можна почути як "дзвенять" зерна всередині плодів, якщо їх потрясти. У барабанних установках, кавові плоди розламується і зерна очищаються від висохлої м'якоті, що покриває оболонки сріблястою плівкою. Після цього кава

очищається і сортується за розміром. Потім кращі зерна відбираються вручну або на сучасних підприємствах електронним способом.

Велика частина високоякісних сортів кави обробляється методом промивання. Це стосується більшості центрально-американських сортів кави, колумбійських і мексиканських сортів, а також кава Кенії і Танзанії. Таку каву ще називають "промитою". Кавові плоди спочатку висипають у великі ємності, де їх залишають на ніч для розбухання. У спеціальних машинах видаляється тоді велика частина м'якоті плодів. Кавові плоди, у яких після цього м'якоть ще не відокремилась від зерен, для проходження подальшої обробки ферментацією потрапляють в спеціальні барабанні установки.

Після ферментації в плодах відбувається відділення м'якоті від зерен і звільнення від покриваючої оболонки. У той же час процеси, що відбуваються в кавових зернах під час ферментації, значно покращують смакові якості кави.

Даний процес займає близько доби. Далі зерна остаточно промивають, висушують, як правило, на сонці, при цьому відбувається остаточно відділення покриваючої оболонки від зерна. Потім в спеціальній установці відбувається очищення зерен від оболонки і сріблястої плівки. Очищені зерна сортуються.

Якщо основних видів промислових кавових дерев всього два, то звідки ж береться така різноманітність сортів? Кава, зварена з робусти, відрізняється значною міцністю і грубуватим кавовим ароматом. Кава з арабіки має інтенсивний складний аромат, що нагадує квіти, фрукти, мед, шоколад. Як правило, споживачеві пропонують не один сорт кави в чистому вигляді, а суміш декількох сортів. Змішування сортів переслідує дуже важливу мету - створити бажаний і цілком певний смак і аромат кави. Змішування - це мистецтво, яке ґрунтується не тільки на знаннях і досвіді, а й на інтуїції. Таким чином, арабіка і робуста, змішані в різних пропорціях, дають широкий спектр смаків і ароматів кавових напоїв.

Як же кавові зерна стають кавою для приготування напою? Кава, імпортується з країн-виробників в сирому вигляді, обробляється вже в країнах-споживачах. Найважливішою складовою хорошої кави є, поряд з якістю зерен,

грамотний підбір різних сортів для суміші (букета). Кожен виробник кави прагне створювати і просувати на ринок власні кавові букети. Для цього використовується переважно центрально - американська арабіка, змішується з африканськими або індійськими сортами кави. При складаності букета враховують, які напої на його основі готуватимуться, наприклад: кава з молоком, еспресо і т. д. Складання кавового букета - справжнє мистецтво. Визнані майстри прекрасно знають запах і смак кожного сорту і мають багаторічний досвід. Різні сорти кави з різних країн зберігаються в спеціальних ємностях і за допомогою автоматів змішуються безпосередньо під час приготування різних букетів. При цьому процентне співвідношення складових сортів витримується дуже точно. Складені букети надалі надходять в машину для обсмаження.

Обсмажування кави - одна з ключових операцій. Кава отримує аромат, запах і характерний колір вже на етапі обсмажування, при дотриманні температурного режиму від 200 до 250 °С, при якому випаровуються ефірні масла які містяться в зернах. Обжарювальник - дуже важливий фахівець. Від його професіоналізму, уваги і акуратності в значній мірі залежить якість обсмажування кінцевого продукту. Він періодично під час обсмажування бере пробу кави для контролю ходу і ступеня обсмажування. Крім того, він на око, а також за допомогою спеціальних оптичних приладів, контролює стан зерен і порівнює із зразками конкретного букета. Всі зерна повинні бути рівномірно прожарені. Зазвичай обжарювальні машини смажать каву від 12 до 15 хвилин. На великих підприємствах процес обжарювання кави ще більш прискорений і автоматизований, тривалість обсмажування (залежно від букета) триває до 6 хвилин і управляється електронікою. При обсмажуванні кава втрачає до шостої частини ваги, але збільшується в об'ємі до 25%. Після обсмажування, вже темно-коричневі зерна, необхідно вивантажити з обжарювальної машини і швидко охолодити, інакше кава продовжуватиме і згорить під дією власної температури. Для дегустації свіже обсмаженої кави потрібні фахівці з особливим, загостреним нюхом і смаком, які попередньо проходять спеціальну підготовку.

Обсмажений напівфабрикат охолоджують до температури 35-40 ° С в

охолоджувальній чаші після «ароматизації» (витримці в обжарочному апараті з вимкненими пальниками). В процесі обсмажування контролюють вологість, екстрактивність і втрату маси. Після завершення обсмажування напівфабрикат надходить в гранулятор на подрібнення.

Встановлено, що один і той же сорт кави при різному ступені подрібнення може містити різну кількість екстрактивних речовин. При подрібненні кави (грануляції) необхідно, щоб кількість частинок розміром більше 1,5 мм становило велику частину всієї маси, а розміром 0,5-0,6 мм - близько 3%. Подрібнену каву порціями завантажують в екстрактори. Відповідно після обсмажування кава або фасується (має на увазі продаж кави в зернах), або подрібнюється (для продажу кави меленої).

Виробництво розчинної натуральної кави складається з наступних основних операцій: прийом і сепарація сировини; обсмажування; грануляція обсмаженої кави; екстракція; сушка екстракту; пакування та маркування.

Машинно-апаратурна схема лінії виробництва розчинної кави представлена на рис 1.1.

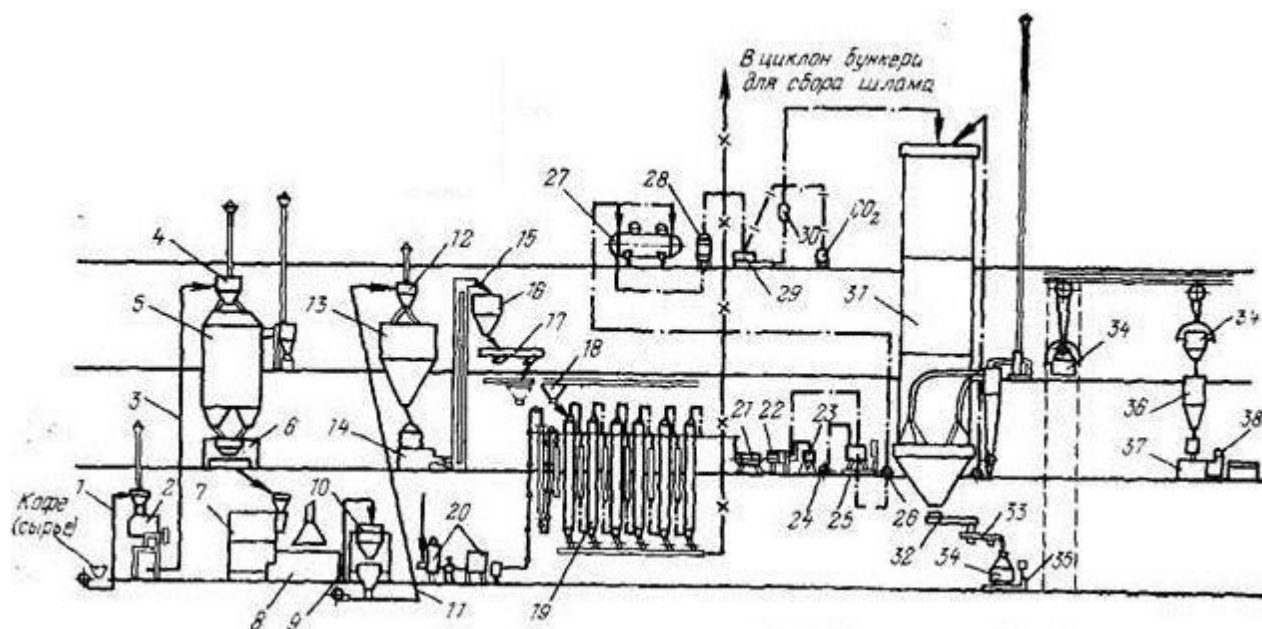


Рисунок 1.1 – Машинно-апаратурна схема лінії виробництва розчинної кави.

Кожна партія сирих зерен кави зважується на автоматичних вагах порціями по 20 кг і пневмотранспортером - 1 низького тиску подається в вібраційний сепаратор - 2, що відокремлює сторонні домішки шляхом аспірації,

просіювання і пропусканням через магніти, при цьому кожний вид обробляють окремо за видами та сортами. Потім зерна пневмотранспортером - 3 високого тиску через циклон-розвантажувач - 4 направляють в чотирьох і шести-секційний бункер - 5 для зберігання різних видів і сортів кави. Звідти зерна кави надходять на ваги - 6, які можуть важити кави, що надходить з різних секцій бункера, і далі - в обжарочний барабан - 7.



Рисунок 1.2 – Обжарочний барабан

На протязі декількох годин проходить процес дегазації - видалення газів які активно виділяються з свіжо обсмаженої кави.



Рисунок 1.3 – Машинно для видалення газів з свіжо обсмаженої кави

Тривалість обсмажування однієї порції кави (240 ... 300 кг) становить 13 ... 18 хв при температурі 180 ... 215 ° С в апараті типу «Пробат». Обсмажену каву зволожують безпосередньо в обжарочному барабані, доводячи вологість до 5 ... 7%, щоб уникнути утворення дрібних частинок при розділі. Для цього до кінця обсмажування в барабан протягом 50 с подають 20 л води і закривають вихід димових газом. Це зменшує дезодорацію кави і знижує втрати ароматичних

речовин. Кислотність обсмаженої кави повинна складати 5,2 ... 5,4 рН, а вміст екстрактивних речовин для кави I сорту не менше 25%, для кави II сорту - 27,5%. Потім обсмажену каву охолоджують в охолоджувальній чаші - 8 і через камневідбірник - 9 і ваги - 10 пневмотранспортером високого тиску - 11 направляють з розвантаженням в циклоні-осадителі - 12 в бункер - 13, призначений для зберігання смаженої кави. Звідси обсмажені зерна надходять на гранулятор - 14, де обсмажені кавові зерна піддають дрібному помолу (так можливо витягти більшу кількість ароматичних і смакових речовин при варінні). Важливе значення має розмір гранул подрібнених зерен. Відомо, що швидкість процесу екстракції обернено пропорційна розміру часток, вона зменшується при їх збільшенні, тому вигідно мати якомога більш дрібні частинки продукту, що піддаються екстракції. Але значне зменшення розміру частинок призводить до погіршення змочувальності і умов фільтрації екстракту. Оптимальний розмір частинок подрібнених зерен залежить від типу екстракційного обладнання. При роботі на екстракційних батареях фірми «Ніро Атомайзер» прийнятий розмір гранул 1 ... 2 мм.



Рисунок 1.4 – Гранулятор

Крупку (гранульовану каву) ковшовим елеватором - 15 завантажують в бункер - 16, а звідти вібротранспортером - 17 через пересувні ваги - 18 в екстрактори екстракційної батареї - 19. Отриманий кавовий порошок піддають варінні у великих цистернах.



Рисунок 1.5 – Екстракційні батареї.

Де з метою отримання екстракту кави обробляють гарячою водою, попередньо пом'якшеної на установці - 20, яка складається з іонізуючого бака і сатуратора . Для очищення воду обробляють кухонною сіллю. Жорсткість води після обробки сіллю не повинна бути більше 0,35 мг-екв / л. Екстракційна установка - 19 являє собою агрегат, що складається шести екстракторів зі знімними трубчастими фільтрами, мають отвори діаметром 1,0 ... 1,5 мм, шести проміжних теплообмінників зі змійовиками, в яких проходить екстракт, що обігрівається зовні паром, одного водонагрівача для нагріву води , що надходить в батареї. Повний цикл екстракції триває 7 – 8 годин. За цей час через кожен екстрактор проходить 3500 .. 4000 л води. У екстрактори закладають по 165 кг гранульованого кави. Співвідношення кави і води в екстракторі таким чином становить 1: 20 ... 1: 25, що є оптимальним.

Екстракт з батареї відбирають з вмістом 27 .. 28% сухих речовин. Отриманий екстракт через пластинчастий фільтр - 21 і охолоджувач - 22 перекачують в змішувальний бак - 23, де змішують з порошком розчинної кави, доводячи вміст сухих речовин в продукті до 30%. З бака насосом - 24 перекачують екстракт кави в збірник-ваги - 25, а звідти насосом - 26 в танк-накопичувач - 27. У процесі варіння відводяться і збираються ефірні масла.

Далі екстракт профільтровують через фільтр - 28 і поживним насосом - 29 високого тиску через ресивер - 30 подають в сушильню - 31. Кавовий екстракт

після варіння в технології виробництва сублімованої кави ґрунтується на процесі ліофілізації, це спосіб м'якого сушіння, при якому продукт швидко заморожується, а потім за допомогою вакуумної камери з нього видаляється вся волога. Перевага цього способу висушування полягає в тому, що виключено вплив високих температур, і склад сублімованої кави максимально наближений до натурального. Після видалення вологи проводиться дрібнення висушеної маси, і натуральна сублімована кава отримує звичний споживачеві вид.



Рисунок 1.6 – Сублімаційна сушарка.

Далі відбувається повернення ароматичних властивостей продукту за допомогою зібраних раніше ефірних масел. Залежно від виробника сублімованої кави також додаються додатково натуральні або синтетичні ароматизатори.

Охолодження суть якого полягає в тому, що кавовий відвар заморожують при дуже низьких температурах. В результаті утворюються крижані кристали. Ці кристали зневоднюють під вакуумом - саме завдяки цьому в каві зберігаються натуральні корисні речовини.

На останньому етапі готовий продукт - розчинна кава - виводять з вакуумної камери шляхом спорожнення підносів. «Фриз-драйд» кава через лійку надходить в спеціальний бункер - 34 для короткочасного зберігання. Контейнери зважують на терезах - 35. Контейнери з порошком розчинної сублімованої кави підйомником подають до завантажувального бункера - 36 фасувальною

машиною - 37. Готовий продукт фасується по 100 або 50 г. Для заочування у банки використовують машину - 38.

1.3 Об'єкт керування

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі – сублімаційна сушарка для сушіння кави. Цільовим продуктом є суха кава, яка формується після сушки кавового екстракту.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Сублімаційне сушіння (вона ж ліофілізація) - це процес, який використовується в харчовій промисловості для видалення води з продуктів, щоб збільшити термін їх зберігання. Він складається з декількох етапів. Спочатку температура продукту знижується (зазвичай приблизно до -40°C), через що вільна вода замерзає. Після цього вода видаляється з продукту, як правило, шляхом підвищення температури в вакуумному середовищі. Завдяки низьким робочим температурам і заданим умовам сушіння в продукті зберігається максимум корисних речовин, смакових та ароматичних якостей. Об'єктом керування у нас буде сублімаційна сушарка.

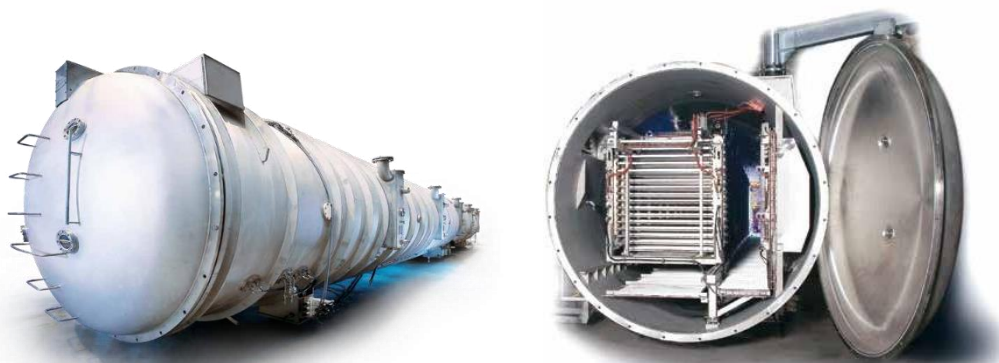


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд сублімаційної сушарки

Шафа: довга циліндрична камера призначена для роботи у вакуумі. У передній частині (всередині шафи) знаходиться транспортер для штабелювання лотків із замороженим продуктом. Кожен лоток потрапляє у шафу через унікальним чином сконструйовану шлюзову систему, що дозволяє вводити

лотки без порушення вакууму, що інакше негативно вплинуло б на процес сублімації. Після того, як в транспортер буде завантажений повний штабель, весь штабель проштовхується вперед в першу зону сушіння, де температура на нагрівальних плитах регулюється відповідно до типу і складу продукту, а також вмісту води в продукті, що обробляється.

Потім заповнюються нові штабелі, які проходять через різні наступні зони сушіння шафи. Умови у кожній зоні регулюються забезпечення оптимальних характеристик сушіння. Коли лотки в штабелі надходять до виходу сушарки, транспортер розвантажує лотки і вони знову проходять через шлюз при розвантаженні. Висушений продукт вивантажується з лотків і подається до пакувального цеху.

Нагрівальні плити: виготовлені з анодованого алюмінію та розміщені всередині шафи для забезпечення енергією технологічного процесу сушіння сублімації. Гаряча вода циркулює системою для забезпечення ефективної передачі тепла продукту. Це відбувається шляхом випромінювання. Температура води може регулюватися в процесі сушіння сублімації з метою досягнення оптимальних циклів випаровування і запобігання перегріву продуктів. При правильному завантаженні в шафу лотки з продуктами будуть розміщені між нагрівальними плитами для оптимальної передачі тепла. Слід уникати прямого контакту між лотками з продуктами та нагрівальними плитами, щоб уникнути пошкодження продуктів при надмірному впливі тепла.

Конденсатори пари: встановлені у шафі для конденсації сублімованої водяної пари для безперервного видалення льоду. Коли необхідно зробити видалення льоду в одному з парових конденсаторів (зазвичай через одну годину), секція герметизується, і при цьому задіюється інший конденсатор. Щоб розтопити лід, що накопичився, в приміщення подається водяна пара температурою 25°C (вакуум-пар).

При цьому водяна пара конденсується на холодній крижаній поверхні конденсатора, таким чином розтоплюючи лід. Для відновлення робочого стану конденсатора, очищеного від льоду, всю пару в камері конденсатора необхідно

сконденсувати шляхом його охолодження до досягнення відповідної робочої температури і умов вакууму. Пряме перемикання за необхідності проведення наступного циклу видалення льоду тепер може бути виконане без будь-яких втрат робочого вакууму.

Холодильний склад: порожні лотки подаються назад для заповнення замороженими продуктами за допомогою зовнішнього транспортера та конвеєрної системи.

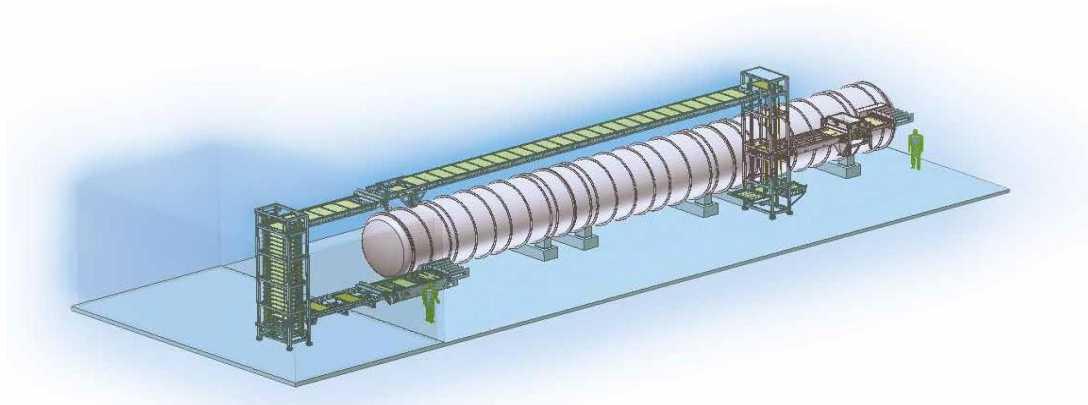


Рисунок 1.8 – Схема пристрою і роботи сублимаційної сушарки

Фактично сушарка це спосіб видалення 75-90% вологи з кавового екстракту і отримання високоякісного продукту при мінусовій температурі в центральній зоні. Частина, що залишилася найбільш вологою висушується при більш низьких температурах. Допустимий рівень температури продукту в період сублимації і видалення залишкової вологи визначається його властивостями і тривалістю процесу сушіння. Харчові продукти досить високої якості можуть бути отримані при помірно низьких температурах сублимації $-40 \dots -60 \text{ }^{\circ} \text{C}$. Тривалість цього періоду сушки складає 50-60% повного часу сушіння, а кількість вологи, що видаляється 40-50%.

На стадії видалення залишкової вологи найбільш важливим фактором, який забезпечує високу якість продукту, є тривалість дії температури і її значення. Для кожного виду харчових продуктів існує температурна межа стійкості до нагрівання. В цієї температурної межі можуть бути підібрані оптимальні співвідношення температури продукту і тривалості охолодження, при яких тривалість процесу сушіння буде найменшою при мінімальних змінах

в продукті. Так, в залежності від властивостей продукту і тривалості процесу сушіння допустимий рівень температур матеріалу в період видалення залишкової вологи знаходиться в межах від -40 до -80 ° С. Тривалість цього періоду становить 30-40%, а кількість вологи, що видаляється 20-30% загальної її кількості.

1.3.2 Структура об'єкту керування

Детальний принцип пристрою і роботи сублімаційної сушарки наведено на рис 1.9.

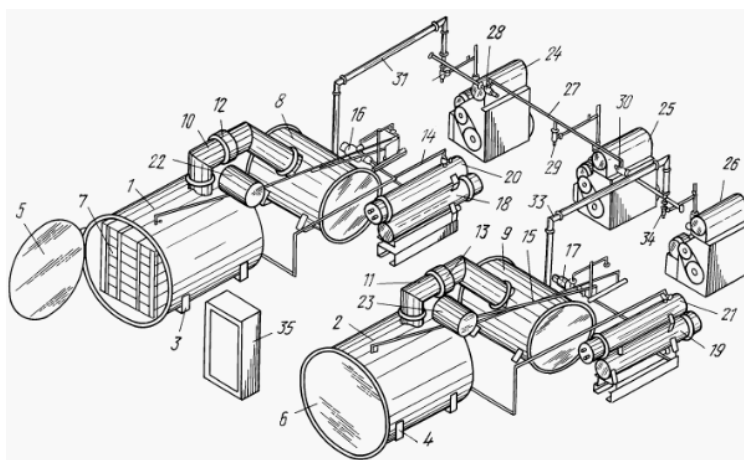


Рисунок 1.9 – Схема пристрою і роботи сублімаційної сушарки

Вакуумна сублімаційний установка для сушіння біологічних матеріалів являє собою дві однакові тунельні герметичні камери (субліматор) 1, 2, змонтовані на жорстких рамах 3, 4. Камери 1, 2 виконані у вигляді циліндрів з кришками 5, 6, всередині яких розташовані тепло передаючі плити, які виконують роль полиць з листами 7 для розміщення матеріалів. Камери 1, 2 з'єднані відповідно з десубліматорами 8, 9 за допомогою патрубків 10, 11 з вакуумними заслонками 12, 13 і призначеними для конденсації водяної пари, що виділяються в процесі сушіння матеріалів в камерах 1, 2. десубліматори 8, 9 виконані у вигляді циліндрів, закритих з двох сторін кришками, усередині яких встановлені охолоджувані батареї (на кресленні не показані). Камери 1, 2 з десубліматорами 8, 9 за допомогою трубопроводів 14, 15 з'єднані з системами нагрівання та охолодження плит 7 субліматорів 1, 2, призначених для теплового режиму обробки (сушіння) матеріалів. Система нагріву і охолодження

складається відповідно з насосів 16, 17, теплообмінників 18, 19, охолоджувачів 20, 21, дозувально-розширювальних баків 22, 23.

Пристрій включає систему відсмоктування газів, що призначену для створення і підтримки в камерах 1, 2 робочого тиску. Система являє собою три вакуумних насоса 24, 25, 26, послідовно з'єднаних трубопроводом 27 з вакуумними засувками 28, 29, 30.

Камера 1, поєднана з десубліматором 8, через трубопровід 31 і вакуумну заслонку 32 приєднана до вакуумного насоса 24, а камера 2, поєднана з десубліматором 9, за допомогою трубопроводу 33 з вакуумною заслонкою 34, приєднана до вакуумного насоса 26. Пристрій має пульт 35 для керування процесом сушіння з ручним заданням регульованого параметра і автоматичним підтриманням заданого значення.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування

Сушка заморожуванням - процес «фриз-драйд» представляє собою видалення замороженої вологи з глибоко замороженого продукту. Це відбувається в умовах високого вакууму і при температурі значно нижче точки замерзання.

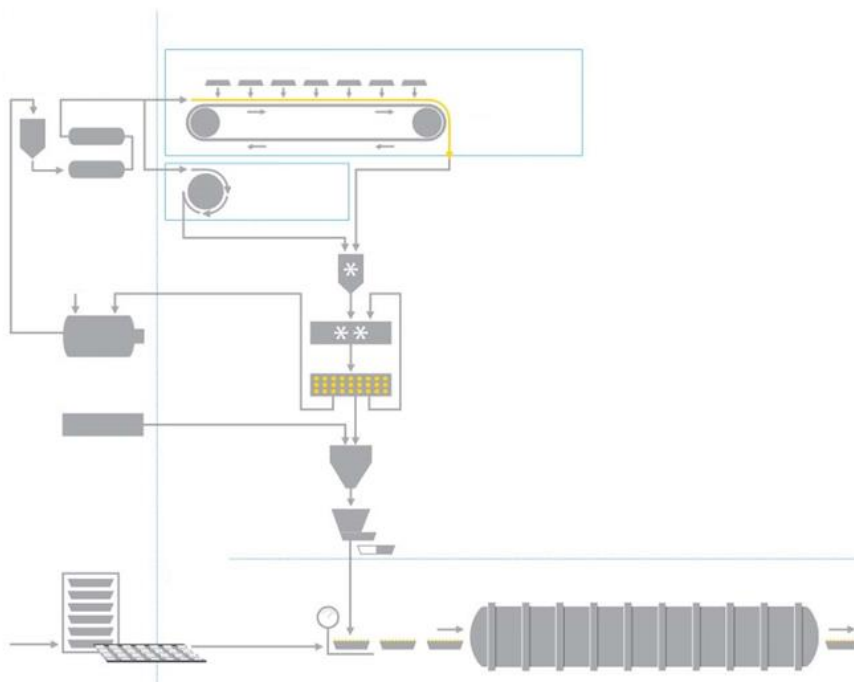


Рисунок 1.10 – Принцип функціонування об'єкту керування

Процес виробництва кави під назвою «сушка заморожуванням», або «фриз-драйд», складається з наступних етапів. Спочатку концентрований екстракт кави охолоджують і спінюють відповідно до вимог по щільності і кольору кінцевого продукту.

Потім охолоджений і спінений екстракт заморожують - він перетворюється в твердий лід - на спеціальній транспортерній стрічці. Заморожування забезпечується прогоном повітря низьких температур.

Після цього відбувається грануляція - лід проходить процес гранулювання (дроблення). Розмір гранул регулюють залежно від вимог до кінцевого продукту. Гранули поміщають на спеціальні підноси.

Наступний етап - «фриз-драйінг» - холодна сушка. Підноси з гранулами замороженого екстракту подають в ємність, де забезпечують вакуум. Ємність являє собою горизонтально розташований циліндр з вбудованими випарними конденсаторами. Всередині циліндра розміщують транспортер для підносів і систему нагрівальних елементів. Система нагрівальних елементів може бути радіаційного типу - тепло передається продукту шляхом випромінювання). Другий тип - контактний. В системі контактного типу тепло від нагрівальних елементів передається при безпосередньому контакті з продуктом.

На останньому етапі готовий продукт - розчинна кава - виводять з вакуумної камери шляхом спорожнення підносів. «Фриз-драйд» кава через лійку надходить в спеціальний бункер для короткочасного зберігання. Після цього кава готова до розфасовки в банки.

1.4 Постановка завдання

Завдання кваліфікаційної роботи може бути представлена як розробка системи керування і контролю параметрів процесу виготовлення сублімованої кави з використанням сучасних засобів отримання, передачі та обробки інформації.

При розробці системи необхідно забезпечити виконання таких функцій: збір інформації про стан технологічного обладнання; контроль справності

датчиків і виконавчих механізмів; обробку та зберігання одержуваної інформації.

Метою дослідження кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення точності регулювання температури сублімаційної сушарки, дозволити швидко створювати нові, або міняти наявні режими роботи в залежності від виду продукції, тим самим спростити експлуатацію установки, знизити витрати на ремонт і обслуговування устаткування, отримати економічний ефект від раціонального використання енергоресурсів внаслідок оптимального керування технологічним процесом зі збереженням якості готового продукту і обсягів виробництва.

Завданням дослідження є вивчення можливості автоматичного керування процесом охолодження для підтримки необхідної температури в камері сублімаційної сушарки.

Ефективне керування об'єктом з використанням методів теорії автоматичного керування можливо лише тоді, коли відома його математична модель. Тому побудова математичної моделі є найважливішим етапом створення будь-якої автоматичної системи керування.

У промисловості найбільш поширеним способом отримання математичної моделі є ідентифікація об'єкта. Процес ідентифікації об'єкта керування складається з трьох етапів: структурна ідентифікація, параметрична ідентифікація та оцінка адекватності моделі.

Використовуючи систему SCADA ZENON для створення керуючого впливу, знімемо динамічну, статичну, П-подібну (імпульсну) характеристику та перевірочні дані.

На базі отриманих експериментальних даних здійснимо структурну ідентифікацію об'єкта керування в математичному пакеті MATLAB. За допомогою програмного забезпечення "Identification System Toolbox" виконаємо параметричну ідентифікацію.

Розробимо модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції в середовищі імітаційного моделювання Simulink. Потім, за допомогою

перевірочних даних отриманих в результаті експерименту, виконаємо перевірку отриманої моделі об'єкта керування на адекватність. Адекватність об'єкту має складати не менше 90%.

1.5 Висновки до розділу

Застосування сублимаційної сушарки дає великий економічний і технічний ефект. На підставі розглянутих особливостей роботи обладнання лінії виробництва сублимаційної кави можна зробити висновок, що сублимаційна сушарка відноситься до безперервних об'єктів керування.

Система керування повинна містити наступні компоненти: датчик температури в камері сушарки, пристрій керування та виконуючий пристрій для регулювання процесом охолодження.

Виходячи з опису технологічного процесу і структури об'єкта керування необхідно провести активний експеримент. При цьому система дослідження формує максимально допустимий для цього об'єкта вхідний сигнал, що забезпечує максимальну інформативність в процесі дослідження, для виконання процесу ідентифікації, а також сформувати будь-яку форму сигналу для більш точної перевірки на адекватність.

Так як виконавчий пристрій має нерозривний зв'язок з об'єктом керування, далі під об'єктом керування буде трактуватись як сам об'єкт, так і його виконавчий пристрій. В якості вхідного сигналу об'єкта керування виступатиме керуючий вплив, а в якості вихідного сигналу дійсне значення.

Проведення процесу ідентифікації об'єкта керування за даними активного експерименту вимагає наявності динамічної та статичної характеристик, реакції на П - образне вплив і перевірочних даних.

Згідно з переліком технологічних параметрів і нормам технологічного режиму, в кваліфікаційній роботі необхідно вибрати первинні перетворювачі які використовуються для вимірювання параметрів, пристрій керування, та виконуючий пристрій.

Давачі і виконавчі пристрої повинні мати уніфікований струмовий сигнал 4-20мА, тому що він найбільш підходить до організації розподіленої системи керування на базі програмованих логічних контролерів.

Вибір програмованого логічного контролера повинен визначатися наступними критеріями:

- функціональні можливості контролера повинні повністю покривати коло завдань, що вирішуються при автоматизації даного технологічного процесу;

- характеристики контролера, що визначають його швидкодію повинні задовольняти потребам автоматичного керування;

- кількісні характеристики контролера, що визначають число і типи входів і виходів повинні бути оптимально співвіднесені з інформаційними характеристиками процесу;

- комунікаційні характеристики контролерів, тип мережі, використовувані протоколи і можливість сполучення з наявними і передбачуваними;

- обсяг постійної і оперативної пам'яті контролера повинен бути достатнім для розміщення та оптимального функціонування доданого програмного забезпечення. При цьому повинні враховуватися ціни контролерів і додаткового обладнання.

Для сушіння зерен кави використовується сублімаційна сушарка, розглянуто її технічні характеристики. Як об'єкт керування, кавосушарка відноситься до класу безперервних об'єктів, що сушить каву у холодному потоці. Важливий вимірювальний параметр системи автоматизації це температура кави на виході зони охолодження сублімаційної сушарки.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми системи керування

Головною функцією у системі керування сублімацією кави - є підтримання заданої температури у сушарці. Температура кави відповідає температурі повітря і приблизно дорівнює $15-20^{\circ}\text{C}$. У сушарці ми вимірюємо температуру кави за допомогою датчика температури $-50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Для перевірки вакууму ми використовуємо вакуумний датчик, який показує рівень тиску у нашій сушарці, що забезпечує якісне охолодження кави і збереження смакових функцій.

Охолодження кави відбувається за допомогою електроприводу який керує відкриванням засувки. Магнітний пускач використаємо для контролювання компресором холодоагенту та переміщення парів холодоагенту в холодильних установках. Максимальна температура у нашій сублімаційній машині може бути приблизно до $-100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. Для руху конвеєру з порціями кави використовуємо магнітний пускач.

Загальна структурна схема складається з декількох пунктів. Перша частина - це датчики і виконавчі пристрої, до яких входить датчик температури кави, датчик тиску, компресор, конвеєр, засувка. Друга частина - це аналіз і підтримка заданої температури, підтримання сталої швидкості конвеєра за допомогою системи керування. Третьою частиною є автоматизоване робоче місце для керування технологічним процесом .

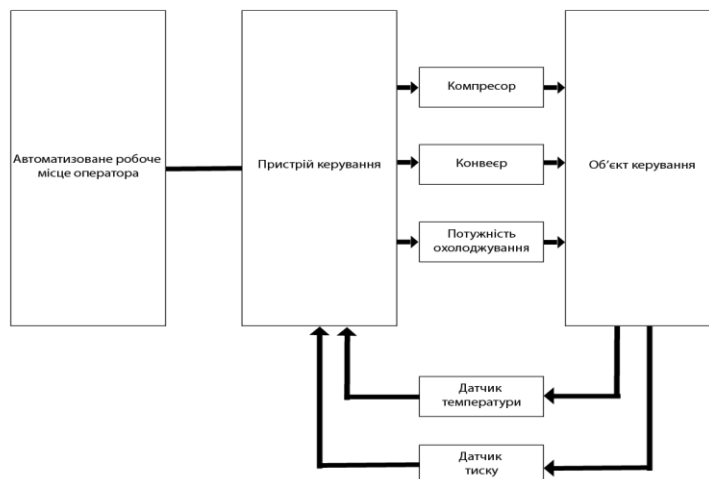


Рисунок 2.1 Загальна структурна схема системи керування

2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування

2.2.1 Вибір датчиків

Головним завданням системи керування є утримання температури кави у межах норми $-500\text{C} \pm 50\text{C}$. Температуро вимірювальний прилад знаходиться у внутрішній частині сублимаційної машини. Прилад для вимірювання температури повинен бути температуростійкий до максимальної мінусової температури у сублимаційній машині $-1000\text{C} \pm 100\text{C}$, таким чином термостійкість температуро-вимірювального приладу повинна бути не менше -1300C . За характеристиками нам підходить ОВЕН ДТПК045-0211.120 виготовлений з термопары «хром-алюміній», матеріал захисної арматури – сталь 08X20H14C2 з діапазоном вимірювання температури $-200\dots+900\text{ }^\circ\text{C}$, з ізольованим робочим спаєм, діаметром термоелектрода 1,2 мм, з металевією комутаційною головкою, довжиною монтажної частини 120 мм, у корпусі 045.



Рисунок 2.2- термодатчик ОВЕН ДТПК045-0211.120

Таблиця 2.1- технічні характеристики датчика ОВЕН ДТПК

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Аналоговий
2	Діапазон вимірюваних температур, °C	-200...900°C
3	Клас допуску	2
4	Точність, %	±0,5
5	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
7	Потужність споживання, Вт	1

Для спостереження і отримання інформації про тиск у сублимаційній машині ми використовуємо датчик тиску. Перетворювачі тиску MBS 1700 складаються з первинного перетворювача та електронного пристрою. Середовище під тиском подається в камеру первинного перетворювача і деформує його мембрану, що призводить до зміни електричного опору розташованих на ній напівпровідникових тензорезисторів, включених в ланцюг дільника напруги, в результаті чого первинний перетворювач видає сигнал напруги. Електронний пристрій перетворює електричний сигнал на уніфікований струмовий вихідний сигнал. MBS 1700 Danfoss за характеристиками підходить до використання в нашій сублимаційній машині і має вихідний сигнал 4...20 мА.



Рисунок 2.3- Датчик тиску MBS 1700 Danfoss

Таблиця 2.2- технічні характеристики датчика тиску MBS 1700

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип вимірювання	відносний тиск
2	Діапазон вимірювання	0...20 кг/см ²
3	Робоча середа	газ, рідина
4	Точність, %	0,5
5	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
6	Напруга живлення, В	9...32
7	Потужність споживання, Вт	1

Таблиця 2.3– Датчики

№	Найменування параметра	Принцип роботи	Тип	Діапазон вимірювання	Точність, %	Значення виходу	Період оновлення	Споживча потужність
1	Датчик температури	Перетворення температури в опір	Аналоговий	-200...900°C	0,5	4-20 мА	1 с	1 Вт
2	Датчик тиску	перетворення електричного сигналу на струмовий вихідний сигнал	Аналоговий	0...20 кг/см ²	0,5	4-20 мА	10 с	1 Вт

2.2.2 Вибір виконуючих пристроїв

Для охолодження кави до заданої температури -50°C ми використовуємо компресор який контролює постачання холодоагенту за допомогою засувки з електроприводом. Для цього ми обрали електропривод Belimo SM230A-S-TP який є приводом без зворотної пружини та застосовується для керування повітряними засувками площею до 4 м^2 у системах вентиляції та кондиціонування. Привід керується за 3-точковою схемою або за схемою відкрито/закрито. Який має одну групу вбудованих додаткових перемикачів. Час перебігу становить 150с.



Рисунок 2.4- електропривод Belimo SM230A-S-TP

Таблиця 2.4- технічні характеристики електроприводу Belimo SM230

№	Найменування параметра	Значення
1	Робоча напруга	380В
2	Напруга живлення	390В ~ 50/60 Гц
3	Діапазон номінального напруги	380 В
4	Розрахункова потужність	6 ВА
5	Потужність	2,5 Вт
6	Час повороту	150 с
7	Діапазон вимкнення робочої напруги котушки керування	30-60% U_s

Електропривод буде керувати засувку Батерфляй для газу Ayvaz KV-9 з чавунним диском Ду 65. Особливості Дросельні засувки серії AYVAZ KV 9 сконструйовані та розроблені для міжфланцевих застосувань за стандартами DIN, ANSI та S, а також для ручного затвора. Диск та прокладка знімні, а також завод виробник має широкі можливості виготовлення та виконання на замовлення з різних видів матеріалів сировини. Стандартні застосування: Природний газ, скраплений газ, прісна вода, солоня вода, гаряча вода, морська вода, відкрите повітря, кислотності.



Рисунок 2.5- засувка Батерфляй для газу Ayvaz KV-9

Для керування конвеєром використовуємо магнітні пускачі Аско ПМ 3-50 призначений для запуску, зупинки і реверсування асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Також пускач АСКО може застосовуватися для керування різними активними та індуктивними навантаженнями. Трьох та чотириполюсні електромагнітні пускачі низької напруги серії ПМ, в комбінації з тепловим реле, представляють собою поширений засіб захисту і комутації електричних двигунів.



Рисунок 2.6- пускач Аско ПМ 3-50

Таблиця 2.5- технічні характеристики пускача Аско ПМ 3-50

№	Найменування параметра	Значення
1	Номинальний струм	50А
2	Номинальна напруга,	220В/380В
3	Номинальна напруга котушок	24; 36; 42; 110; 220; 380 В
4	Додаткові контакти	1НО+1НЗ
5	Ступінь захисту	IP 20

Компресор холодоагенту керується за допомогою магнітного пускача АСКО серії ПМ 1-09-10 220В призначений для керування запуском, зупинкою та реверсуванням асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Крім того, цей пускач може використовуватися для керування різними активними та індуктивними навантаженнями. Електромагнітні пускачі серії ПМ з трьох і чотириполюсними контактами низької напруги, в поєднанні з тепловим реле, є поширеним засобом захисту та перемикання електричних двигунів.



Рисунок 2.7- магнітний пускач АСКО серії ПМ 1-09-10 220В

Таблиця 2.6- технічні характеристики пускача Аско ПМ 3-50

№	Найменування параметра	Значення
1	Номінальний струм	9А
2	Номінальна напруга,	220В/380В
3	Номінальна напруга котушок	24; 36; 42; 110; 220; 380
4	Додаткові контакти	1НО
5	Ступінь захисту	IP 20

Таблиця 2.7 Виконавчі пристрої

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Період оновлення	Напруга живлення, В	Потужність споживання, Вт
1	Потужність охолодження	Реверсивне	Дискретний	0...100 %	Не лінійний	-	380	2,5
2	Привід конвеєру	Магнітний пускач	Дискретний	Вкл/Викл	Не лінійний	-	220	3
3	Компресор	Магнітний пускач	Дискретний	Вкл/Викл	Не лінійний	-	220	10

2.2.3 Вибір пристроїв керування

Для керування процесом охолодження кави ми обрали контролер компанії VIPA 200V. System VIPA 214-2BE03 - модульний ПЛК, призначений для реалізації централізованих і розподілених систем керування. Програмується за допомогою WinPLC та/або STEP7 компанії Siemens. Компактна конструкція та підтримка системи команд Simatic S7-300 забезпечують високу ефективність застосування пристроїв цієї серії. Наявність у складі серії різних інтерфейсних

та комунікаційних модулів дозволяє використовувати контролери у розподілених системах керування з комплексною мережевою структурою.

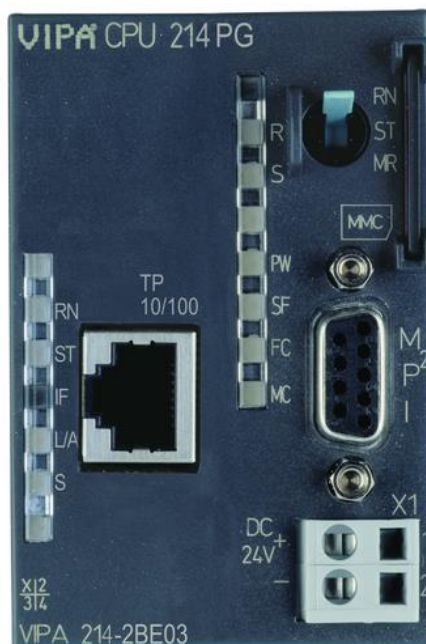


Рисунок 2.8- контролер VIPA 214-2BE03

Таблиця 2.8- Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BE03

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	VIPA 214-2BE03
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

Щоб підключити датчики температури до програмного контролера треба використати модуль аналогових входів у діапазоні від 4 до 20 мА. Для вирішення цієї задачі ми обрали модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40.



Рисунок 2.9- модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Таблиця 2.9- Технічні характеристики модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0.6

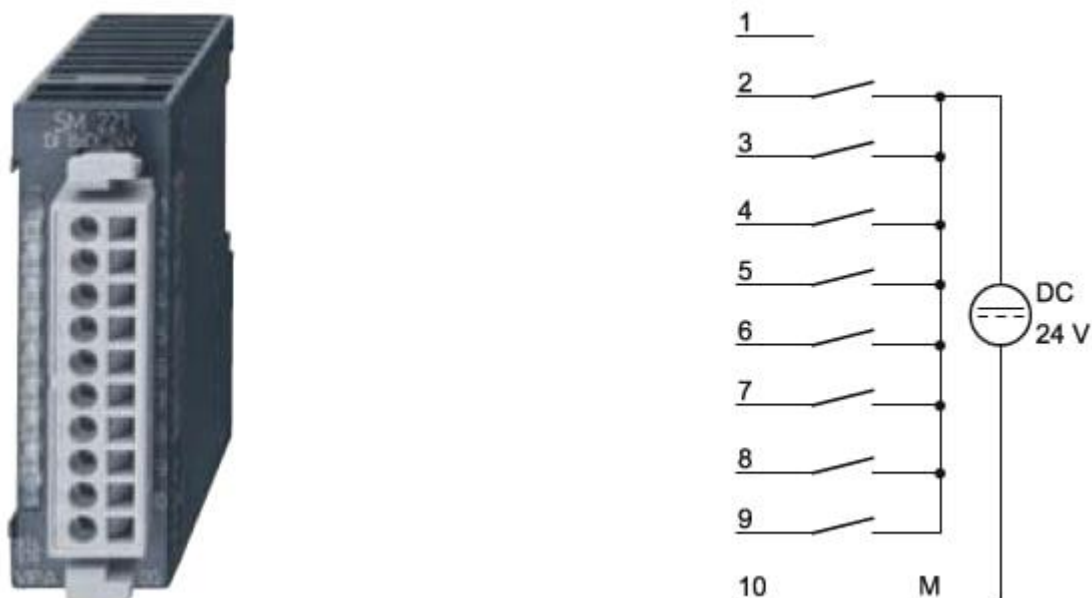


Рисунок 2.10 – Схема підключення модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Для підключення електроприводу і пускача нам потрібно використати модуль дискретного виходу з діапазоном сигналу від 0 до 10 В. Для виконання умов підходить VIPA 222-1BF00.



Рисунок 2.11- модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00

Таблиця 2.10- Технічні характеристики модуль дискретного виводу
VIPA 222-1BF00

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 222
2	Кількість каналів	8
3	Тип каналу	Дискретний
4	Діапазон вихідного сигналу, В	0...24
5	Максимальний струм вихідного сигналу, А	1
6	Довжина екранованого провідника, м	600
7	Споживана потужність, Вт	2

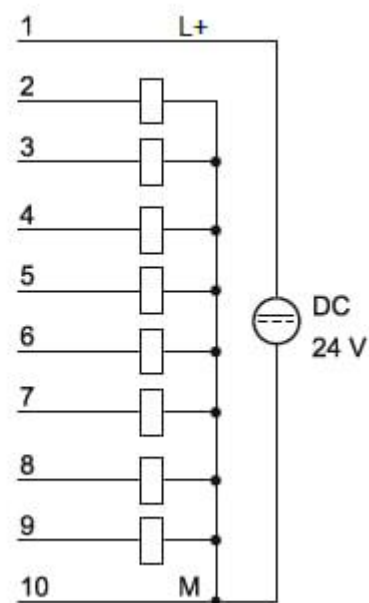


Рисунок 2.12 – Схема підключення модулю дискретного виводу VIPA 222-
1BF00

Визначимо потужність наших приладів керування

Таблиця 2.11 – Пристрій керування та його модулі

№	Найменування	Пристрій	Потужність
1	VIPA 214-2BE03	Центральний процесорний модуль	6,00 Вт
2	VIPA 234-1BD40	Модуль аналогового вводу	0,6 Вт
3	VIPA 222-1BF00	модуль дискретного виводу	4 Вт

2.2.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер VIPA 214-2BE03 і його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна споживана потужність програмованого логічного контролера і його модулів:

$$P = 6.00 + 0.6 + 4 = 10,4 \text{ Вт}$$

Робимо висновок що в якості джерела постійної напруги обрано джерело живлення SPD24301 потужністю 30 Вт і має вихідну напругу 24 В. Функціонал АС/DC-перетворювачів Carlo Gavazzi включає захист від короткого замикання, захист від перевантажень (обмеження величини постійного струму на виході), захист від перенапруги, захист від перегріву та можливість підстроювання вихідної напруги з передньої панелі.



Рисунок 2.14 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Таблиця 2.13 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

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

Проаналізував використане обладнання ми використали датчики температури і тиску, електропривод який керує засувкою, магнітні пускачі. Зробимо розрахунок потужності споживання за напруги живлення 24 В:

$$P = 1 + 1 + 2,5 + 3 + 10 = 17,5 \text{ Вт.}$$

Після отриманих розрахункових даних робимо висновок що для забезпечення постійної напруги підходить SPD24301 потужністю 30 Вт, з вихідною напругою 24В.

2.4 Розробка функціональної схеми автоматизації

За вимогами до системи керування процесом сублімації кави за допомогою охолодження і аналізом обладнання була розроблена функціональна схема автоматизації.

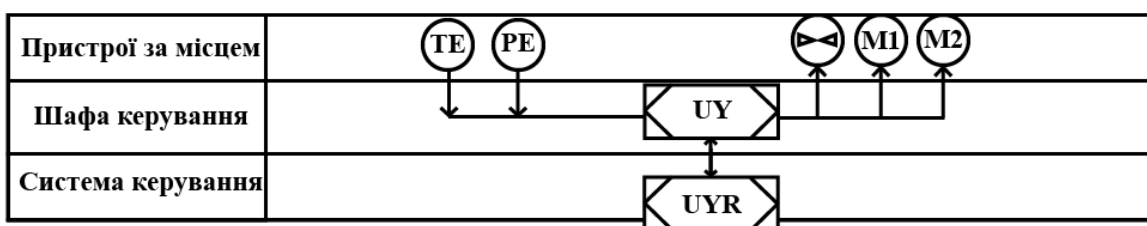
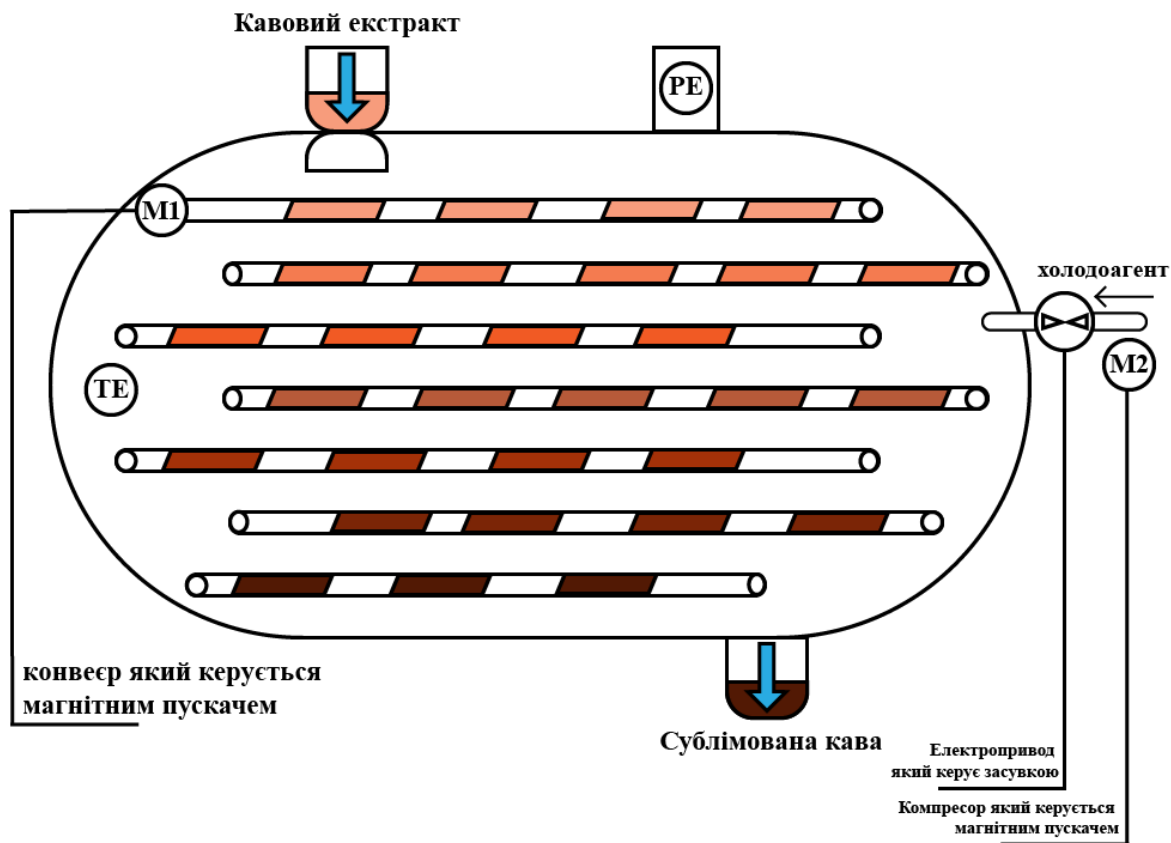


Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сублімації кави

Програмований логічний контролер (UY – VIPA 214-2BE03) ми використовуємо як пристрій керування. За допомогою пульта оператора (UYR – Персональний комп'ютер) ми слідкуємо за ходом технологічного процесу і керуємо логічним контролером.

За допомогою термодатчика (TE – ОВЕН ДТПК045-0211.120) ми вимірюємо температуру кави у сублімаційній сушарці. Датчик тиску (PE – MBS 1700 Danfoss) відповідає за рівень тиску у процесі сублімації кави. На основі отриманих даних програмований логічний контролер (UY – VIPA 214-2BE03) дає сигнал на електропривод (Belimo SM230A-S-TP) який керує засувкою, на магнітний пускач (M1 – Аско ПМ 3-50) який керує конвеєром і на магнітному пускачі (M2 – Аско серії ПМ 1-09-10 220В) який керує компресором.

2.5 Розробка схеми електричної принципової

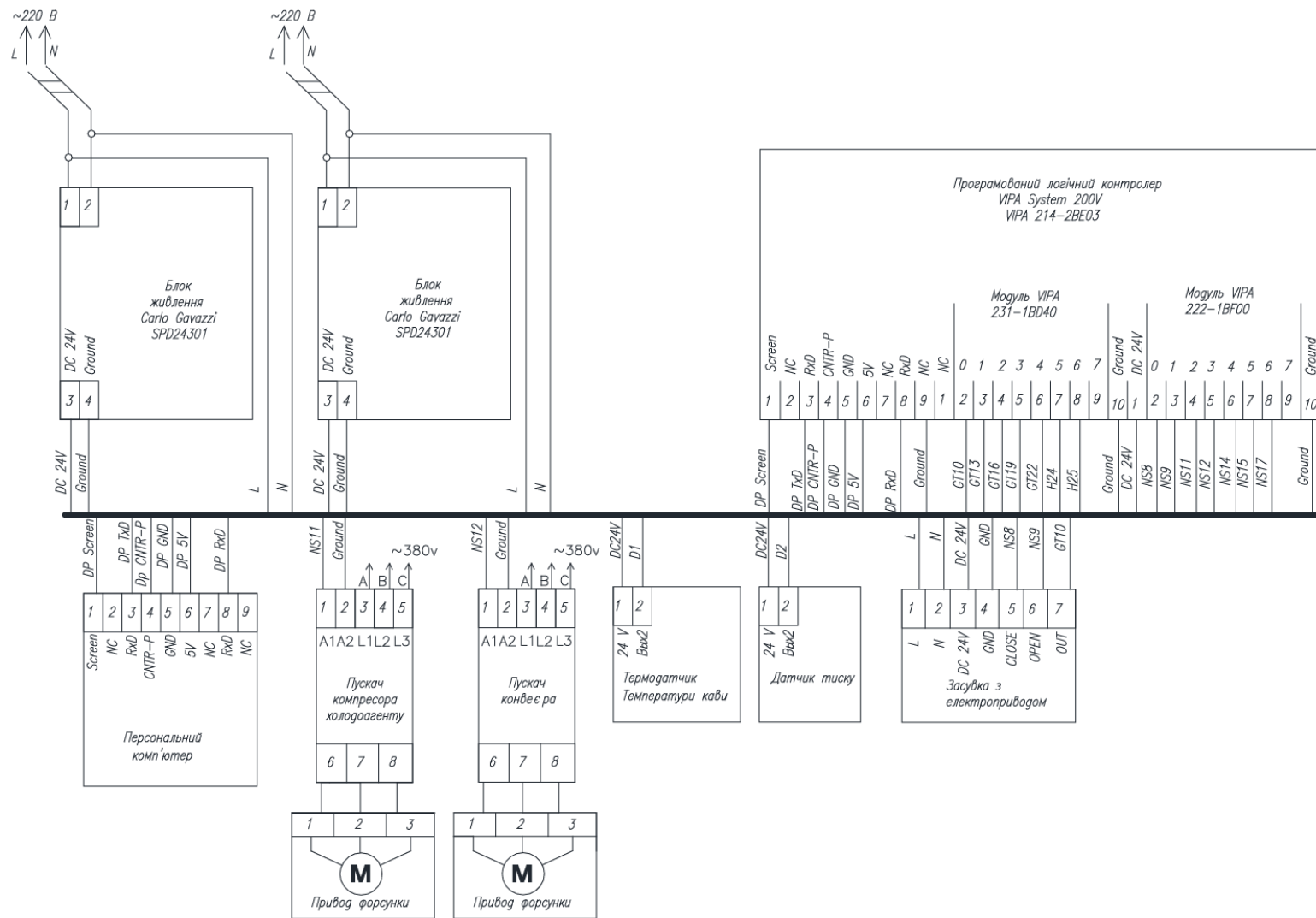
Був розроблений перелік елементів та принципова електрична схема системи керування охолодження кави в сублімаційній сушці на основі функціональної схеми (рис. 2.9) автоматизації та вибраного апаратного забезпечення.

У системі використовуються два джерела живлення Carlo Gavazzi SPD24301. Перше джерело живлення підключене до модуля аналогового вводу VIPA 234-1BD40 та модуля аналогового виводу VIPA 222-1BF00, а також до програмованого логічного контролера VIPA 214-2BE03. Друге джерело живлення використовується для магнітного пускача АСКО серії ПМ 1-09-10 220В, який відповідає за рух конвеєру, та для пускача Аско ПМ 3-50, що керує компресором. Параметри системи керування можуть бути задані через персональний комп'ютер, що виконує функцію пульта оператора. Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером встановлюється.

Температура кави на виході зони охолодження сублімаційної сушарки вимірюється за допомогою термодатчика ОВЕН ДТПК045, а тиск вимірюється за допомогою датчика тиску MBS 1700 Danfoss. Токовий вихід 4-20 мА

підключений до модуля аналогового вводу/виводу програмованого логічного контролера.

Керування температурою агента сублимації здійснюється програмованим логічним контролером за допомогою модуля аналогового вводу/виводу. Процес охолодження здійснюється за допомогою подачі 24В на електропривод, який керує засувкою.



2.6 Висновки до розділу

У відповідності до вимог системи автоматизованого керування охолодження кави, була підготовлена структурна схема, обрано необхідне апаратне забезпечення та розроблено технічну документацію, що складається з таких документів: функціональна схема автоматизації, електрична принципова схема та перелік елементів.

3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи

Для виконання кваліфікаційної роботи нам було видано інформацію про проведення досліду з сублимації кави, процес активного експерименту, дані для обробки. Розглянемо модель керування.

За допомогою людино-машинного інтерфейсу є можливість налаштувати керуючий вплив. Перетворення з фізичних одиниць в цифрові значення відбувається за допомогою керуючого впливу. 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. Значення температури кави і тиску у системі вимірюється за допомогою датчиків з діапазоном від 4 до 20 мА.

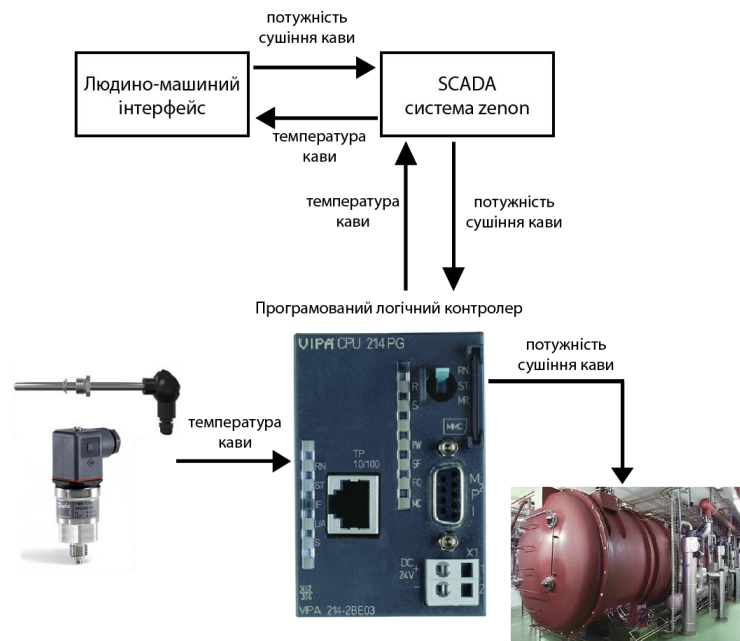


Рисунок 3.1 – Структура системи дослідження об'єкта керування

3.2 Розробка методики дослідження об'єкта керування

За кваліфікаційною роботою ми отримали готовий процес дослідження активного експерименту. Під час ідентифікації об'єкта була отримана математична модель об'єкта керування, динамічна характеристика, данні для побудови статичної характеристики, П-образна характеристика керуючого впливу, та перевірочні данні.

План експерименту:

1. Динамічна характеристика;
 - 1.1 Початковий стан (температура кави сягає 20°C);
 - 1.2 Пуск системи реєстрації даних;
 - 1.3 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -50°C (100%);
 - 1.4 Перехідний процес завершується;
 - 1.5 Вимкнення системи реєстрації даних;
2. Статична характеристика;
 - 2.1 Початковий стан (температура кави сягає 20°C);
 - 2.2 Пуск системи реєстрації даних;
 - 2.3 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -10°C або 20%;
 - 2.4 Перехідний процес завершується;
 - 2.5 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -20°C або 40%;
 - 2.6 Перехідний процес завершується;
 - 2.7 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -30°C або 60%;
 - 2.8 Перехідний процес завершується;
 - 2.9 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -40°C або 80%;
 - 2.10 Перехідний процес завершується;

2.11 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -50°C або 100%;

2.12 Перехідний процес завершується;

2.13 Вимкнення системи реєстрації даних;

3. П-подібна характеристик;

3.1 Початковий стан (температура кави сягає 20°C);

3.2 Пуск системи реєстрації даних;

3.3 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -50°C або 100%;

3.4 Перехідний процес завершується;

3.5 Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням 0°C або 0%;

3.6 Перехідний процес завершується;

3.7 Вимкнення системи реєстрації даних;

4. Перевірочні дані;

4.1 Початковий стан (температура кави сягає 20°C);

4.2 Пуск системи реєстрації даних;

4.3 Початок охолодження протягом 30000 с з різними значеннями вибраними випадково від 0 до 100%;

4.4 Вимкнення системи реєстрації даних;

3.3 Виконання експерименту

Приводимо систему до початкового стану для зняття динамічної характеристики (температура кави сягає 20°C). Запускаємо систему реєстрації даних. Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням -50°C (100%) і очікуємо кінець перехідного процесу. Отримуємо динамічну характеристику після вимикання системи. (рис 3.2).

Приводимо систему до початкового стану для зняття статичної характеристики при якій кава має температуру 20°C . Запускаємо систему реєстрації даних. Початок охолодження за допомогою подачі керуючого

впливу зі значенням $0^{\circ}\text{C}(0\%)$ і очікуємо кінець 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. Отримуємо статичну характеристику після вимикання системи (рис. 3.3).

Приводимо систему до початкового стану для зняття П-образної характеристики (температура кави сягає 20°C). Запускаємо систему реєстрації даних. Початок охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням (100%) і очікуємо кінець перехідного процесу. По його завершенню вмикаємо систему реєстрації даних, та подаємо східчасті впливи зі значенням 0 очікуємо кінець перехідного процесу. Отримуємо П-образну після вимикання системи (рис 3.4).

Приводимо систему до початкового стану для отримання перевірочних даних (температура кави сягає 20°C). З інтервалом в 125 секунд починаємо охолодження за допомогою подачі керуючого впливу зі значенням від 0 до 100%. Завершуємо перехідний процес через 30000 і отримаємо перевірочні дані після вимикання системи (рис. 3.5).

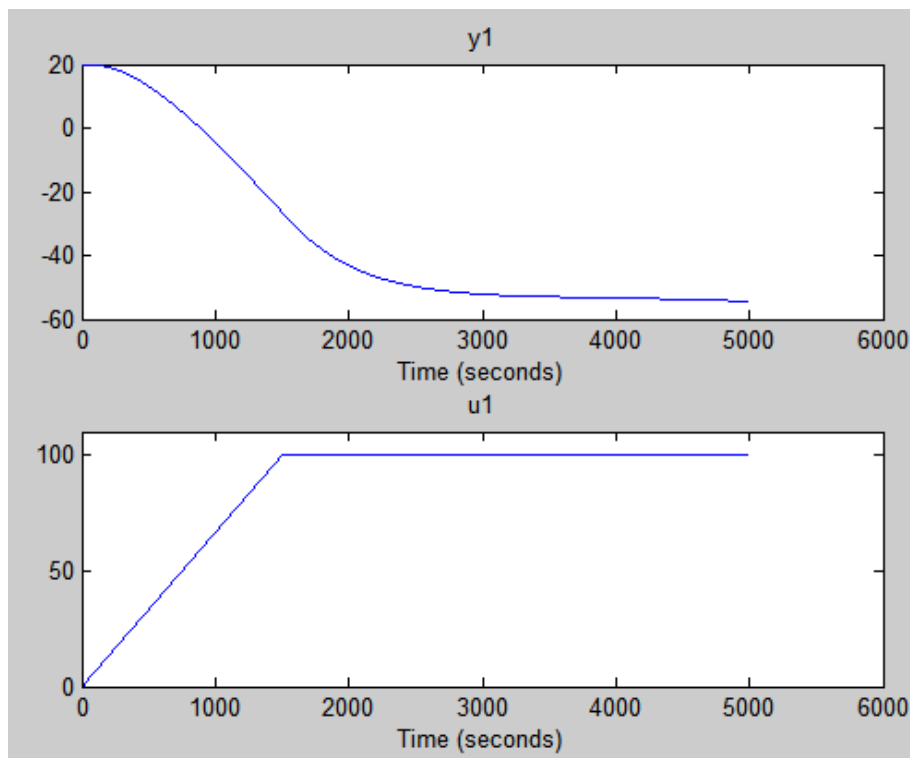


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

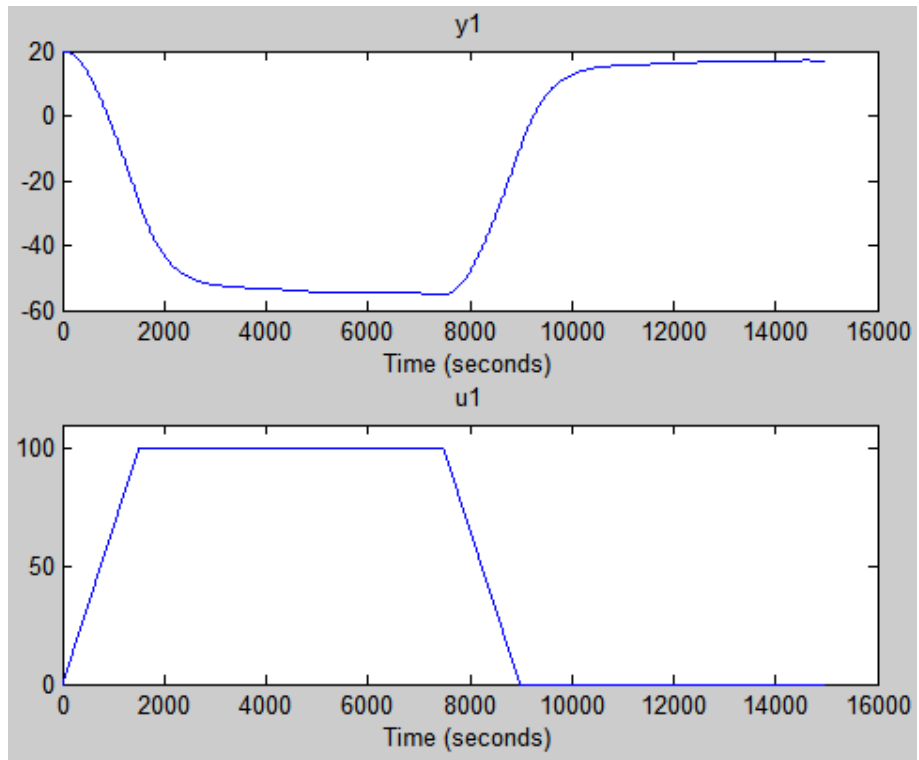


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

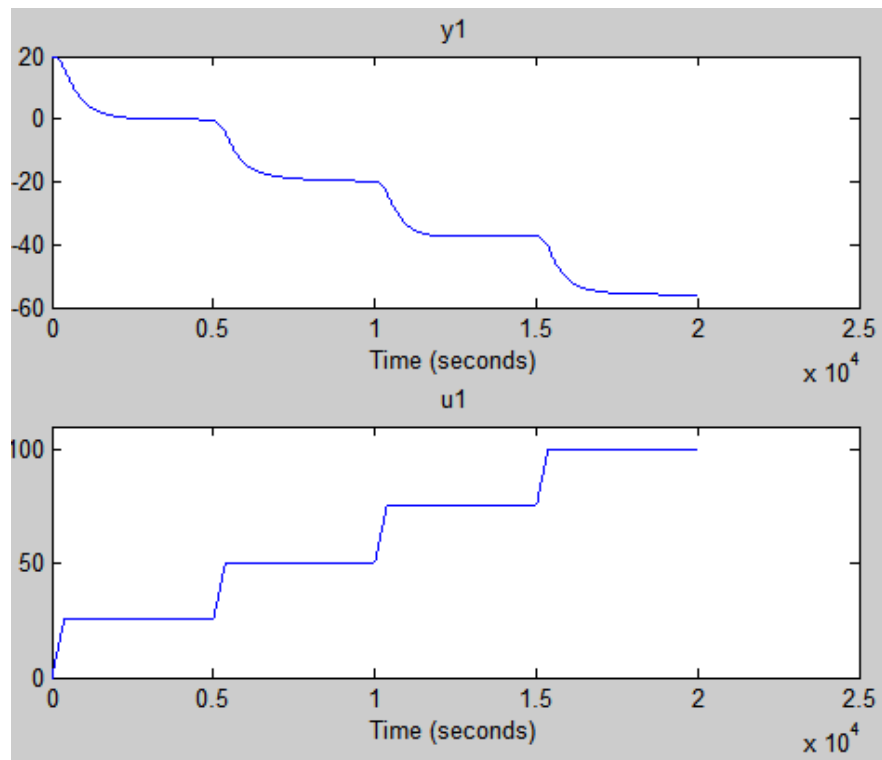


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

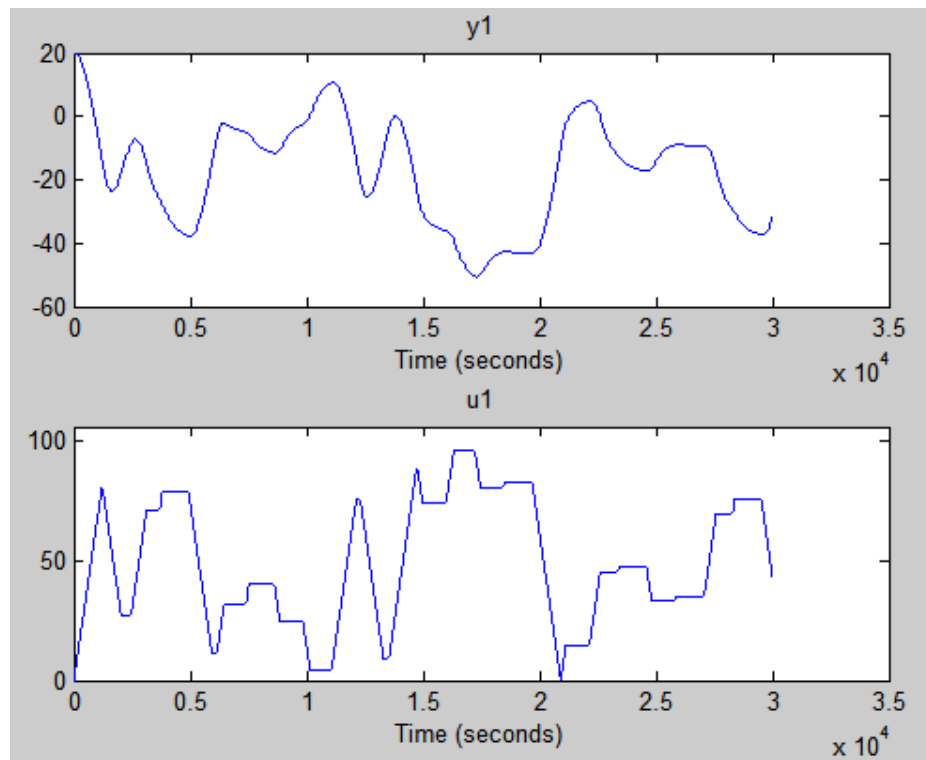


Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

3.4 Обробка результатів експерименту

3.4.1 Підготовка даних

Дані експерименту, представлені у вигляді текстових файлів, до яких занесена послідовність штампів часу з відповідними значеннями параметрів. Ці дані імпортуються у вигляді змінних до математичного пакету MATLAB за допомогою інтегрованих до нього функцій.

Динамічні характеристики позначаються як "Dynamic_Input" для вхідних даних та "Dynamic_Output" для вихідних даних. Статичні характеристики позначаються як "Static_Input" для вхідних даних та "Static_Output" для вихідних даних, які використовують для їх побудови. Дані, отримані при П-образному керуючому впливі, позначаються як "P_Input" для вхідних даних і "P_Output" для вихідних даних. Для перевірки використовують вхідні дані під назвою "Check_Input" та вихідні дані під назвою "Check_Output". Суфікс "_Input" вказує на вплив управління, а суфікс "_Output" вказує на фактичне значення.

Name ▲	Value
Check_Input	30001x1 double
Check_Output	30001x1 double
Check_Row	30001x1x1 iddata
Dynamic_Input	5001x1 double
Dynamic_Output	5001x1 double
Dynamic_Row	5001x1x1 iddata
P_Input	15001x1 double
P_Output	15001x1 double
P_Row	15001x1x1 iddata
Static_Input	20001x1 double
Static_Output	20001x1 double
Static_Row	20001x1x1 iddata

Рисунок 3.6 – Імпортовані данні

Для полегшення подальшого аналізу дані були перетворені на об'єкти типу **"iddata"**.

```

Dynamic_Row=iddata(Dynamic_Output, Dynamic_Input, 1);
Static_Row=iddata(Static_Output, Static_Input, 1);
P_Row=iddata(P_Output, P_Input, 1);
Check_Row=iddata(Check_Output, Check_Input, 1);
Видаляємо статичну складову з отриманих даних:
offset = max (Dynamic_Row.OutputData);
trend = getTrend(Dynamic_Row);
rend.OutputOffset = offset;
Dynamic = detrend(Dynamic_Row, trend);
offset = max (Static_Row.OutputData);
trend = getTrend(Static_Row);
trend.OutputOffset = offset;
Static = detrend (Static_Row, trend);
offset = max (P_Row.OutputData);
trend = getTrend(P_Row);
trend.OutputOffset = offset;
P = detrend (P_Row, trend);
offset = max (Check_Row.OutputData);
trend = getTrend(Check_Row); trend.OutputOffset = offset;
Check = detrend (Check_Row, trend);

```

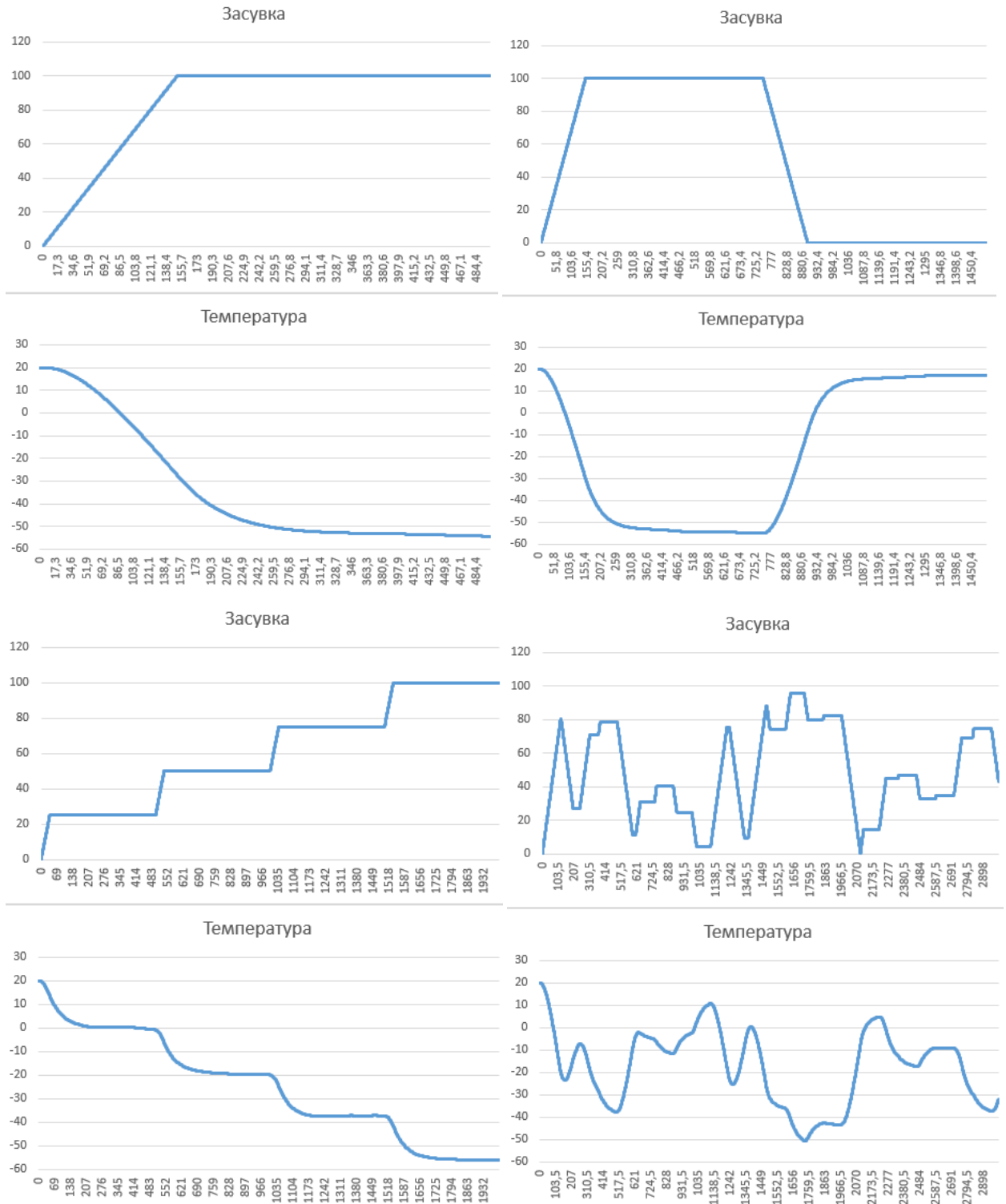


Рисунок 3.7 – Динамічна, статична, П-образна та перевірна характеристики з видаленими статичними складовими

3.4.2 Структурна ідентифікація

Проаналізувавши динамічну характеристику (рис. 3.8) встановлено, що існує час транспортного запізнення на з'явлення вихідного сигналу. Цей час

транспортного запізнення складається з часу запізнення на переніс охолодженого повітря від засувки до сублимаційної сушилки та проходження холодного повітря через емульсію кави, та часу запізнення на охолодження кави під час руху у сублимаційній сушці, та складає приблизно $43-1=42$ с.

На динамічній характеристиці чітко виражено два перегони, 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.

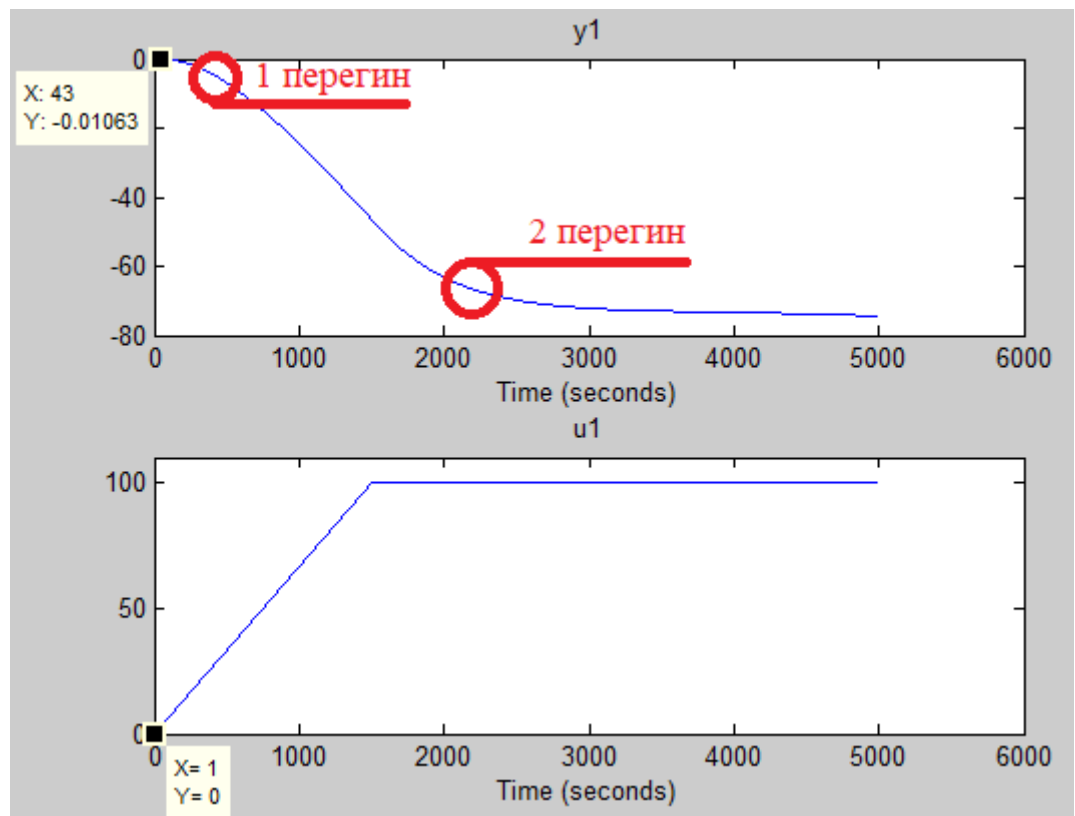


Рисунок 3.8 – Аналіз динамічної характеристики

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.9).

```
Static_In = [0, -21, -40, -57, -75];
Static_Out = [0, 25, 50, 75, 100];
figure('Name', 'Статична характеристика');
plot(Static_In, Static_Out, 'LineWidth', 2.0, 'Color',
'g','Marker', 'o', 'MarkerSize', 10.0, 'MarkerEdgeColor',
'b','MarkerFaceColor', 'y');
xlabel('Кава, °C');
ylabel('Засувка, %');
```

```

set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'), 'FontSize', 14);
set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New
Roman'); set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight',
'bold');

```

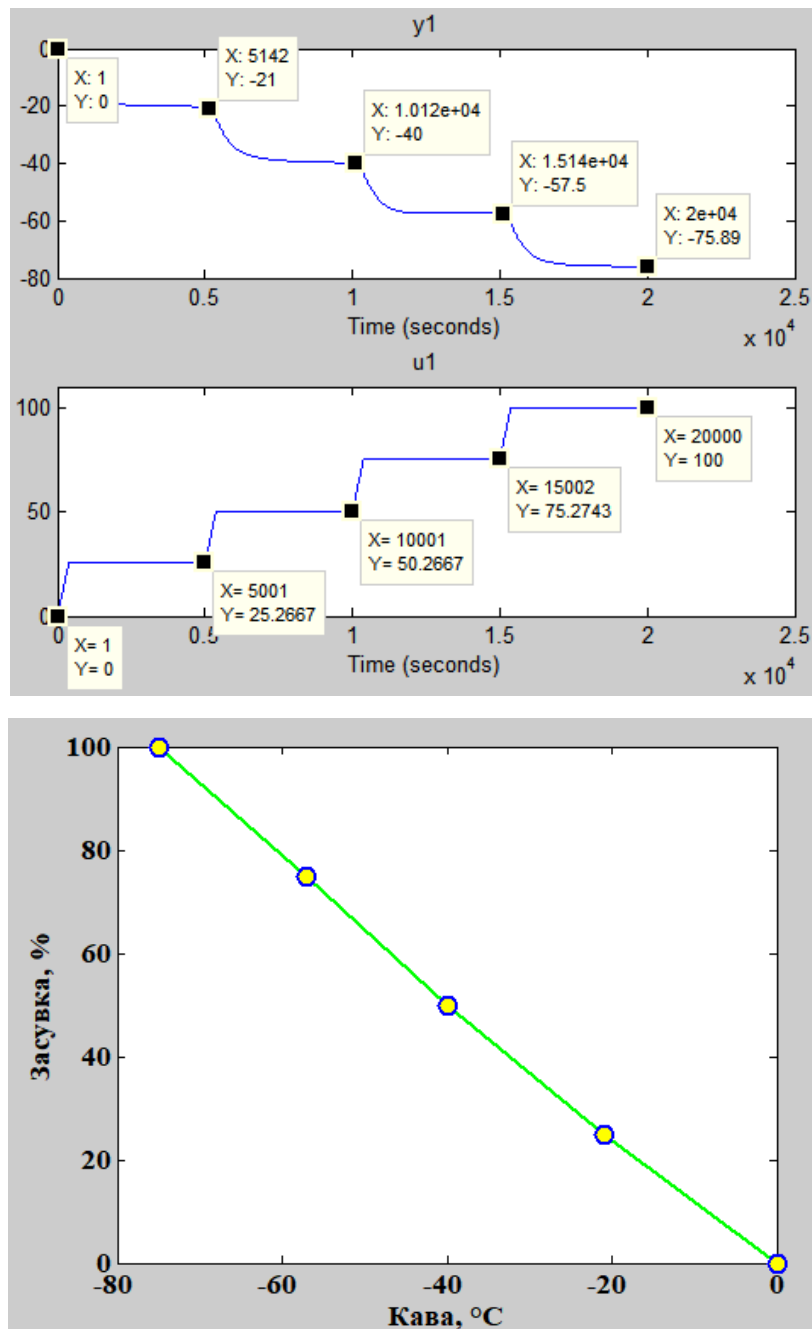


Рисунок 3.9 – Статична характеристика

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх потужностей крім нульової:

```
Static_Gain = Static_Output(2 : end) ./ Static_Input(2 : end)
```

Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення:

```
Static_Gain_min = min(Static_Gain); Static_Gain_max =
max(Static_Gain);
```



```

    Static_Gain_Compare = abs((Static_Gain_min -
Static_Gain_max) / Static_Gain_max / 100);
    fprintf('\nМаксимальне відхилення коефіцієнту підсилення: %.2f
%%\n\n', Static_Gain_Compare);
    Static_Gain =
        -1.1905    -1.2500    -1.3158    -1.3333

```

Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 0.01%

Об'єкт керується лінійним на основі його статичних характеристик і отриманих коефіцієнтів посилення в нашому розділі досліджуваних керуючих впливів. Для опису цього об'єкта можуть бути використані лінійні моделі. Врахуйте, що відхилення коефіцієнта посилення в нашій області менше, ніж 10% від величини технічної похибки.

Для аналізу симетричності об'єкта керування, його характеристика, отримана при П-образному впливі, була розбита на дві частини: ділянку підйому і ділянку спаду.

```

    nRiseStart = find(P.InputData ~= 0, 7500, 'first'); nRiseStop =
find(P.InputData ~= 0, 7500, 'last'); nFallStart = nRiseStop + 1;
    nFallStop = length(P.InputData);
    P_Rise = P.OutputDat(nRiseStart : nRiseStop); P_Fall =
P.OutputDat(nFallStart : nFallStop);
    if (length(P_Rise) > length(P_Fall)) P_Rise = P_Rise(1 :
length(P_Fall));
    else end
    P_Fall = P_Fall(1 : length(P_Rise));
    figure('Name', 'Аналіз симетричності П-характеристики');
    hold('on');
    plot(P_Rise, 'LineWidth', 4.0, 'Color', 'y');
    plot(P_Fall, 'LineWidth', 4.0, 'Color', 'g'); hold('off');
    xlabel('Час, с');
    ylabel('Кава, °C');
    set(findall(gcf, '-property', 'FontSize'), 'FontSize', 14);
    set(findall(gcf, '-property', 'FontName'), 'FontName', 'Times New
Roman'); set(findall(gcf, '-property', 'FontWeight'), 'FontWeight',
'bold');

```

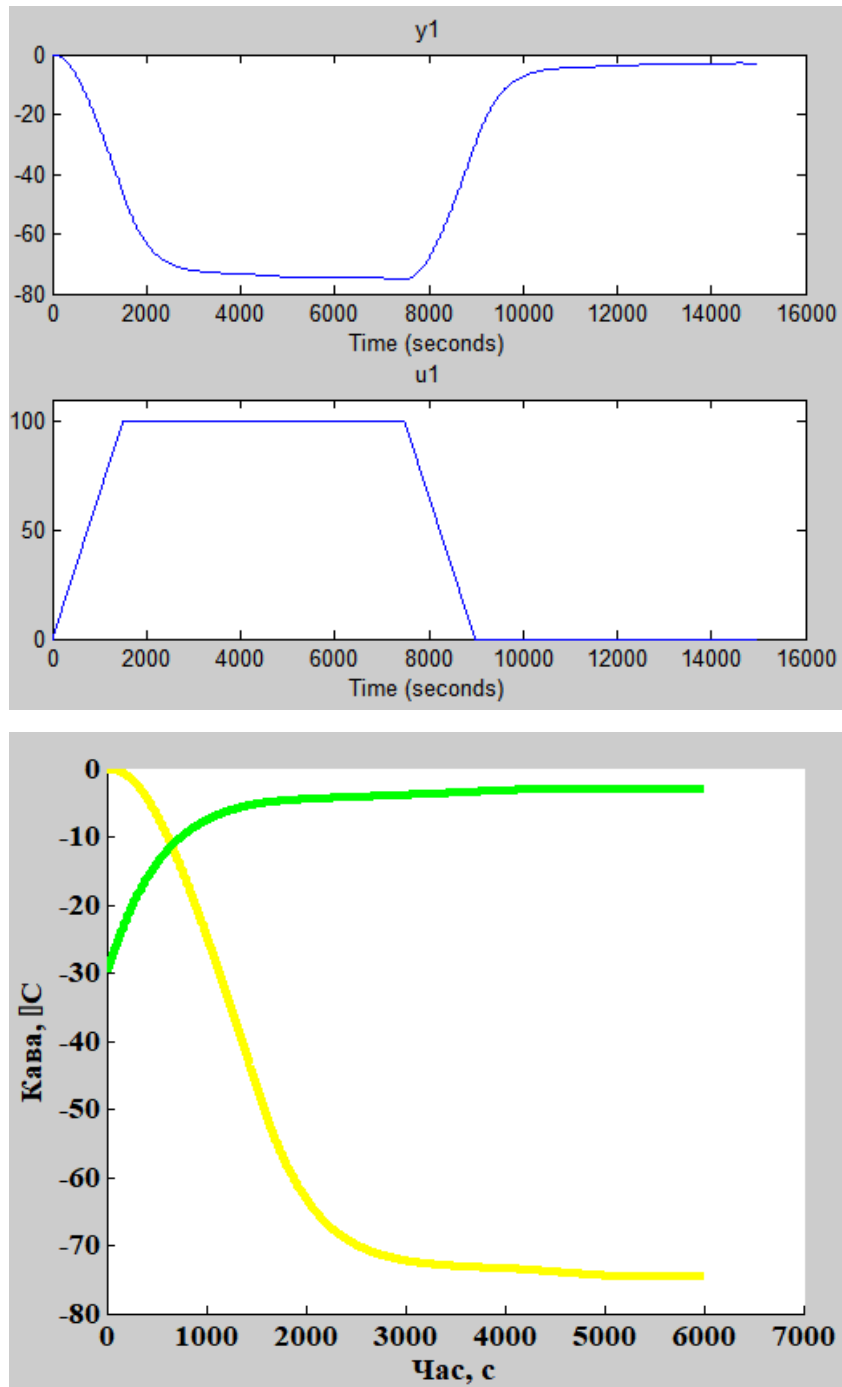


Рисунок 3.10 – Графічний аналіз під час П-подібного збурення

Порівняння ділянок підйому та спаду виконувалася через порівняння стандартних середнє квадратичних відхилень:

```
compareRiseFall = abs(1 - (std(P_Fall) / std(P_Rise))) * 100;
fprintf('\nПорівняння ділянок підйому та спаду: %.2f
%%\n\n', compareRiseFall);
```

Порівняння ділянок підйому та спаду: 0.79 %

Після аналізу П-характеристики було встановлено, що середнє квадратичне відхилення об'єкта керування менше за 10% величини технічної похибки. Це означає, що час перехідного процесу, форма і стандартне середнє квадратичне відхилення ділянок підйому та спаду є однаковими. З цього можна зробити висновок, що об'єкт керування є симетричним і може бути описаний однією лінійною моделлю.

Результати структурної ідентифікації показали, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсних від'ємних домінуючих корені і ланку чистого запізнення. З цих результатів можна висновувати, що об'єкт керування може бути описаний аперіодичною ланкою другого або вищого порядку з запізненням.

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}$$

де $W(s)$ – передавальна функція моделі об'єкта керування;

s – оператор диференціювання;

k – коефіцієнт посилення;

τ – час запізнення, с;

T_1, T_2 – постійні часу, с.

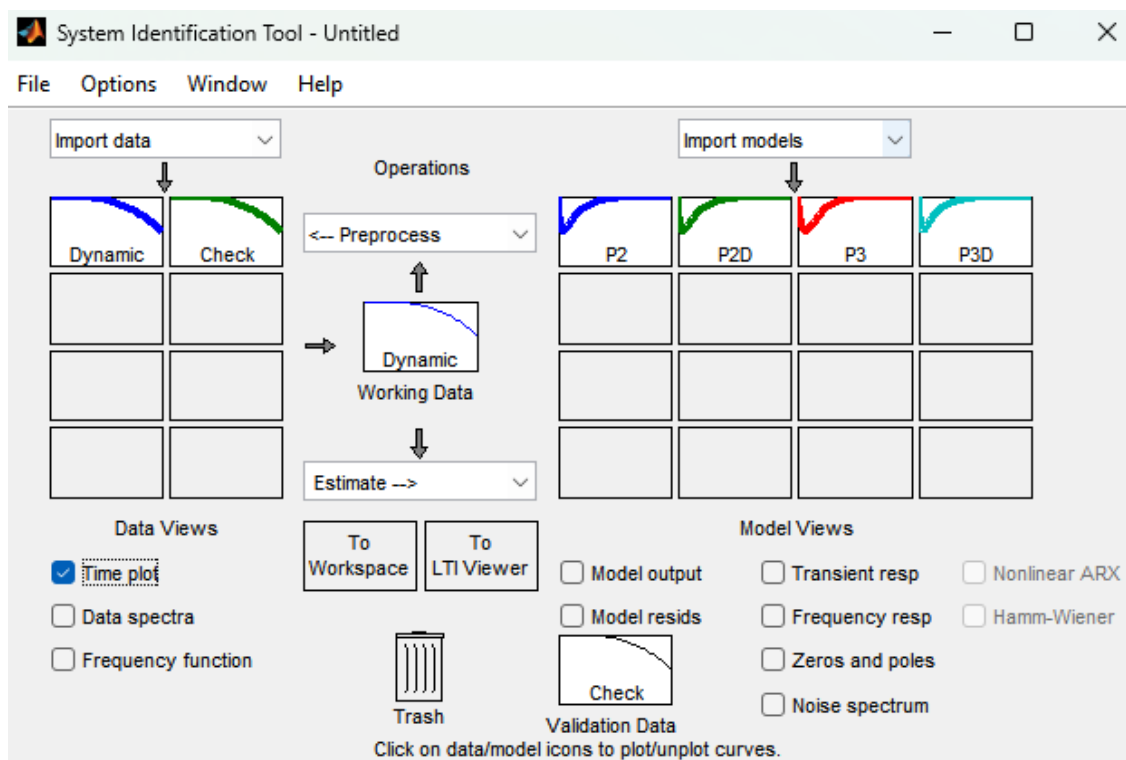
3.4.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox, яке входить до складу математичного пакета MATLAB та запускається командою `ident`.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.11)

імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic». Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.12. Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.12 та в табл. 3.1.



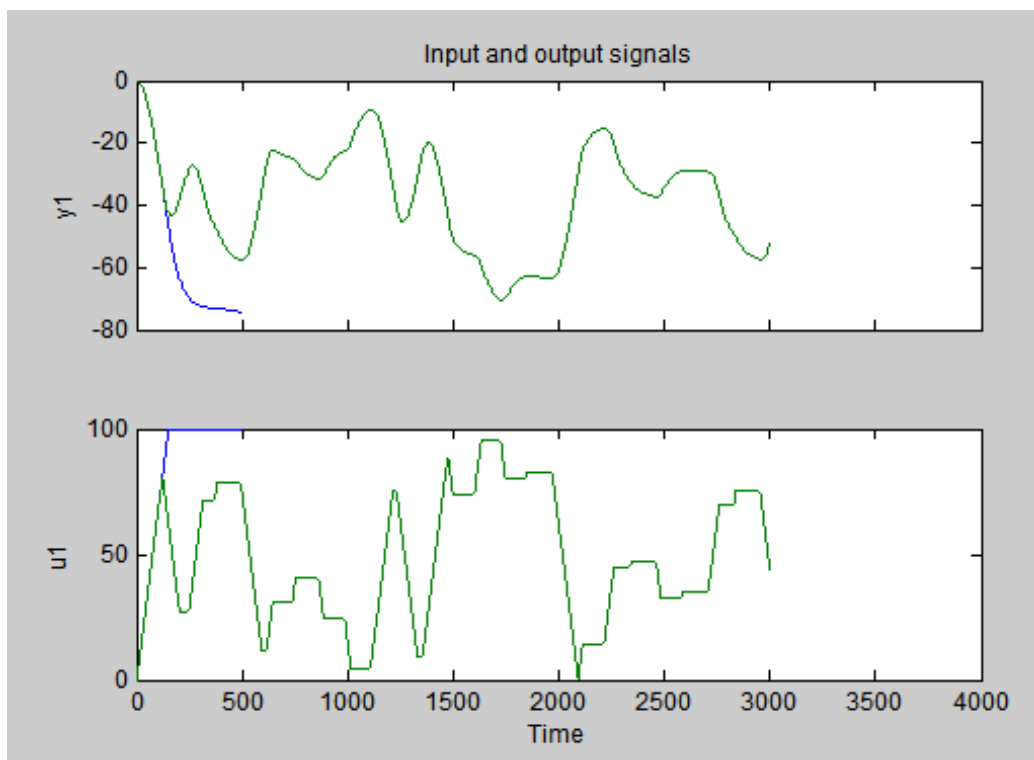


Рисунок 3.11 – Налаштування System Identification Toolbox

Розрахунок параметрів виконувався через метод Process Models для аперіодичних ланок другого та третього порядку без запізнення та с запізненням (рис. 3.12)

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2:

K_p
 $G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)}$
 $K_p = -0.73777 \pm 4.3227e-05$
 $T_{p1} = 52.037 \pm 0.044936$
 $T_{p2} = 6.8505 \pm 0.037886$
 Fit to estimation data: 84.6%
 FPE: 0.02775, MSE: 0.0277

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

K_p
 $G(s) = \frac{K_p \exp(-T_d s)}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)}$
 $K_p = -0.73778 \pm 6.601e-05$
 $T_{p1} = 52.053 \pm 0.05593$
 $T_{p2} = 6.8331 \pm 0.38044$
 $T_d = 0 \pm 0.35344$

Fit to estimation data: 84.6%

FPE: 0.0832, MSE: 0.0277

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3:

K_p

$G(s) =$

$(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)$

$K_p = -0.7163 \pm 0.003088$

$T_{p1} = 29.693 \pm 5.8278$

$T_{p2} = 0.23136 \pm 1.9911$

$T_{p3} = 67.767 \pm 5.8173$

Fit to estimation data: 65.19=8%

FPE: 49.85, MSE: 44.51

Параметри ідентифікації за методом Process Models P3D:

K_p

$G(s) = * \exp(-T_d*s)$

$(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)$

$K_p = -0.72286 \pm 0.00071994$

$T_{p1} = 59.559 \pm 0.91135$

$T_{p2} = 4.8289 \pm 1.978$

$T_{p3} = 0.75421 \pm 48.966$

$T_d = 2.0728 \pm 48.08$

Fit to estimation data: 79.5%

FPE: 5.955, MSE: 5.839

На рисунку 3.12 та в таблиці 3.1 показана відповідність отриманих моделей P2, P2D, P3 та P3D до перевіірочних даних, отриманих на об'єкті керування "Check", використовуючи "Model output".

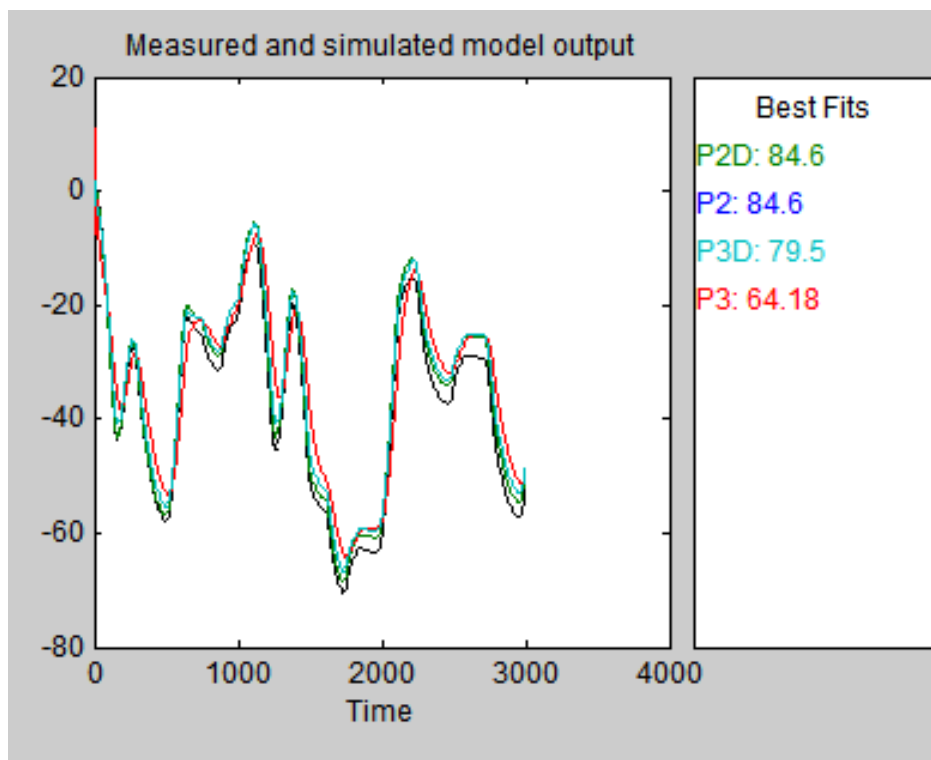


Рисунок 3.12 – Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 3.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P2	P2D	P3	P3D
k	-0.73777	-0.73778	-0.7163	-0.72286
T_1, c	52.037	52.053	29.693	59.559
T_2, c	6.8505	5.3825e-05	0.23136	4.8289
T_3, c	–	–	67.767	0.75421
τ	–	6.8331	–	2.0728
Динамічна характеристика				
НСКП, %	84.6	84.6	64.18	79.5
ПОП	0.02775	0.0832	49.85	5.955
СКП	0.0277	0.0277	44.51	5.839
Перевірочні данні				
НСКП, %	83.6	81,59	63.06	78,48

Аналіз відмінностей між оцінками моделей P2 – другого порядку без затримки, P2D – другого порядку з затримкою, P3 – третього порядку без затримки та P3D – третього порядку з затримкою, по динамічній характеристиці

показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам (НСКП), краще всього підходять моделі P2 (84.6%) та P2D (84.6%).

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними за показником НСКП. Найкращі і майже однакові між собою мають ті ж самі моделі P2 (83.6%) та P2D (81,59%).

Виходячи з усього, що наведе вище можна сміливо обрати більш просту модель P2 і стверджувати, що обрана модель має достатню відповідність до перевірочних даних, яка і складає більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %.

Для параметричної перевірки обраної моделі можна звернути увагу на наступне, що за динамічною характеристикою час перехідного процесу складає близько $\sim 3000 / 5 \approx 600$ с, затримка близько 42 с, а для отриманої моделі другого порядку постійна часу становить $52.037 + 6.8505 = 58,8$ с.

необхідно отримати основні характеристики для моделі об'єкта керування P2 (рис. 3.14) за допомогою «To LTI Viewer», і через меню

«Edit / Plot Configurations...» і налаштувати зображення відповідно до рис. 3.13.

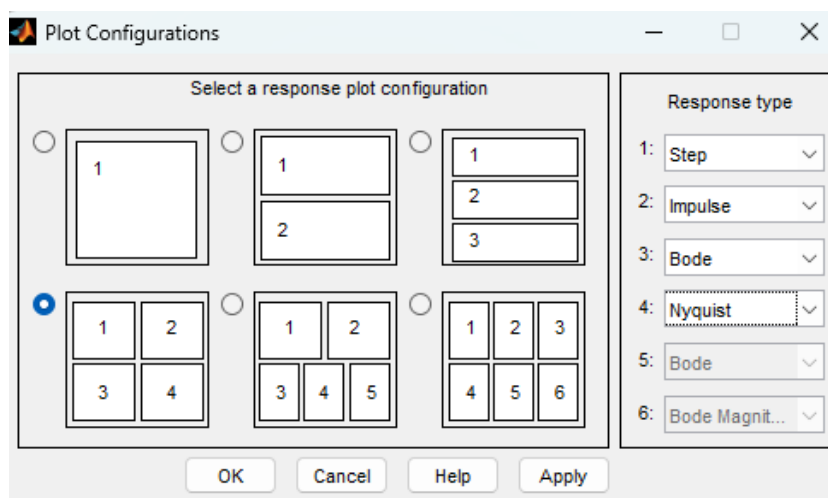


Рисунок 3.13 – Отримання характеристик моделі керування

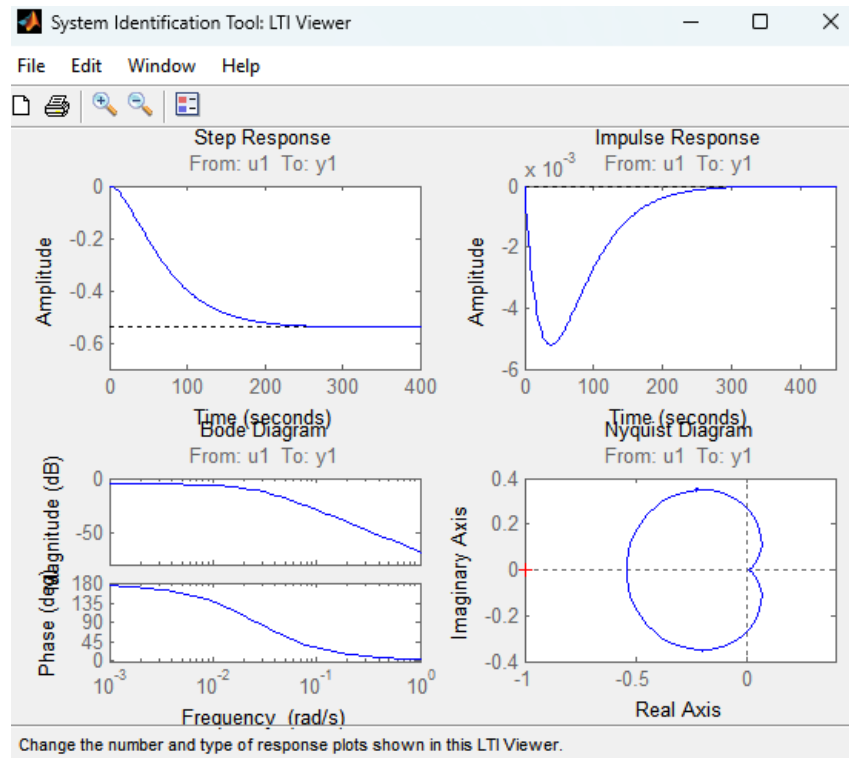


Рисунок 3.14 – Характеристики моделі керування

3.4.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Графік фактичного значення об'єкта керування співпадає з графіком моделі об'єкта керування, яка була отримана за допомогою програмного забезпечення System Identification Toolbox, а також з графіком моделі, побудованої на основі передавальної функції. Отже, модель, створена в середовищі імітаційного моделювання Simulink, не відрізняється від моделі, отриманої за допомогою програмного забезпечення "System Identification Toolbox".

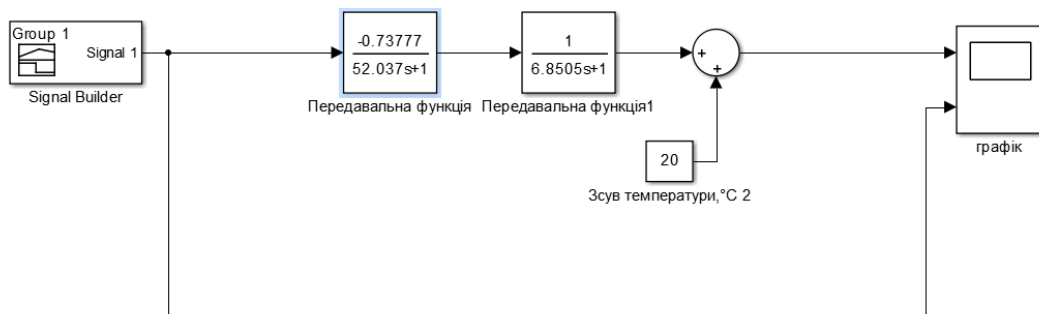


Рисунок 3.17 - Модель Simulink об'єкта керування

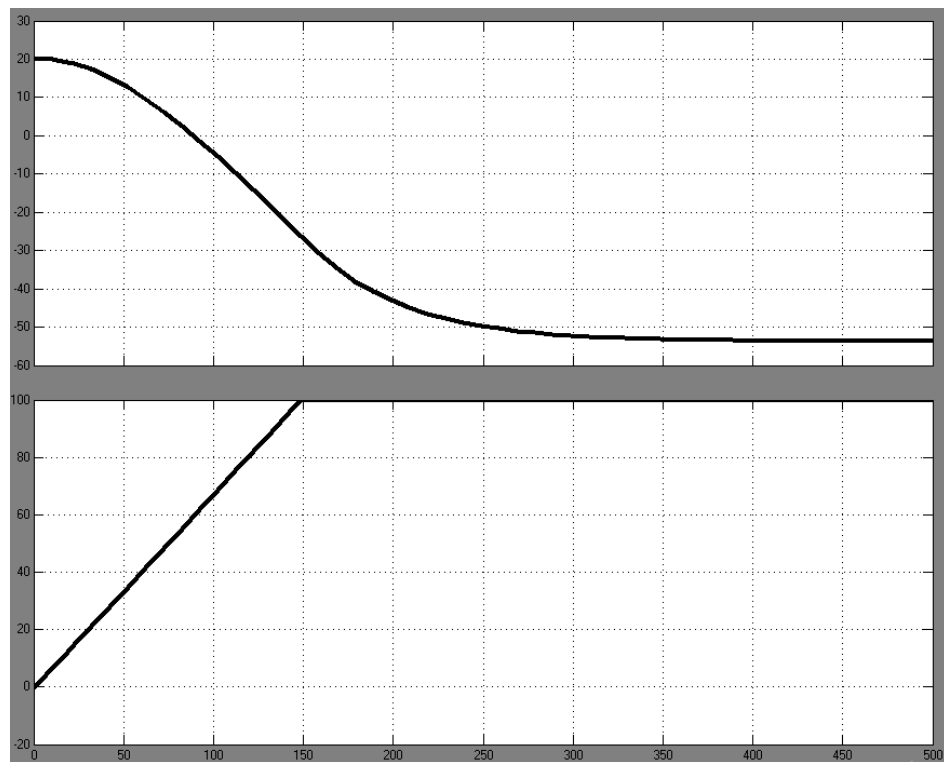


Рисунок 3.19 - Результат моделювання динамічної характеристики об'єкта керування

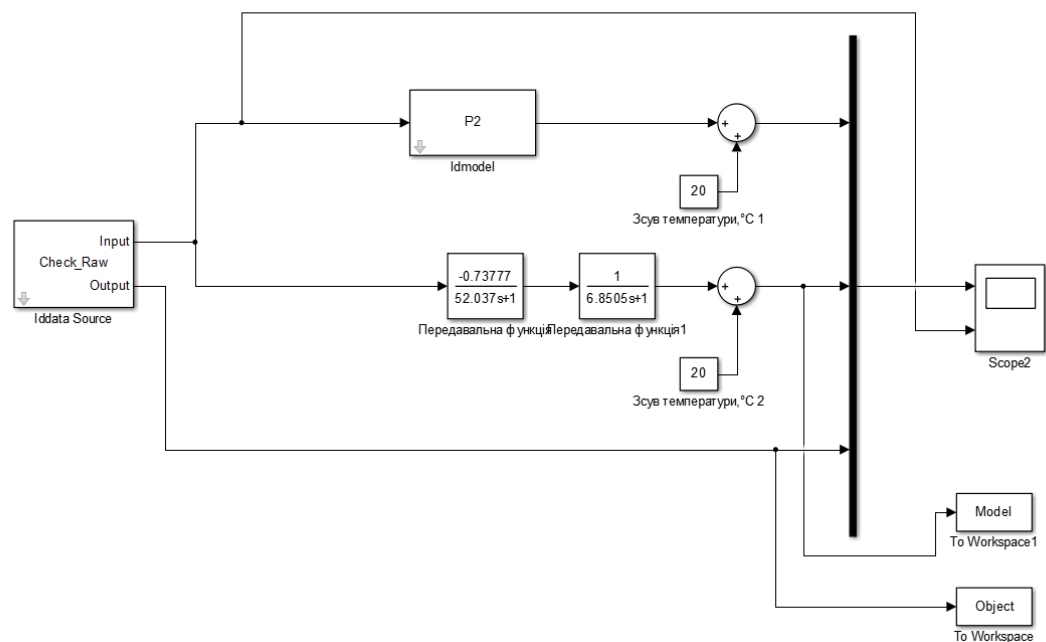


Рисунок 3.16 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

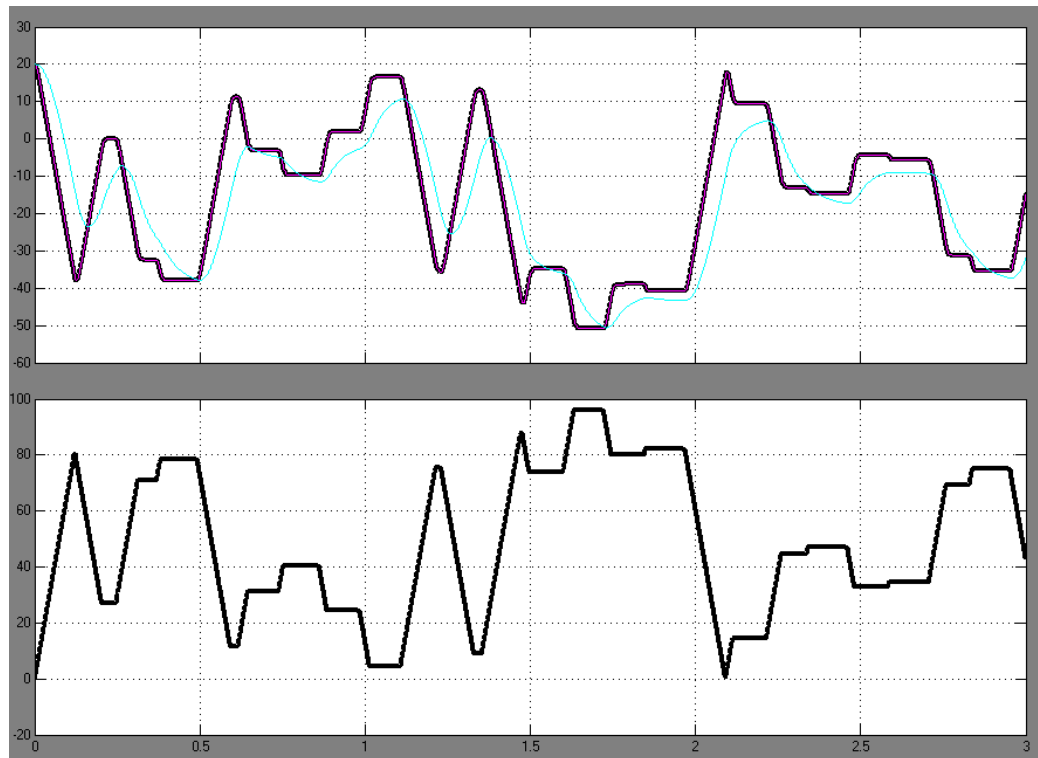


Рисунок 3.17 - Результат моделювання об'єкта управління

3.4.5 Перевірка моделі на адекватність

Перевірка моделі на адекватність

```
FIT = goodnessOfFit(X, XREF, MEASURE)
```

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

```
nrmse = 99.4968
```

Модель об'єкта керування є відповідною перевірою даним на рівні 99.4968%, що свідчить про її адекватність та можливість використання для моделювання як об'єкта керування, так і системи керування в цілому.

3.5. Висновки до розділу

Методика дослідження сублімаційної сушки кави була розроблена шляхом вивчення впливу температури агента сушіння та температури охолодження на процес. Ця методика дозволила побудувати модель об'єкту керування.

Під час структурної ідентифікації, яка була здійснена на основі експериментальних даних, отриманих з об'єкта керування (динамічні характеристики, дані для побудови статичної характеристики та дані з отриманням П-образного керуючого впливу), було встановлено, що структура моделі об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого або вищого порядку з запізненням.

Результати параметричної ідентифікації показали, що структура моделі об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці другого порядку.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

Автоматизація процесу є одним з найкращих варіантів економії на виробництві. За допомогою автоматизації на підприємстві можна підвищити швидкість створення і якість продукту, зменшити вплив людського фактору, небезпеки на виробництві.

Приблизно 42% українців щодня п'ють каву і завдяки чому кавовий бізнес дуже популярний в нашій країні. Хоч ми і не вирощуємо каву через кліматичні умови, але створення кавових виробів дуже розповсюджено у нашій країні, через що ринок має конкурентоспроможне середовище і великі можливості для становлення провідним серед країн Європи. У кваліфікаційній роботі ми розглядаємо доцільність розробки автоматизованої системи керування технологічним процесом сублімації кави. Конкурентами сублімації кави є мелена і гранульована кава. Мелена кава має дорожчу ціну, довше приготування у порівнянні з сублімованою і потребує додаткових приборів. Гранульована кава дешевша, бо її тільки висушують під великим тиском, а сублімовану ще заморожують і завдяки цьому гранули зберігають свої властивості, включаючи багатогранність смаку і аромату і не потребують додаткової ароматизації.

Сублімована кава може за вартістю наздоганяти натуральні зерна, а то й бути значно дорожчою. Все через специфіку виробництва, бо сублімація вимагає більше сил і коштів, щоб отримати гідний підсумковий продукт, який не потребує від покупця додаткових пристроїв для мелення і варіння, що і надає більшої прихильності в обиранні між іншими типами. Процес сублімації робить нашу каву особливою за найдовшими термінами зберігання, меншими порціями які дають такий самий ефект, як і натуральні зерна, не змінюючи смаку через низькі від'ємні температури.

Автоматизована система керування, 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:

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

де $K_{\text{ПКВ}}$ – проектні капітальні витрати (грв.);

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

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

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

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

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат C_{OB} [9...12]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	контролер VIPA 214-2BE03	од.	1	5 528,00	5 528,00
2	модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	1	6 762,00	6 762,00
3	модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	од.	1	3 864,00	3 864,00
4	термодатчик ОВЕН ДТПК045-0211.120	од.	1	750,00	750,00
5	Датчик тиску MBS 1700 Danfoss	од.	1	6 489,00	6 489,00
6	електропривод Belimo SM230A-S-TP	од.	1	8 291,00	8 291,00
6	засувка Батерфляй для газу Ayvaz KV-9	од.	1	2 629,00	2 629,00
7	магнітний пускач АСКО серії ПМ 3-50	од.	1	1 039,00	1 039,00
8	магнітний пускач АСКО серії ПМ 1-09-10 220В	од.	1	269,00	269,00
9	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	1 450,00	2 900,00
10	Мережний кабель	м	125	25,60	3 200,00
11	Система керування, виконана на базіПК	од.	1	31 200,30	31 200,30
Разом					75 617,00

Вартість основного та допоміжного обладнання $C_{OB} = 75\ 617,00$ грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 10 % від загальної вартості:

$$D_{TP} = C_{OB} \cdot 0,10. \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{TP} = 75\,617,00 \cdot 0,10 = 7\,561,70 \text{ (грн.)}.$$

Вартість монтажна-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 5% від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,05. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{MH} = 75\,617,00 \cdot 0,05 = 3\,780,85 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення розраховується як:

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

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_n - 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 300... 600, приймаємо $q = 500$);

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

$$Q = 500 * 1,35 * (1 + 0,1) = 742$$

Витрат праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають $t_o = 70$ (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:

$$t_u = 742 * 1,5 / (80 * 1,2) = 12 \text{ (люд. —год.)}.$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 742 / (23 * 1,2) = 27 \text{ (люд. —год.)}.$$

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:

$$t_n = 742 / (24 * 1,2) = 26 \text{ (люд. —год.)}$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 742 / (5 * 1,2) = 123 \text{ (люд. —год.)}$$

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:

$$t_{др} = 742 / (18 * 1,2) = 34 \text{ (люд. —год.)}$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

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

Для програмного забезпечення, що розробляється:

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

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

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

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 70 + 12 + 27 + 26 + 123 + 60 = 318 \text{ (люд. —год.)}$$

4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку програмного забезпечення (ПЗ) визначається як:

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

Де $Z_{\text{ЗП}}$ – витрати на заробітну плату розробника ПЗ (грн.);

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

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

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

де t – час розробки ПЗ, год;

$C_{\text{ПР}}$ – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо $C_{\text{ПР}} = 184,50$ (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 318 \cdot 184,50 = 58\,671 \text{ (грн.)}.$$

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 $C_{\text{МЧ}} = 15,20$ (грн./год.)).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{МІ}} = 26 \cdot 15,20 = 395,20 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{\text{ПЗ}} = 58\,671 + 395,20 = 59\,066,20 \text{ (грн.)}.$$

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.)).

$$T = 318 / (1 \cdot 176) = 1,80 \text{ (міс.)}.$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{\text{ПКВ}} = 75\,617,00 + 7\,561,70 + 3\,780,85 + 59\,066,20 \\ = 146\,025,75 \text{ (грн.)}$$

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

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

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

C_a – амортизація основних фондів (грн.);

C_3 – заробітна плата обслуговуючого персоналу (грн.);

C_c – відрахування на соціальні заходи (грн.);

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

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

$C_{\text{ІНШ}}$ – 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 C_a – річна амортизація основних фондів (грн.);

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

Амортизація основних фондів визначається як:

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

Де C_a – річна амортизація основних фондів (грн.);

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

Отже, норма амортизації для проектованої системи керування складає:

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

Сума амортизації для проектованої і базової системи становить:

$$C_a = 146\,025,75 \cdot 40/100 = 58\,410,30 \text{ (грн.)}$$

4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

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

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

T_K – календарний фонд робочого часу ($T_K = 365$ (днів));

$T_{ВС}$ – вихідні дні та свята ($T_{ВС} = 112$ (днів));

T_B – відпустка ($T_B = 21$ (день));

T_3 – тривалість зміни ($T_3 = 8$ (год.)).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 112 - 21) \cdot 8 = 1\,856 \text{ (год.)}$$

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,	Річний фонд робочого часу	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор СМ	1	110,00	1 856	204 160,00	16 332,00	14,291,20	234 783,20
2	Технолог	1	125,00		232 000,00	18 560,00	16 240,00	266 801,00
3	Наладчик	1	115,00		213 440,00	17 075,20	14 940,80	245 456,00
Разом								747 040,20

Заробітна плата персоналу проектної системи керування

$$C_3 = 747\,040,20 \text{ (грн.)}$$

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:

$$C_c = 0,22 * 747\,040,20 = 164\,348,20 \text{ (грн.)}$$

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:

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

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 146\,025,75 = 7\,301,29 \text{ (грн.)}$$

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 $K_e = 0,33$ (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 4,75 грн. · кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 5,7$ (грн.).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 0,33 * 365 * 24 * 5,7 = 16\,477,56 \text{ (грн.)};$$

4.4.6 Інші витрати

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

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

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 * 747\,040,20 = 29\,881,61 \text{ (грн.)}.$$

Річні експлуатаційні витрати становлять

$$C = 58\,410,30 + 747\,040,20 + 164\,348,20 + 7\,301,29 + 16\,477,56 + 29\,881,61 = 1\,023\,459,16 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Сума, грн.
1	Амортизація	58 410,30
2	Фонд заробітної плати	747 040,20
3	Відрахування на соціальні виплати	164 348,20
4	Ремонт та технічне обслуговування	7 301,29
5	Електроенергія	16 477,56
6	Інше	29 881,61
7	Загалом	023 459,16

4.5 Висновки до розділу

Система капітальних витрат, яка буде впроваджена, складає 146 тис. грн., а час розробки програмного забезпечення становитиме 2-3 місяці. Річні витрати на експлуатацію системи, пов'язані з її впровадженням, становитимуть 1 млн. 23 459,16 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У роботі розглядається питання розробки автоматизованої системи керування технологічним процесом сублімації кави.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на автоматизованій колоні

Об'єктом дослідження є сублімація кави за допомогою низької температури. До небезпечних виробничих факторів виробництва відносяться:

Фізичні фактори:

1. опіки від низької температури;
2. ураження електричним струмом;
3. виробничий шум;

Фактори, обумовлені ергономікою:

4. незручна робоча позиція;
5. напруження зору;
6. нахил тулуба;

Для визначення ризику використовуються практичні методи, зокрема, наведені у табл. 6.1. Зараз діють два міжнародних стандарти, що спрямовані на впровадження системи управління безпекою праці та охороною здоров'я на підприємствах. На основі цих документів в Україні було розроблено та прийнято національний стандарт, який спочатку використовувався як пробний, а з 1 січня 2011 року став постійно діючим.

Таблиця 6.1 - Величина ризиків

Наслідки			
Ймовірність	Незначні	Помірно значні	Серйозні
Мала	Малозначущий ризик 1	Малий ризик 2	Помірний ризик 3
Середня	Малий ризик 2	Помірний ризик 3	Значний ризик 4
Висока	Помірний ризик 3	Значний ризик 4	Неприпустимий ризик 5

У першу чергу проводиться оцінка потенційних наслідків, які можуть виникнути внаслідок даної ситуації, використовуючи три різні категорії, розміщені у верхньому рядку таблиці. Потім встановлюється імовірність виникнення шкоди згідно з першим стовпчиком. Перетин обраної категорії серйозності та імовірності вказує на рівень ризику. Рівні ризику класифікуються від найнижчого значення 1 (малозначущий ризик) до найвищого значення 5 (неприпустимий ризик).

Був проведений аналіз ергономічних ризиків, пов'язаних з виконанням ремонтних робіт. Зібрана інформація представлена у таблицях 6.2 та 6.3.

Таблиця 6.2 - Рівні ризиків факторів, обумовлених ергономікою

Наслідки			
Ймовірність	Легкі (неприємність, роздратованість, навантаження, що проходить) ви	Середньої тяжкості (довготривалі, серйозні, постійні впливи постійна слабка шкода, падкова відсутність)	Тяжкі (постійні серйозні впливи, довга або повторювана хвороба)
Мала (навантаження випадкове, виникає рідка)	Малозначущий ризик 1	Малий ризик 2	Помірний ризик 3
Середня (ситуація небезпеки і навантаження щоденно або дія нормативного навантаження 50 %)	Малий ризик 2	Помірний ризик 3	Значний ризик 4
Висока (ситуація небезпеки і навантаження постійні)	Помірний ризик 3	Значний ризик 4	Неприпустимий ризик 5

Таблиця 6.3 - Рівні ризиків факторів, обумовлених ергономікою

	Фактор небезпеки		
	Поза під час роботи	Напруження зору	Нахили тулуба
Опис ситуації	Перебування у незручній позі (на вприсядки, навшпиньки, тощо.- 60% часу, при нормі у 25%)	0,1 лк (недостатня кількість), або 5 лк (перенасичення освітлення) на 1 м ² при нормі 1 лк – освітленість поверхні 1 м ²	Нахили тулубом –150 разів при нормі у 51-100 разів
Наслідки	Середньої тяжкості	Тяжкі	Легкі
Ймовірність ризику	Висока	Висока	Висока
Рівень ризику	Значний ризик 4	Неприпустимий ризик 5	Помірний 3

5.2 Ергономічні фактори ризику

Ергономічні фактори ризику для працівників на роботі по сублімації кави можуть включати такі як:

Зусилля, що прикладаються до органів керування: Працівники можуть зазнавати надмірного фізичного зусилля, коли працюють з механізмами і кнопками на обладнанні для сублімації кави. Постійне застосування сили може призвести до напруження м'язів і спричинити м'язово-скелетні травми, особливо у випадку неправильної позиції тіла.

Повторювальні операції: Багаторазове виконання однотипних рухів або операцій, пов'язаних з сублімацією кави, може призвести до накопичення травматичного стресу в м'язах і суглобах. Наприклад, повторне натискання на кнопки або поворот ручки машини для сублімації може спричинити напруження і пошкодження суглобів рук.

Положення зап'ясть і пальців: Неправильне положення зап'ястя і пальців під час виконання роботи може призвести до розвитку синдрому карпального

каналу, запалення сухожиль і м'язів, а також до розвитку тунельного синдрому.

Наднормове зусилля: перенесення великих сумішей кави, балок або інших важких предметів може призвести до перенапруження м'язів і спини. Це може спричинити травми, наприклад, здавлення, напруження м'язів або ушкодження хребта.

Перенесення важких предметів: Перенесення та переміщення великих та незручних предметів, таких як великі мішки з кавою або контейнери з водою, може призвести до надмірного фізичного навантаження на м'язи і суглоби працівників.

5.3 Рішення щодо покращення ергономіки

Основними рішеннями щодо покращення ергономіки на робочому місці працівників, які займаються сублімацією кави, можуть бути:

Встановлення автоматизованих систем управління, таких як автоматичні кнопки або датчики, може зменшити фізичні зусилля працівників, що допоможе уникнути надмірного напруження.

Налаштування висоти столу, крісла та інших робочих поверхонь дозволить пристосувати їх до індивідуальних потреб працівників, забезпечивши оптимальну позицію тіла і зменшивши ризик розвитку м'язово-скелетних травм.

Введення регулярних перерв у роботу для відновлення м'язів і зменшення напруження. Розтяжка м'язів рук, зап'ястя і спини підвищує кровообіг і зменшує напруження м'язів.

Надання працівникам навчання з правильної постави, технікам підйому та перенесення важких предметів допоможе уникнути неправильних рухів і надмірного навантаження на м'язи і суглоби.

Розпланування роботи на етапи, операції, прийоми та переходи допомагає ідентифікувати фактори ризику і встановити заходи для їх контролю та захисту персоналу та довкілля.

5.4 Методи зниження ергономічних ризиків

Для ротації і збагачення роботи працівників на роботі з сублимації кави, рекомендується впровадити наступні заходи:

Ротація робочих місць. Можливість переміщення працівників з одного робочого місця на інше дозволить їм виконувати різноманітні завдання та розширити свої навички. Наприклад, працівники можуть чергуватися між процесами підготовки сировини, контролем якості та упаковкою.

Збагачення роботи. Додавання до робочих завдань працівників нові функції або завдання, які збільшать їх відповідальність та самостійність. Наприклад, працівники можуть бути залучені до розробки нових сумішей кави, вдосконалення процесу сублимації або участі в маркетингових дослідженнях.

Аналіз небезпек та застосування заходів безпеки. Проведення детального аналізу робочих процесів, ідентифікуйте потенційні фактори ризику та розробіть відповідні заходи безпеки. Забезпечення працівників необхідними інструментами та обладнанням, які зменшать м'язове напруження та ризики травм.

Залучити працівників до вирішення проблем. Врахувати думку та досвід працівників при вирішенні питань, пов'язаних з ергономікою та безпекою. Створити механізми для збору пропозицій та ідей від працівників, а також для їх активної участі у процесі прийняття рішень.

Навчати ергономіці. Забезпечити навчання працівників щодо основних принципів ергономіки, включаючи ідентифікацію факторів ризику та заходів для зменшення їх впливу. Організувати спеціалізовані тренінги та семінари, а також підготування наставників, які будуть навчати нових працівників ергономічним практикам та процедурам.

Впровадження цих заходів допоможе покращити ергономіку та безпеку працівників на робочих місцях, сприятиме їхньому комфорту, здоров'ю та продуктивності.

5.5 Розрахунок освітлення

Для розрахунку освітлення в цеху розмірами 50 x 16 x 2,8 м, рис.5.1 використовуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Застосуємо світильник Inspire black 36W LED 3000K з такими характеристиками:

Потужність: 36 Вт

Температура кольору: 3000K

Коефіцієнт передачі кольору (Ra): більше 80

Очікувана тривалість роботи: більше 50 000 годин

Димування: DALI

Розрахунок освітлення:

Загальна площа приміщення: $50 \text{ м} * 16 \text{ м} = 800 \text{ м}^2$

Рекомендована освітленість для промислових приміщень (згідно з ДБН В.2.5-28-2018) становить 300 лк.

Необхідний світловий потік:

$$S = A * E,$$

де S - світловий потік, A - площа приміщення, E - рекомендована освітленість.

$$S = 800 \text{ м}^2 * 300 \text{ лк} = 240\,000 \text{ лм}$$

Вибір кількості світильників:

Потужність одного світильника: 36 Вт

Кількість світильників розраховується за формулою:

$$N = S / (F * P),$$

де N - кількість світильників, S - світловий потік, F - коефіцієнт використання світлового потоку (залежить від типу світильника), P - потужність світильника.

Залежно від типу світильника і його розташування, коефіцієнт використання може змінюватися. За даними, які маємо, примемо приблизний коефіцієнт використання $F = 0.6$.

$$N = 240,000 \text{ лм} / (0.6 * 36 \text{ Вт}) \approx 11 \text{ світильників}$$

Підключення світильників:

Максимальна кількість світильників на одному вимикачі В10: 8, В16.
Оскільки ми отримали 11 світильників, потрібно мати не менше двох вимикачів.

Рис.5.2

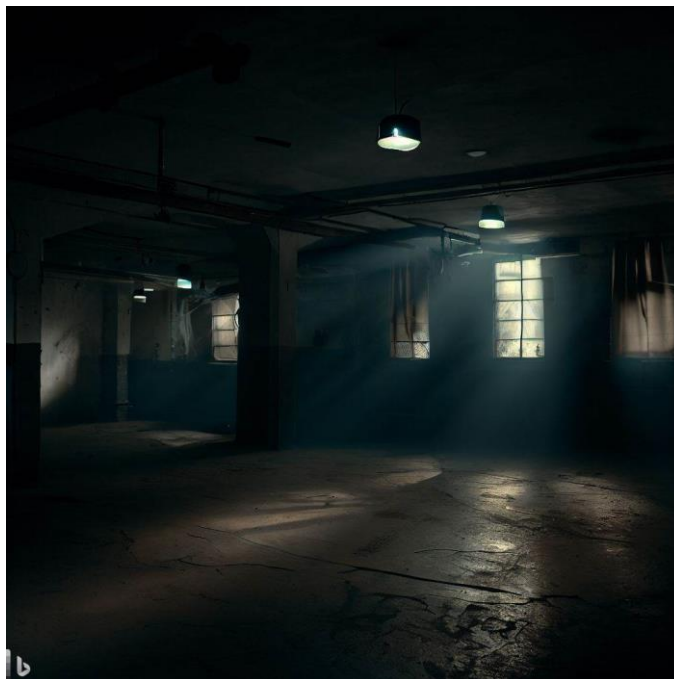


Рисунок 5.1 – Неправильне освітлення



Рисунок 5.2 – Правильне освітлення

5.6 Висновок до розділу

У даному розділі були розглянуті питання, пов'язані з небезпечними та шкідливими факторам у процесі сублімації кави. Були визначені фізичні та ергономічні фактори ризику, такі як опіки від низької температури, ураження електричним струмом, незручна робоча позиція та напруження зору. Для покращення ергономіки були запропоновані рішення, такі як встановлення автоматизованих систем управління, налаштування робочих поверхонь, регулярні перерви та навчання працівників правильним технікам. У розділі були представлені методи зниження ергономічних ризиків, включаючи ротацію робочих місць, збагачення роботи, аналіз небезпек та залучення працівників до вирішення проблем. Зроблено проведення розрахунку освітлення в цеху з використанням методу коефіцієнта використання світлового потоку, щоб забезпечити необхідну освітленість приміщення.

ВИСНОВКИ

В рамках бакалаврської кваліфікаційної роботи було проведено аналіз технологічного процесу сублімації кави і досліджено роботу об'єкта сублімаційної сушки. Цей об'єкт керування відноситься до класу безперервних об'єктів, що використовують низькі температури для сушіння кави у потоці.

Була розроблена структура системи керування, відповідно до вимог системи керування, здійснено вибір апаратного забезпечення для автоматизованої системи керування технологічним устаткуванням. Автоматизована система керування була побудована на основі програмованого логічного контролера VIPA 214-2BE03. Розроблена технічна документація системи керування, включаючи перелік елементів, схему автоматизації та електричну принципову схему.

Виходячи з опису технологічного процесу, структури об'єкта керування та отриманих передавальних характеристик під час експерименту на виробництві, був розроблений план експерименту для ідентифікації моделі об'єкта керування.

В результаті обробки результатів та структурної ідентифікації було 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 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Під час параметричної ідентифікації об'єкту керування за допомогою програмного забезпечення "System Identification Toolbox" було встановлено, що модель другого порядку з запізненням 41 секунд краще відповідає перевірочним даним експерименту, ніж інші моделі.

За допомогою оцінки за нормованим середньоквадратичним відхиленням було встановлено, що отримана модель відповідає перевірочним даним на 99.4968%. Таким чином створену модель об'єкта керування можна використовувати для моделювання об'єкта керування та розробки системи керування, що дозволить підвищити якість керування процесом охолодження

кави.

У економічному розділі були розраховані капітальні витрати на впровадження рекомендованої системи автоматизації, які становлять 146 тис. грн. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи, становитимуть 1 млн. 23 459,16 грн.

У розділі охорони праці та безпеки під час експлуатації системи охолодження кави технологічного процесу сублимації було проведено аналіз потенційних небезпек та ергономічних факторів ризику, таких як опіки від низьких температур, ураження електричним струмом, незручна робоча позиція та напруження зору. Були розроблені заходи щодо безпеки праці обслуговуючого персоналу, покращення ергономіки та розрахунок освітлення в цеху з використанням методу коефіцієнта використання світлового потоку, щоб забезпечити необхідну освітленість приміщення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації до виконання здобувачами вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» / В.В. Ткачов, О.О. Бойко та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Електрон. Текст. Дані – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 28 с.
2. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з проектування систем автоматизації для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 109 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/Ev6J4Z>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету. 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
3. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235 с.
4. Навчальний посібник для студ. вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, Я.В. Куровець, М.М. Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с.
5. Датчик температури ОВЕН ДТПК045-0211.120. Режим доступу: https://www.svaltera.ua/upload/iblock/490/owen_sensor.pdf
6. Датчик тиску MBS 1700 Danfoss. Режим доступу: <https://danfoss.net.ua/products/4286/546/4343/4567.html>
7. Електропривод Belimo SM230A-S-TP. Режим доступу: <https://belimo.com.ua/shop/privody-vozdushnyx-klapanov/privody-bez-vozvratnoj-pruzhiny/privody-bez-vozvratnoj-pruzhiny-sm-20-hm/elektroprivod-vozdushnoj-zaslonki-belimo-sm230a-s-tp/>
8. Засувка Батерфляй для газу Ayvaz KV-9. Режим доступу: <https://armashop.ua/ua/zadvizhka-batterflyay-dlya-gaza-ayvaz-kv-9-s-chugunnym-diskom-du-65/>

9. Магнітний пускач Аско ПМ 3-50. Режим доступу:
https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/kontaktori_malogabaritni_serii_pm/22574/

10. Магнітний пускач АСКО серії ПМ 1-09-10 220В. Режим доступу:
<https://220volt.com.ua/puskatel-asko-pm-1-09-10-1c1-d0910/>

11. Контролер VIPA 214-2BE03. Режим доступу:
<https://www.svaltera.ua/catalog/705/8375.php>

12. Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40. Режим доступу:
<https://vipa.com.ua/products/control-systems/200v/signal-modules-analog/item/231-1bd40.html>

13. Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00. Режим доступу:
<https://vipa.com.ua/products/control-systems/200v/signal-modules-digital/item/222-1bf00.html>

14. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301. Режим доступу:
<https://www.svaltera.ua/catalog/1010/1139.php>

15. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.

16. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики 14.02.2018 № 207.

17. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

18. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин

19. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

20. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання

робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

21. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт уположенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

22. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції

23. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

24. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».

25. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

26. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

27. ДСТУ 26568: 2009 «Вибрация методы и средства защиты».

28. ДСТУ ІЕС 61140: 2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання».

29. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

30. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпекою».

31. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».

32. ДБН В.2.5-56-2014 «Системи протипожежного захисту».

33. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 «Улаштування блискавкозахисту будівель та споруд»

ДОДАТОК А
Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка
1			<u>Документація</u>			
2						
3	A4	КФІВС.КВР.151.19.01.ПЗ	Пояснювальна записка	93	ПЗ	
4						
5			Графічна частина			
6						
7	A2	КФІВС.КВР.151.19.01.E2	Функціональна схема			
8			автоматизації	1	E2	
9						
10	A2	КФІВС.КВР.151.19.01.E3	Схема електрична			
11			принципова	1	E3	
12						
13	A4	КФІВС.КВР.151.19.01.ПЕЗ	Перелік елементів	1	ПЕ	
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
			Підп.	Дата	КІВС.КВР.151.19.18.ТІ	
	Зм.	Арк.	№ докум.			
	Розробив	Мунтян Г.О.		04.06	Літ.	Аркуш Аркушів
	П. конс.	Бойко О.О.				1 1
	Консультант	Соснін К.В.		05.06	Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕФ, 151-19-1	
					Автоматизація процесу керування виготовленням розчинної кави Відомість проєкта	

ДОДАТОК А

Перелік компонентів для схеми електричної принципової

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Примітка
UY	VIPA 214-2BE03	1	
UY1	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	1	
UY2	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	1	
UYR	Персональний комп'ютер	1	
TE	ОВЕН ДТПК045-0211.120	1	
PE	MBS 1700 Danfoss	1	
M1	Аско ПМ 3-50	1	
M2	Аско серії ПМ 1-09-10 220В	1	
RP	Belimo SM230A-S-TP	1	
G1, G2	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	2	
UY	VIPA 214-2BE03	1	
UY1	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	1	
UY2	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	1	
UYR	Персональний комп'ютер	1	
		Підп.	Дата
Зм.	Арк.	№ докум.	
Розробив	Мунтян Г.О.		04.06
П. конс.	Бойко О.О.		
Консультант	Соснін К.В.		05.06
Н. контроль	Воскобойник Є. К.		06.06
КІВС.КВР.151.19.18.ПЕЗ			
Автоматизація процесу керування виготовленням розчинної кави Перелік елементів			
	Літ.	Аркуш	Аркушів
		1	1
Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕФ, 151-19-1			

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра
на тему: “ Автоматизація процесу керування виготовлення
розчинної кави ”здобувач вищої освіти академічної
групи 151-19-1 Мунтян Гліб Олексійович

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра

на тему: “ Автоматизація процесу керування виготовлення розчинної кави ”

здобувач вищої освіти академічної групи 151-19ск-1 Мунтян Гліб Олексійович

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувачем кафедри
кіберфізичних та
інформаційно-
вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

«_____» _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація технологічного процесу підготовки природних та попутних нафтових газів», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1, Мунтяна Гліба Олексійовича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає _____ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichack.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

(підпис)

Воскобойник Є.К.

(дата)