

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.5:664.1:636.082.474

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

« ___ » _____ 2024 р.

« ___ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.033.ПЗ

на тему **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБЕРІГАННЯ
М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ І.М. Болбот, д.т.н., професор
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконала

_____ С.В. Валявська
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

_____ В.В. Івашук, д.т.н., доцент
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
О.О. Опришко
« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Валявській Світлані В'ячеславівні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА
ЗБЕРІГАННЯ М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 року №1664«С»
Термін подання студентом магістерської роботи 05.12.2024 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання
магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів
автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з
тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Технологічна характеристика об'єкта керування.
2. Побудова та дослідження математичної моделі об'єкта керування.
3. Реалізація алгоритму керування об'єктом.
4. Вдосконалення системи за допомогою безпошукової адаптивної системи.
5. Загальний підхід до розроблення САК обладнанням для зберігання
непівфабрикатів на базі нечітких нейронних мереж.
6. Розрахунок техніко-економічної ефективності.

Дата видачі завдання «27» вересня 2024 року

Керівник магістерської роботи _____

(Підпис)

Іващук В.В.

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

Валявська С.В.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Технологічна характеристика об'єкта керування	6
1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування	6
1.2. Опис обладнання автоматизації лінії приготування січених напівфабрикатів (котлет)	10
1.3. Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування камерою для зберігання напівфабрикатів камери	20
РОЗДІЛ 2. Побудова та дослідження математичної моделі об'єкта керування	22
2.1. Загальний підхід до створення математичних моделей	22
2.2. Розробка математичної моделі камери охолодження напівфабрикатів	22
РОЗДІЛ 3. Реалізація алгоритму керування об'єктом	28
3.1. Вибір та обґрунтування алгоритму	28
3.2. Вибір технічних засобів	30
3.2.1. Вибір сприймаючого елемента (датчика температури)	32
3.2.2. Вибір виконавчого пристрою	34
3.3. Реалізація алгоритму керування	36
3.3.1. Визначення періоду дискретизації	37
3.3.2. Налаштування ПІ – регулятора	40
3.3.3. Дослідження системи	41
3.4. Вибір керуючого елемента	42
3.5. SCADA-система	45
РОЗДІЛ 4. Вдосконалення системи за допомогою безпошукової адаптивної системи	48
РОЗДІЛ 5. Загальний підхід до розроблення автоматизованої системи керування обладнанням для зберігання неапівфабрикатів на базі нечітких нейронних мереж	55
РОЗДІЛ 6. Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження систем керування	60
Висновки	65
Література	66
Додатки	69

ВСТУП

В сучасних умовах розвитку промисловості і технологічного виробництва, забезпечення якості та стабільності технологічних процесів є надзвичайно важливим завданням. Особливий акцент робиться на контролі і регулюванні параметрів оточуючого середовища, таких як температура, під час виробництва та зберігання продукції. Однією з областей, де правильність дотримання температурних режимів має вирішальне значення, є виробництво напівфабрикатів та продуктів харчування [1].

Охолоджувальні камери відіграють важливу роль у виробництві та зберіганні продукції. Управління температурними параметрами у таких камерах потребує високої точності, надійності та автоматизації. Проте існуючі системи керування температурою не завжди задовольняють потреби сучасного виробництва і не завжди відповідають вимогам щодо продуктивності та ефективності витрат [1].

Магістерська кваліфікаційна робота спрямована на дослідження та удосконалення інтегрованої комп'ютерної системи для керування температурою в камері охолодження, яка використовується в процесі виробництва напівфабрикатів [3].

Січені напівфабрикати - це продукти з певною геометричною формою, які виготовлені з м'ясного фаршу та додаткових інгредієнтів, які піддані охолодженню або заморожуванню [5].

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою у камері охолодження напівфабрикатів із використанням адаптивної складової.

Для досягнення магістерської роботи необхідно вирішити наступні завдання:

- описати технологічний процес при виготовленні напівфабрикатів;
- розробити функціональну-технологічну схему автоматизації камери охолодження напівфабрикатів;

- дослідити та розробити математичну модель об'єкта регулювання температурою;
- вибрати і реалізувати алгоритм регулювання температурою повітря;
- розробити функціонально-структурну та структурно-алгоритмічну схему;
- отримати перехідний процес і визначити показники якості регулювання;
- виконати техніко-економічне обґрунтування системи автоматизації.

Об'єктом дослідження є процес керування температурою в камері охолодження напівфабрикатів.

Предметом дослідження - залежність параметрів технологічного процесу від налаштування адаптивної системи.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування

У компанії процес виготовлення січених напівфабрикатів включає в себе послідовні етапи, які включають вирощування сировини, підготовку фаршу, формування напівфабрикатів, їх упаковку, нанесення маркування та наступне зберігання. На (рис. 1.1) подробиці технологічного процесу виготовлення січених напівфабрикатів [3].

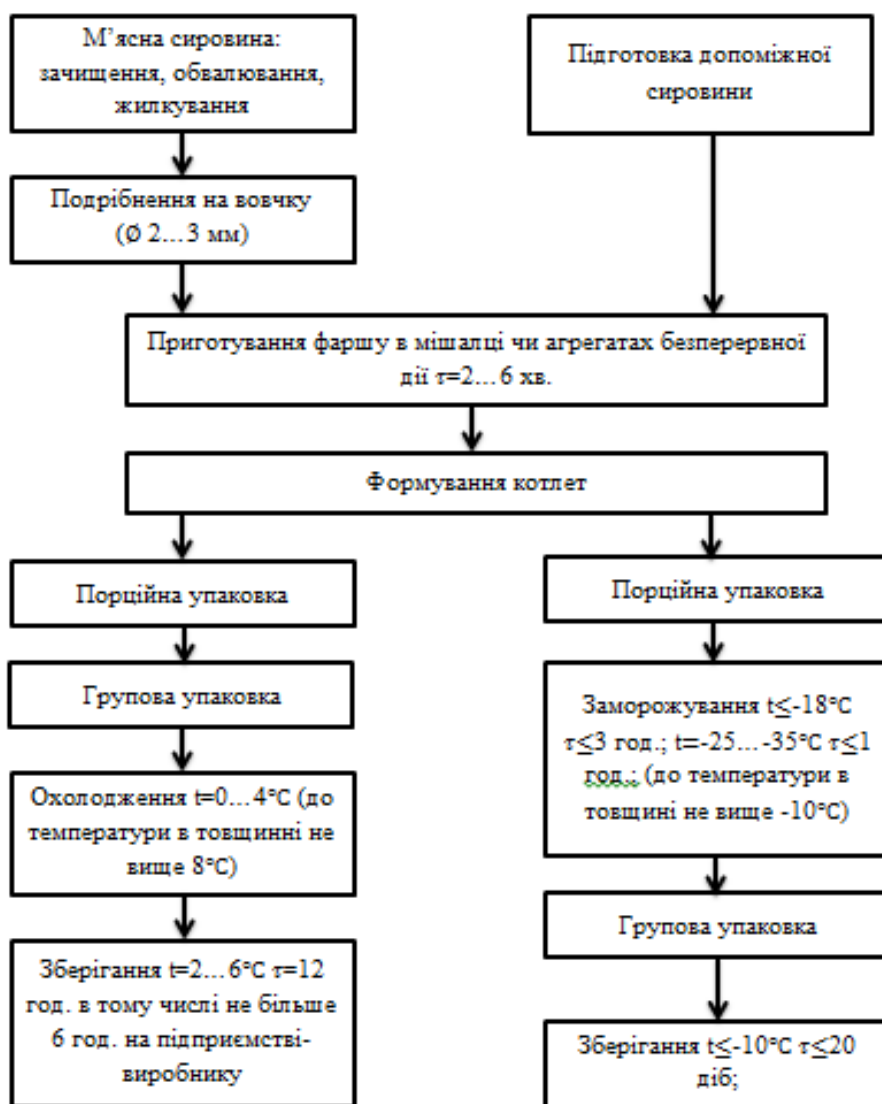


Рис. 1.1. Технологічна схема виготовлення січених напівфабрикатів

Для підготовки сировини, а саме текстурованого соєвого білка у формі крупи або концентрату, спочатку його замочують у воді при температурі від 4-8 °С протягом 40-80 хвилин. Відношення білка до води повинно бути 1:2 для борошна та 1:3 для концентрату.

Після цього гідратований білок подрібнюють, використовуючи різак або спеціальну машину протягом 2-3 хвилин, або ж можуть використовувати вовчок із отворами решітки діаметром 2-3 мм [3].

Молочно-картопляний порошок або подріблену сушену картоплю, крупи та гранул, спершу їх замочують у воді при температурі 50-60 градусів Цельсія, де відношення картоплі до води складає 1:4. Після цього суміш перемішують та залишають протягом 2-3 хвилин для гідратації [4].

Для підготовки цибулі, спочатку очищають її та промивають під проточною водою. Сушену цибулю потрібно замочити в воді протягом 2 годин при температурі 15-17 градусів Цельсія.

Потім до цієї цибулі додають 65% звичайної води, а решту 35% додають до фаршу [4].

Для підготовки хліба, його спочатку нарізають на шматки, які потім замочують у воді. Після цього проводять подрібнення хліба за допомогою вовчка, де решітка має діаметр отворів 3 мм.

Отриманий подрібнений хліб потім поєднують у мішалці з меланжем і яечним порошком і змішують протягом 5-10 хвилин, доки не утвориться однорідна маса [3].

Меланж потрібно розморожувати заздалегідь, поміщаючи його у ванни з водою при температурі води, яка не перевищує 45 °С.

Щодо борошна, перед використанням його рекомендується просіяти і пропустити через магнітоуловлювач [3].

Сіль можна використовувати в двох формах: у вигляді розчину з водою після процедури фільтрування або в сухому вигляді з попереднім просіюванням [3].

Для приготування напівфабрикатів, шпик, м'ясо, жир-сирець, цибулю та часник потрібно подрібнити, використовуючи вовчок із решіткою, де діаметр отворів може бути 2-3 мм. А для виготовлення фаршу, цей самий процес подрібнення може вимагати використання вовчка із решіткою діаметром отворів 2-3 мм або 4-5 мм [8].

Для приготування фаршу використовуються мішалки, які можуть працювати як періодично, так і безперервно, в залежності від потреби і рецепту. Сировину завантажують у ці мішалки відповідно до рецепту, і перемішування проводять протягом 3-8 хвилин, поки не утвориться однорідна маса. Потім отриманий фарш направляють на фасовку [8].

Самі напівфабрикати можуть бути сформовані за допомогою автоматичних верстатів і потоково-механізованих ліній, і в разі їх відсутності допускається формування напівфабрикатів вручну [24].

Напівфабрикати можуть мати масу 50, 75 або 100 грамів, і їх упаковують порціями по 250, 500 або 1000 грамів фаршу. Після формування напівфабрикатів, їх охолоджують до температури 4 °С [17].

Напівфабрикати, такі як котлети та шніцелі, після приготування і формування заморожують на спеціальних рамах або полицях у морозильних камерах, де температура не перевищує -20 °С [21].

Для подальшого розподілу, напівфабрикати поміщають у контейнери, враховуючи їх вагу, і потім розфасовують у лотки. Заморожені напівфабрикати зазвичай покладають у поліетиленові плівкові пакети, а потім обгортають целофаном та пергаментними серветками. Маса упаковки може варіюватися від 200 до 1000 грамів [21].

Таблиця 1.1.

Умови та терміни зберігання напівфабрикатів

Варіанти напів- фабрикатів, методи їх створення та обробки	Термін придатності діб,						
	у охолодженому стані від 0°C до 4°C			у замороженому стані			
	під ваку- умом	під ваку- умом з наступним про- веденням термоз- сідання	у середовищі захисного газу	під вакуумом або під вакуумом знаступним проведенням термозсідання		у середовищі захисного газу	
				від -5°C до -10°C	від -15°C до -18°C	від -5°C до -10°C	від -15°C до -18°C
Із яловичини, телятини, свинини та баранини натуральні:							
Великошматкові	14	28	10	60	180	-	-
Порційні	14	-	10	60	180	160	180
Дрібношматкові	10	-	10	60	180	160	180
М'ясокісткові	10	21	10	30	120	45	120

Одним із найпоширеніших продуктів на ринку споживчих товарів є охолоджене м'ясо, яке користується великим попитом у своєму природному стані або в формі напівфабрикатів. Тому виробництво м'яса має велике значення і вимагає особливої уваги. Збереження якостей цих продуктів протягом усього терміну зберігання досягається завдяки їх упаковці у полімерні багатошарові матеріали у вакуумі або модифікованому газовому середовищі (таблиця 1.1) [21].

При виборі системи упаковки важливо враховувати не лише потреби кінцевого споживача та тривалість зберігання, але також дотримання стандартів гігієни, забезпечення необхідного температурного режиму, мінімізацію часу

для обробки та пакування, а також врахування особливостей самого продукту. [4].

Оскільки існує різноманіття продуктів у м'ясній галузі, не існує жодної універсальної системи упаковки, яка б підходила для всього асортименту. Тому перед виробником необхідно вивчати різні аспекти продукту, такі як споживчі властивості, особливості ринку, зовнішній вигляд упаковки, її призначення, умови транспортування та терміни зберігання та реалізації [3].

Якщо виробник розглядає варіанти виготовлення напівфабрикатів у різних формах, таких як нарізки, великі шматки, сімейна або порціонна упаковка, він повинен розглянути варіанти упаковки як в вакуумі, так і в модифікованому газовому середовищі. Важливо враховувати вплив таких методів упаковки на характеристики продукту та тривалість його зберігання і реалізації [17].

1.2. Опис обладнання автоматизації лінії приготування січених напівфабрикатів (котлет)

На першому етапі виробництва необхідно подрібнювати сировину. В невеликих цехах для цієї операції використовують різноманітні пристрої, такі як вовчки та м'ясорубки [15].

Для закладів громадського харчування вибирають електричні вовчки з різною продуктивністю, яка може варіюватися в межах від 10 до 500 кг/год. Ці електричні вовчки доступні в двох різних типах: одні мають власний привід, а інші можуть бути частиною змінних механізмів, які можуть використовуватися з універсальними кухонними машинами, незалежно від того, чи це настільні, чи підлогового типу [15].

Вовчки призначені для безперервного подрібнення м'ясних продуктів і, відповідно, використовуються на виробництвах з великими обсягами

виробництва. Ці вовчки мають значно вищу продуктивність, яка перевищує 500 кг / год [3].

Фаршмішалки призначені для змішування фаршу з солювальними компонентами і спеціями відповідно до рецептури до досягнення потрібної консистенції. Їх конструкція може відрізнятися в залежності від типу змішувального пристрою, способу вивантаження фаршу та наявності вакуумної системи. [3].

Для створення продуктів з котлетною масою застосовують різноманітні автоматизовані пристрої для формування котлет [8].

Характеристика машин для подрібнення м'яса. У цеху, де виготовляють котлети, під час приготування фаршу використовують вовчків або кутери для подрібнення сировини (рис. 1.2). Технічні характеристики, такі як продуктивність та інші параметри, визначаються на підприємстві з огляду на пропускну здатність цього цеху [5].



Рис. 1.2. Вовчок AutoGrind

Принцип роботи машини починається з розрізання продукту на шматки, кожен з яких має вагу в діапазоні від 50 до 200 г. Ці шматки подаються з завантажувальної чаші в оброблювальну камеру, де їх захоплює шнек. Цей шнек обертається і пересувається вздовж камери до різальних інструментів. На

внутрішній поверхні камери розташовані направляючі ребра, які допомагають утримувати шматки виробу на місці та запобігають їх обертальному рухові або зменшують його [7].

По мірі того, як продукт рухається вздовж технологічної камери, крок шнекових витків поступово зменшується. Це призводить до ущільнення продукту, і він перетворюється на тверду щільну масу, наближаючись до робочих інструментів. Останній виток шнека має найменший крок і, натискаючись на продукт, просуває його в отвори підрізної градки. Частини продукту, які пройшли через градки, відрізаються від основної маси ріжучими кромками двостороннього ножа, який обертається [15].

Потім подрібнений продукт шнеком притискають до поверхні першої ножової градки і витискується у її отвори. Відсікання частинок продукту, які вийшли в отвори, здійснюється за допомогою ріжучих країв ножа, який також обертається [7].

Розрізані частинки продукту продовжують просуватися крізь отвори першої ножової решітки, заштовхуючи наступні частинки попереду. При виході продукту з отворів першої ножової решітки відбувається його подрібнення за допомогою ріжучих кромek другого двостороннього ножа і також завдяки вихідним кромкам отворів першої ножової решітки (табл. 1.2). Частинки продукту перебувають в проміжку між першою та другою ножовою решіткою, позаду цих решіток. Подрібнення продукту на вході до другої решітки проводиться аналогічно, як і на вході до першої решітки. На виході з другої решітки продукт набуває форму товстих ниток, що складаються із об'єднаних частинок [8].

Характеристика машин для змішування фаршу. На заводах громадського харчування використовують фаршмішалки з індивідуальним приводом для приготування та змішування котлетної маси (рис. 1.3). Ці машини постачаються з комплектом змінних механізмів для використання у виробництві м'ясних страв [7].

Таблиця 1.2.

Технічна характеристика AutoGrind

Діаметр ґрат, мм	280
Потужність приводу робочого шнека двошвидкісний, кВт	120/240
Швидкість робочого шнека, об/хв	120/240
Потужність приводу подаючого шнека двошвидкісний, кВт	9,3/11,5
Швидкість подаючого шнека, об/хв	10/20
Параметрів живлення	400 В, 50 Гц, 3 фази

Фаршмішалки використовуються для об'єднання фаршу з додатковими інгредієнтами в єдину масу і насичення її киснем з повітря, що призводить до отримання високоякісного фаршу [7].



Рис. 1.3. Фаршмішалка С/Е MM25

Ця система складається із спеціальної ємності, в якій розміщені дві гвинтові лопаті, що обертаються у протилежних напрямках, і ця рухлива система приводиться в рух за допомогою вала. Важливо, щоб гвинтові лопаті були вибрані так, щоб при їх обертанні маса переміщалася від краю ємності до

центру, і внизу формувався потік в зворотному напрямку. Кількість обертів лопатей, що знаходиться біля сторони обслуговування, повільніше на 1,3-2,0 рази порівняно з іншими лопатями [4].

Лопаті повністю виготовлені із литої сталі і мають центральні вали, які з'єднані з ведучими важелями. Ведучі важелі, у свою чергу, з'єднані з зігнутими лопатями, які мають різну форму відповідно до форми гвинтової лінії. Важіль закріплює вільні кінці гвинтових лопатей. Проте така конструкція лопатей виявилася складною для обробки та лиття. З метою спрощення цього процесу було запропоновано використовувати гвинт із змінним валом або компоненти з литими лопатками, які розташовані під кутом із розрізною втулкою, яка встановлена на валу [4].

В мішалках періодичної дії діжа використовується для приймання і видачі змішаної продукції. Під час завантаження діжа перебуває в найнижчому положенні і може бути завантажена через самоплив з верхнього поверху, вручну або за допомогою механізмів із підлоги того ж поверху. Під час розвантаження діжу перекидають у бункер або пересувну діжу, при цьому рівень розвантаження повинен бути приблизно на висоті 0,8-0,9 метра. Перекидання діжі відбувається шляхом обертання навколо своєї власної осі. У деяких випадках вона може обертатися навколо вертикальної осі з допомогою гідравлічних або пневматичних кантувачів, якщо привідна станція розташована з одного боку діжі і вісь виступає вздовж привідного вала [4].

Побудова поворотних механізмів розроблена так, щоб під час повороту діжі не порушувалася робота передач в системі [5].

Мішалки, які використовуються для замішування м'ясного фаршу і мають еліпсоїдні лопаті, складаються з рухомої діжі, в якій розташовані лопаті, що обертаються в протилежних напрямках [15].

Усередині цієї машини розташовані лопаті, які обертаються в різних напрямках. Їх взаємодія забезпечує різкий розріз маси та швидке перемішування. Лопаті вводяться в рух завдяки шестерням і обертаються разом із чашею машини під час обертання робочого вала. Чаша також обертається

навколо своєї осі завдяки черв'ячній парі та ручці. Під час обертання робочого валу лопаті рівномірно змішують фарш і додаткові компоненти згідно з рецептурою до досягнення необхідної консистенції, насичуючи їх повітрям та переміщуючи до виходу для розвантаження. Після завершення цього процесу (зазвичай 40-60 секунд) заслінка відкривається, і готовий продукт автоматично вивантажується в підставлену посудину [3].

Фаршмішалка С/Е ММ25 має наступні характеристики для харчової промисловості [4]:

- **Продуктивність:** Вона здатна обробити велику кількість продукту на одну операцію, роблячи її підходящою для великих обсягів виробництва.
- **Матеріал виготовлення:** Машину виготовляють з високоякісних матеріалів, які відповідають стандартам безпеки і гігієни для продуктів харчування.
- **Змішувальний ефект:** Фаршмішалка забезпечує рівномірне та ефективне змішування фаршу та інших компонентів, що сприяє досягненню необхідної консистенції та якості продукту.
- **Автоматизація:** Машина може працювати автономно та вимагає мінімум людського втручання під час операції, що підвищує продуктивність та знижує витрати на робочу силу.
- **Надійність:** Фаршмішалка відзначається стійкістю та довговічністю, що робить її надійним обладнанням для виробництва харчових продуктів.
- **Інші параметри:** Машина може мати різні технічні параметри, такі як потужність, розміри, швидкість роботи та інші, що можуть бути адаптовані до конкретних потреб виробника.

Характеристика котлетоформовочних машин. Для створення продуктів із котлетної маси використовують різноманітні автомати (рис. 1.4).

Автомат для формування котлет є ключовою машиною на лінії масового виробництва котлет [8].

Зазвичай, ця машина має два контейнери для завантаження: один призначений для котлетної маси, а інший для паніровки із сухарів. Машина також включає в себе формуючий диск із прорізами, механізм для скидання та привід. У контейнері для котлетної маси зазвичай розташований шнек або вал з лопатками, які подають масу до гнізд. Гнізда містять циліндричні наскрізні отвори та поршні, які виконують вертикальні рухи вгору та вниз для формування котлет [8].

Система обертання формувального диска включає електродвигун, циліндричну передачу і черв'ячний редуктор. Ці машини для формування котлет також обладнані пристроєм для розвантаження. Вони призначені для формування і одностороннього панірування м'ясного, рибного, картопляного фаршу, а також кульок з манної крупи круглої форми (табл. 1.3). Машина розташовується на столі і підключається до джерела змінного струму [3].



Рис. 1.4. Автомат котлетний АК-2М-40

Електродвигун, який розташований всередині корпусу верстата, відповідає за приведення в рух робочих частин. Вал двигуна з'єднується з валом

черв'ячного редуктора, а цей вал відповідає за приведення в рух валу шнека-живильника. Обертальний рух формувального стола передається через циліндричні зубчасті колеса, одне з яких розміщене на валу шнека-живильника, а інше - на підлогах валу формувального стола. Ці машини для формування котлет також оснащені механізмом регулювання маси сформованого продукту [8].

Таблиця 1.3.

Технічна характеристика автомат котлетний АК-2М-40

Діаметр котлети, мм	76
Продуктивність технічна, шт/год	4000
Місткість завантажувального циліндра для фаршу, дм ³	20
Форма виробів	кругла
Маса формованих виробів, г	50, 75, 100
Споживана електроенергія, кВт*год.	0,35
Напруга, В	220
Габаритні розміри, мм	685x585x665
Маса, кг	90

Характеристика камери охолодження. Холодильні камери мають на меті забезпечити тимчасове зберігання охолоджених і заморожених продуктів на невеликих підприємствах, а також служити для охолодження та зберігання сировини, напівфабрикатів і готової холодної їжі в окремих секторах великих підприємств (табл. 1.4) [8].

Середня температура в холодильній камері типу КХС призначена для зберігання охолоджених продуктів і становить від 0 до +4 °С (рис. 1.5) [1].

Для створення цих камер, які встановлюються у підсобних приміщеннях підприємств у галузі торгівлі та громадського харчування, або в виробничих цехах, застосовується система складання з окремих уніфікованих щитів виробництва заводу. Ці щити мають дерев'яний каркас і обшивку з двох сторін, яка може бути виконана з дерев'яних дошок або сталевих листів. Між цими

шарами розташована теплоізоляція з пінополістиролу, що забезпечує консервацію температури всередині камери. Зовнішній шар дошок облицьований листовою сталлю або фанерою, а внутрішній шар захищений алюмінієвими листами. Для підлогових дошок використовується алюмінієве покриття у вигляді ванни. В кожному настінному щиті є двері для доступу. Ці щити з'єднуються між собою за допомогою стяжних болтів, і для забезпечення герметичності на місцях з'єднань використовується профільна гума [25].

Таблиця 1.4.

Технічні характеристики камери охолодження визначають її специфікації та основні параметри

Камера	Внутрішній охолоджуваний об'єм, м ³	Площа статі, м ²	Місткість продукції, кг	Температура, °С	Холодильний агрегат
КХС-18Б	46	9,7	2400	0...+4	ФАК-1,5МЗ



Рис. 1.5. Камера охолодження напівфабрикатів

При використанні системи повітряного охолодження свіже повітря спочатку подається в камери, де воно охолоджується у спеціальних пристроях, які називають охолоджувачами повітря. Після того, як повітря проходить через камери і охолоджує їх, воно нагрівається і зволожується внаслідок контакту з

продуктами в камерах. Після цього охолоджене повітря повторно проходить через охолоджувач повітря, де воно знову охолоджується і частково осушується, готове для подальшого використання для зберігання продуктів [21].

У вентиляційних охолоджувачах сухого типу, охолодження повітря відбувається, коли повітря проходить через контакт із сухою поверхнею спеціальних батарейок. Ці батарейки містять розчин фреону або холодного розсолу, який випаровується, відбираючи тепло від навколишнього повітря і, таким чином, охолоджуючи повітря [14].

На сьогоднішній день основною практикою є використання сухих охолоджувачів, і вони переважно базуються на прямому розширенні холодоагенту [14].

Аероохолодження є дуже перспективним методом для термічної обробки продуктів (охолодження та заморожування), а також для зберігання. Основні переваги цього методу включають в себе [1]:

- Сприяння обігу повітря, що збільшує ефективність теплообміну між повітрям і продуктами.
- Можливість передпроцесу охолодження і висушування зовнішнього повітря, яке подається в камери для вентиляції.
- Розширені можливості регулювання температури та вологості в камерах порівняно з іншими методами охолодження.
- Рівномірний розподіл температури повітря по всій камері.

1.3. Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування камерою для зберігання напівфабрикатів камери

Сучасні технічні та експлуатаційні характеристики холодильних камер охолодження дозволяють значно зменшити втрати при зберіганні напівфабрикатів. Підвищення ефективності системи створення технологічного мікроклімату в холодильних камерах для напівфабрикатів досягається завдяки впровадженню енергозберігаючих режимів та автоматизації управління ними [19].

Для створення системи автоматичного керування температурними режимами необхідно мати математичний опис динамічних процесів, які відбуваються в окремих елементах обладнання, приміщеннях та зберігаємії продукції. Математичні моделі повинні бути якомога точнішими і відображати фізичну природу цих процесів, зокрема, процеси теплообміну і масообміну. Вони повинні враховувати основні зв'язки між параметрами та зовнішніми або внутрішніми впливами, які можуть впливати на температурний режим у камері та, відповідно, на втрати продукції [4].

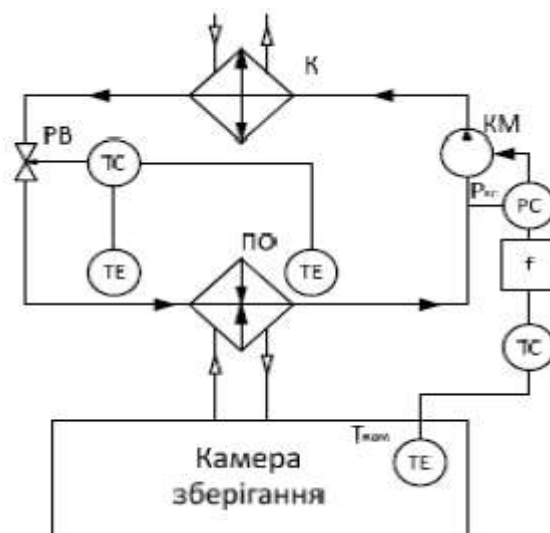


Рис. 1.6. Функціональна схема САК режимами охолодження та зберігання напівфабрикатів

Проведеними теоретичними дослідженнями взаємодії охолоджувального повітря з об'єктом зберігання встановлено визначальний вплив температури на динаміку втрат продукту та визначено основний параметр регулювання – зміна холодопродуктивності компресорної установки в функції температури повітря на виході камери (датчик температури ТЕ на вході повітроохолоджувача ПО), шляхом зміни об'ємних витрат холодоагенту (регулювання частоти обертання вала компресора К). Функціональна схема САК приведена на рис. 1.6., 1.7.

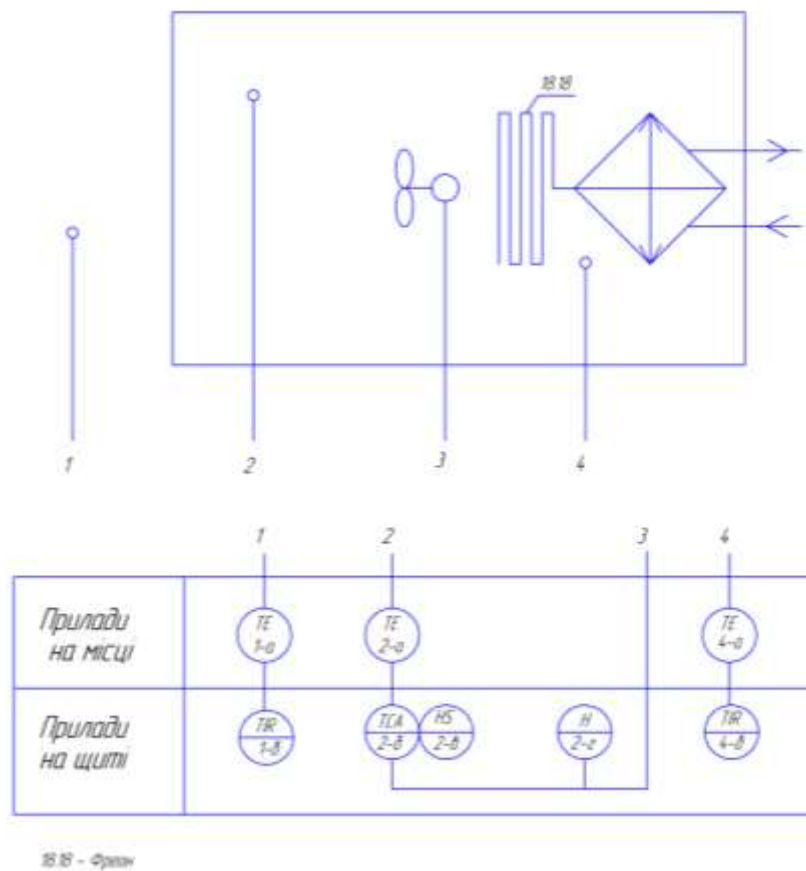


Рис. 1.7. Функціональна схема автоматизації камери охолодження і зберігання напівфабрикатів:

ТЕ – датчик температури, який вимірює температуру в камері; TIR – індикація і реєстрація значень температури в камері охолодження; TCA – контроль та керування температурою в камері та повідомлення про її відхилення; HS – ручний перемикач; H – ручне керування двигуном

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1. Загальний підхід до створення математичних моделей

Метою цього розділу є створення математичної моделі системи керування, яка враховує вплив параметрів управління на зміну температури, а також створення імітаційної моделі на основі диференціальних рівнянь, щоб вивчити цю модель. Аналіз цієї моделі дозволить визначити основні параметри, такі як постійну часу об'єкта, транспортну затримку та передавальне відношення об'єкта [11].

Для створення автоматизованої системи управління температурою необхідно мати точний математичний опис того, як змінюються параметри і процеси в окремих частинах обладнання, в самому приміщенні та у продуктах, які піддаються охолодженню [16].

2.2. Розробка математичної моделі камери охолодження напівфабрикатів

Ця схема відображає спосіб, яким тепло переміщується в камері охолодження. Тепло надходить у камеру через зовнішні впливи і теплопритоки з навколишнього середовища. У камері тепло розподіляється між повітрям, яке охолоджує продукцію, та самою продукцією. Потім тепло виводиться з камери через охолоджувальні системи та інші теплові втрати (рис. 2.1) [11].

Мета цієї схеми – показати, як теплообмін відбувається в середовищі камери охолодження і як керування та регулювання температури може впливати на цей процес [11].

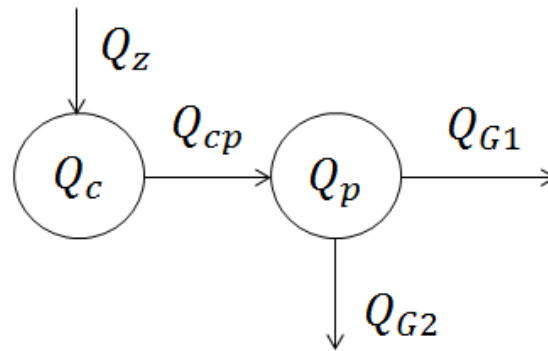


Рис. 2.1 Схема потоків тепла в камері охолодження

- Q_z - кількість тепла, яке надходить з зовнішнього повітря;
- Q_c - кількість тепла, яке надходить зі стін;
- Q_{cp} - кількість тепла, яка передається від стін до камери;
- Q_{G1} - кількість тепла, яке входить і виходить з повітря;
- Q_{G2} - кількість тепла, яке виводиться з повітря камери;
- Q_p - кількість тепла в повітрі камери.

Ці параметри вказують на різні джерела теплозабезпечення та тепловитрати в камері охолодження і їх взаємодію з оточуючим середовищем. Розуміння цих параметрів дозволяє краще управляти температурним режимом в камері [16].

1. Тепло, яке накопичується у стінах.:

$$Q_c = C_c \cdot M_c \cdot t_c, \text{ Дж} \quad (2.1)$$

де C_c – представляє середню теплоємність стін, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; M_c - маса стін, кг; t_c – середню температуру стін, $^\circ\text{C}$.

2. Температурі між зовнішнім повітрям та повітрям біля стелі та стін сховища [20]:

$$Q_z = \alpha_{zc} \cdot F_c \cdot (t_z - t_c), \text{ Вт} \quad (2.2)$$

де F_c – область стін і стелі камери охолодження, м^2 ; α_{zc} – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стін камери, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; t_z – температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$; t_c – середня температура стін камери, $^\circ\text{C}$.

3. Тепловий обмін між стінами та повітрям [20]:

$$Q_{cp} = \alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p), \text{Вт} \quad (2.3)$$

де F_c – площа стін та стелі камери, м^2 ; α_{cp} – коефіцієнт тепловіддачі між повітрям в камері та стінами, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; t_p – температура повітря в камері, °C ; t_c – середня температура стін камери, °C .

4. Тепло яке зберігається та відображається в обсязі повітря у камері охолодження [20]:

$$Q_p = V_p \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_p + Mf \cdot Cf, \text{Дж} \quad (2.4)$$

де V_p – об'єм повітря, який міститься в камері охолодження, м^3 ; ρ_p – визначає густину повітря в камері, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; C_p – теплоємність повітря, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; t_p – представляє собою температуру повітря в камері охолодження, °C ; Mf – показує масу напівфабрикатів в камері, кг ; Cf – теплоємність напівфабрикатів, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$.

5. Тепло яке потрапляє в повітря камери охолодження і виходить з нього [20]:

$$Q_{G1} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_z - t_{хп}), \text{Дж} \quad (2.5)$$

де V_v – представляє об'єм вентиляційного повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; ρ_p – густина повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; C_p – представляє теплоємність повітря, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; t_z – представляє температуру зовнішнього повітря, °C ; $t_{хп}$ – представляє температуру холодного повітря, °C .

6. Тепловий потік, який віддається повітрю в камері [18]:

$$Q_{G2} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_p - t_z), \text{Дж} \quad (2.6)$$

де V_v – представляє об'єм вентиляційного повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; ρ_p – густина повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; C_p – теплоємність повітря, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; t_p – температура повітря у камері охолодження, °C ; t_z – температура зовнішнього повітря, °C [11].

Система рівнянь, яка описує процес теплового обміну в камері охолодження.

$$\frac{dt_c}{d\tau} = \frac{1}{C_c \cdot M_c} \cdot (\alpha_{zc} \cdot F_c \cdot (t_z - t_c) - \alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p))$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{1}{V_p \cdot \rho_p \cdot C_p + Mf \cdot Cf} \cdot (\alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p) - V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_p - t_{хп}) - V_v \cdot \rho_p \cdot C_p (t_p - t_z))$$

$$\frac{dt_c}{d\tau} = \frac{1}{453,552 \cdot 5851,013} \cdot (22 \cdot 66,392 \cdot (16 - t_c) - 13 \cdot 66,392 \cdot (t_c - t_p))$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{1}{44 \cdot 1,23 \cdot 1000 + 2419,5 \cdot 2170} \cdot (13 \cdot 66,392 \cdot (t_c - t_p) - 2,2 \cdot 1,23 \cdot 1000 \cdot (t_p - (-15)) - 2,2 \cdot 1,23 \cdot 1000 \cdot (t_p - 16))$$

Таблиця 2.1

Фізичні параметри та характеристики елементів, які використовуються для обчислень

Довжина камери охолодження, м	L=7.52
Ширина камери охолодження, м	B=2.97
Висота камери охолодження, м	H=2.1
Густина повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_p = 1.23$
Температура холодне повітря, °C	$t_{хп} = -15$
Температура зовнішнього повітря, °C	$t_z = 16$
Теплоємність повітря, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$C_p = 1000$
Теплоємність напівфабрикатів, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$Cf = 2170$
Коефіцієнт тепловіддачі від повітря до стін, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	$\alpha_{zc} = 22$
Коефіцієнт залежності швидкості повітря в камері, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$	$\alpha_{cp} = 13$

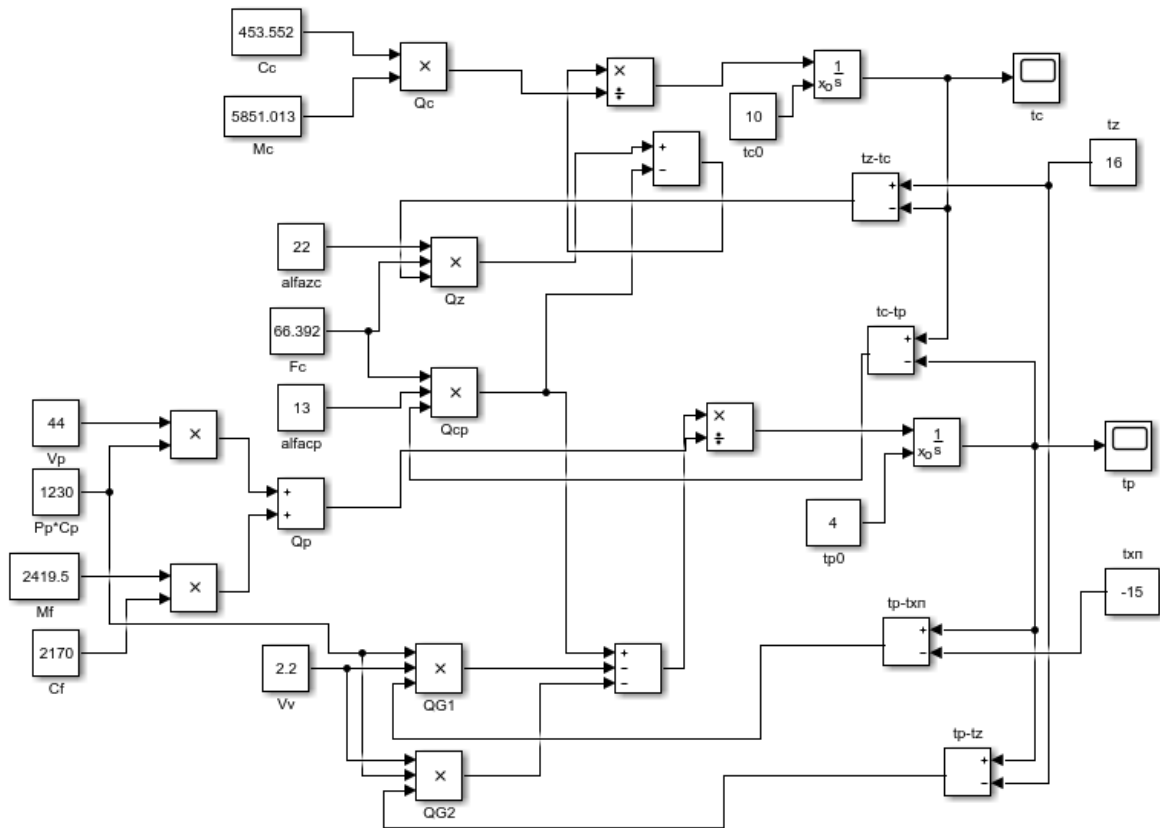


Рис. 2.2. Схема моделі камери охолодження у блоках Simulink MATLAB

Для аналізу параметрів камери охолодження напівфабрикатів як об'єкта, що підлягає регулюванню температури, використовувалася її динамічна характеристика. Ця характеристика відображає, як змінюється температура в залежності від часу при різкій зміні керуючого впливу (рис. 2.3) (Додаток А) [21].

Передатна функція для статичних об'єктів управління, отримана на основі характеристики розгону зміни температури в камері, буде мати такий вигляд [21]:

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s + 1}, \quad (2.7)$$

де s – оператор Лапласа.

За допомогою розгінної характеристики визначимо постійну часу об'єкта $T_0 = 990$ с.

Коефіцієнт підсилення об'єкта K_0 обчислюється за допомогою наступної формули:

$$K_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{0,5}{320} = 0.001,$$

де $\Delta y = 0,5$, $\Delta x = 320$.

У цьому випадку передатну функцію камери охолодження як об'єкта регулювання температури повітря в камері можна наблизити інерційною ланкою, яка буде мати такий вигляд [21]:

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s + 1} = \frac{0,001}{990s + 1}.$$

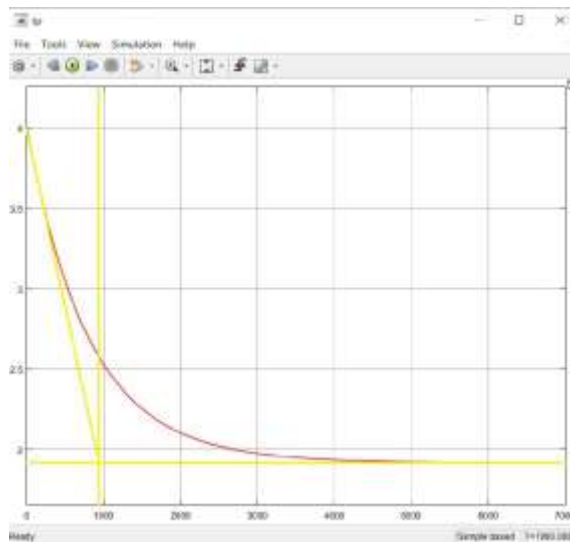


Рис. 2.3. Розгінна крива зміни температури в камері охолодження, яка отримана в моделі Simulink

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1. Вибір та обґрунтування алгоритму

У сфері автоматичного управління важливим є правильний відбір регуляторів та оптимальне налаштування їх параметрів. Це завдання вирішується під час проектування систем автоматичного регулювання і подальшого уточнення параметрів під час працездатності системи на реальному об'єкті [12].

Вказані завдання стосуються аналізу як статичних, так і динамічних характеристик об'єктів регулювання. Вони ґрунтуються на методології, що була розроблена на основі наукових досліджень і перевірена на практиці налаштування різноманітних систем автоматичного регулювання. Основні цілі, які досягаються при виборі регуляторів та оптимізації їх параметрів, можуть бути сформульовані наступним чином [12]:

1. Система автоматичного регулювання (САР) і компоненти регулятора, які входять до її складу, повинні бути налаштовані відповідно до потреб технологічного процесу та вимог щодо нормального функціонування регульованого об'єкта в різних режимах роботи [13].

2. Система повинна забезпечувати стабільну роботу навіть при виникненні типових збурень, які характерні для конкретного об'єкта регулювання [13].

3. Система повинна забезпечувати відповідну якість регулювання в усіх режимах, включаючи як статичні, так і динамічні стани системи. Важливо, щоб система була надійною у роботі, мала оптимальну вартість і ефективно використовувала ресурси [22].

Для ефективного вибору регуляторів і налагодження їх важливо належним чином оцінити технологічні та експлуатаційні вимоги, які пред'являються виробництвом до САР. Це пов'язано з тим, що в залежності від

конкретних умов, може бути необов'язково встановлювати надто високі стандарти, оскільки досягнення найкращих показників регулювання може призвести до ускладнень і збільшення витрат на обладнання, монтаж та обслуговування. Такі питання часто вирішуються через знаходження розумного компромісу між вимогами до якості регулювання та економічною доцільністю використання складних систем [12].

У зв'язку з цим, оптимальний характер процесу регулювання і ідеальна настройка - це відносні поняття. Вони залежать від умов виробництва, рівня технічного оснащення машин та устаткування, характеру реальних експлуатаційних збурень і інших факторів [23].

У зв'язку з тим, що характер експлуатаційних збурень не підкоряється закономірностям і є випадковим, рівновага регульованої системи постійно змінюється і може бути описана лише середнім відхиленням регульованої величини протягом певного періоду часу. Це середнє відхилення відображає динамічну точність регулювання. Збурення можуть бути тривалими, перевищувати період регулювання і бути короткочасними, стрибкоподібними. Тривалі збурення можуть бути або стрибкоподібними, або тривалими і монотонними. Характер збурень може бути практично визначений шляхом систематичних спостережень за технологічним процесом на основі записів реєструючих пристроїв [13].

Під час вибору регуляторів і налаштування їх параметрів важливо враховувати максимальні збурення, які можуть виникнути в нормальних умовах експлуатації. Проте у певних ситуаціях систему може бути протестовано на аварійних збуреннях.

Для оцінки, наскільки перехідний процес відповідає технологічним і експлуатаційним вимогам, а також з урахуванням технічних характеристик об'єкта, може бути оптимальним обрана система з різними типами перехідних функцій [23].

В реальних умовах перехідні функції процесу регулювання можуть бути апроксимовані обмеженою кількістю стандартних перехідних процесів, і серед

них один буде максимально близьким до оптимального для конкретного об'єкта [23].

Після обрання одного зі стандартних перехідних процесів і використання вихідних даних, визначається динамічний коефіцієнт регулювання, який вказує на максимальне динамічне відхилення. Динамічний коефіцієнт регулювання для статичних об'єктів R_d обчислюється як співвідношення максимально допустимого відхилення регульованої величини X_1 під час перехідного процесу до коефіцієнта $k_{уст}$ усталеного режиму об'єкта помножена на величину $U_{збур}$ що представляє збурення об'єкта [12].

$$R_d = \frac{X_1}{k_{уст} \cdot U_{збур}} = \frac{4}{1,8 \cdot 3\%} = 0,74.$$

Використання ПІ-регуляторів може призвести до отримання найнижчого можливого значення динамічного коефіцієнта регулювання R_d (таб. 3.1.).

Таблиця 3.1.

Динамічний коефіцієнт регулювання для астатичних об'єктів

Тип регулятора	Аперіодичний	20% перерегулюванням	$\min \int x^2 dt$
П	2,9	1,4	-
ПІ	1,4	1,3	0,9
ПІД	1,3	1,1	0,8

3.2. Вибір технічних засобів

Функціональна схема системи автоматичного регулювання (САР) представляє собою візуальне зображення, на якому показані функціональні компоненти системи та їх взаємозв'язки (рис. 3.1). Елементи системи позначаються у вигляді прямокутників з підписами, що скорочено вказують на

їх назву. Лінії на схемі відображають зв'язки між цими елементами, а стрілки вказують на напрямок інформаційного потоку [13].

На функціональній схемі основної системи автоматичного регулювання для камери охолодження напівфабрикатів основним об'єктом (ОК) регулювання є температура повітря в камері. Ця температура вимірюється датчиком температури, який є первинним перетворювачем (СЕ). Датчик температури вимірює температуру і передає цю інформацію до інших компонентів системи для подальшого аналізу і регулювання температурного режиму камери охолодження [22].

Порівнюючий елемент (ПЕ) є компонентом системи, який порівнює отримані від датчика температури дані з необхідним значенням температури. Вихідний сигнал порівнюючого елемента - це напруга управління (U_y), яка подається до виконавчого пристрою для впливу на регульований процес і підтримання заданого значення температури в камері охолодження [12].

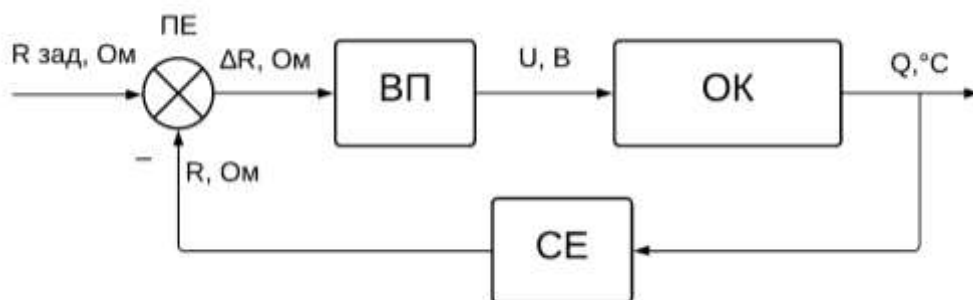


Рис. 3.1. Функціональна схема системи автоматичного керування

ЗП - це пристрій, який встановлює задане значення температури в камері охолодження. ВП - це пристрій, який відповідає за виконання команд задаючого пристрою та впливає на об'єкт керування (ОК), забезпечуючи регулювання температури [22].

СЕ (сприймаючий елемент) - це датчик температури, який вимірює температуру в камері охолодження і перетворює її в опір (вихідна величина - R , Ом). Значення опору вказує на поточну температурис [22].

U та B - це напруга на двигуні вентилятора, який використовується для регулювання температури в камері [22].

Датчик (CE) – термометр опору. Вихідна величина – R, Ом (опір) [22].

3.2.1. Вибір сприймаючого елемента (датчика температури)

ПВП (прилад первинного вимірювання) є першим елементом в системі вимірювання, який перетворює фізичний параметр на вимірювальний сигнал. Датчик, який є частиною ПВП, служить для сприймання цього фізичного параметра. Умовами вибору ПВП є [13]:

$$T_{CE} < 0,1T_{об}$$

Для відповідності цим критеріям ми вибираємо: ДТС035М-100П.0,25.250.RS (таб.3.2), (рис. 3.2) [14].

Таблиця 3.2.

Технічні характеристики ДТС035М-100П.0,25.250.RS

Градуювання	21 (Опір при 0 °С = 100 Ом)
Границі виміру	-50...+140, °С
Теплова інерція	20 секунд (T _{CE} = 20 секунд)

$$T_{CE}(20 \text{ с.}) < 0.1 T_{об}$$



Рис. 3.2. Дачик температури ДТС035М-100П.0,25.250.РС

Передатна функція датчика [23]:

$$W_{CE}(s) = \frac{K_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}, \quad (3.1)$$

$$K_{CE} = R_0 \cdot \alpha, \quad (3.2)$$

α – температурний коефіцієнт для платинових датчиків :

$$\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3}$$

Визначаємо коефіцієнт передачі датчика:

$$K_{CE} = 46 \cdot 3,9 \cdot 10^{-3} = 0,179.$$

Інерційна ланка датчика:

$$W_{CE}(s) = \frac{0,179}{20 \cdot s + 1}$$

3.2.2. Вибір виконавчого пристрою

На основі заданого об'єму вентиляційного повітря в розмірі 2,2 м³/с (табл. 3.3) ми робимо вибір вентилятора для камери охолодження з моделлю ВКПН 60-35-2D-3.55 (рис. 3.3) [12].



Рис. 3.2. Канальний вентилятор ВКПН 60-35-2D-3.55

Для приводу механізму вентиляторів зазвичай використовують трьохфазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором [23].

При виборі електродвигунів для вентиляторів враховуються наступні характеристики: напруга, вид струму та обертова частота [13].

Також слід враховувати вплив умов оточуючого середовища та характеристики навантаження, оскільки ці фактори також мають важливе значення при виборі електродвигунів [13].

Виходячи з характеристик вентилятора, ми робимо вибір відповідного електродвигуна та обираємо модель АИР90L2 з вказаними технічними характеристиками (рис. 3.3) [22]: $P_{н.дв} = 3$ кВт; $n_{н.дв} = 3000$ об/хв; $I_{н.дв} = 6,1$ А; $\eta_{н.дв} = 84,5$ %; $\cos\varphi_{н/дв} = 0,88$.

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики вентилятора ВКПН 60-35-2D-3.55

Частота обертів лопатей, об/хв	3000
Продуктивність, м ³ /с	2.2
Потужність, кВт	3
Повний тиск, Па	1400
Маса вентилятора, кг	52.8



Рис. 3.3. Електродвигун АИР90L2

Передатна функція вентилятора з асинхронним двигуном АИР90L2 має вигляд [23]:

$$W_{\text{дв}} = \frac{K_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}} \cdot s + 1}, \quad (3.3)$$

$$K_{\text{дв}} = \frac{\frac{M_n}{U_n}}{\frac{M_n - M_{\text{ном}}}{\frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{ном}}}}, \quad (3.4)$$

$$T_{\text{дв}} = \frac{\frac{J_{\text{дв}}}{M_n - M_{\text{ном}}}}{\frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{ном}}}, \quad (3.5)$$

де M_n - пусковий момент електродвигуна, Н·м; U_n - номінальна напруга живлення двигуна, В; $n_{\text{ном}}$ - номінальна частота обертання двигуна, об/хв; $M_{\text{ном}}$ - номінальний момент двигуна, Н·м; $J_{\text{дв}}$ - момент інерції ротора, кг·м².

З врахуванням паспортних даних для електродвигуна, які становлять:
 $M_n = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $U_n = 380 \text{ В}$; $M_{ном} = 8,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $n_{ном} = 2870 \text{ об/хв}$; $J_{дв} = 0,0024 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Коефіцієнтів передаточної функції матиме вигляд :

$$K_{дв} = \frac{0,066}{0,056} = 1,184, \quad T_{дв} = \frac{0,0024}{0,056} = 0,043.$$

Виходячи з розрахунків отримуємо передатну функцію двигуна:

$$W_{ВП}(s) = \frac{1,184}{0,043 \cdot s + 1}.$$

3.3. Реалізація алгоритму керування

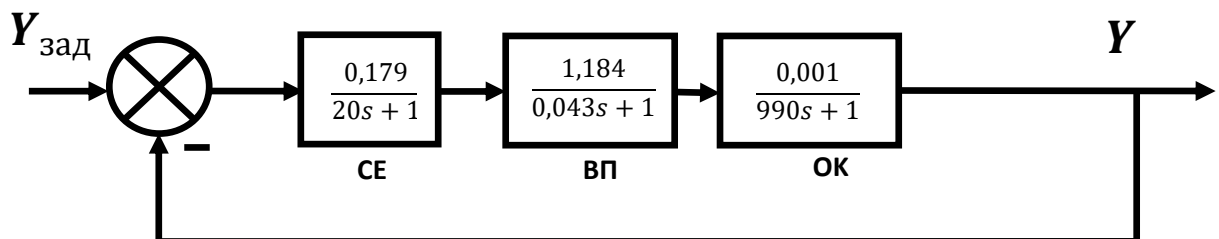


Рис. 3.4. Структурно – алгоритмічна схема системи

$$K_0 = 0,001$$

$$T_0 = 990 \text{ с.}$$

Визначення передатних функцій

а) Розімкнутої системи ($f=0$):

$$\begin{aligned} W_{роз}(s) &= \frac{0,179}{(20 \cdot s + 1)} \cdot \frac{1,184}{(0,043 \cdot s + 1)} \cdot \frac{0,001}{(990 \cdot s + 1)} = \\ &= \frac{0,0002}{851,4 \cdot s^3 + 19843,4 \cdot s^2 + 1010 \cdot s + 1}. \end{aligned}$$

б) Передатна функція замкнутої системи керуванням ($f=0$):

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{W_{\text{роз}}(s)}{1 + W_{\text{роз}}(s)} = \frac{K}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + 1 + K}$$

$$= \frac{0,0002}{851,4 \cdot s^3 + 19843,4 \cdot s^2 + 1010 \cdot s + 1 + 0,0002}$$

$$K=0,0002.$$

3.3.1. Визначення періоду дискретизації

Під час проектування цифрової системи керування, виникає питання про визначення оптимальної частоти квантування. Збільшення частоти квантування підвищує точність системи керування, однак це призводить до збільшення навантаження на мікропроцесор [12]. З іншого боку, зменшення частоти квантування призводить до втрати важливої інформації про сигнал, що може ускладнити відтворення вихідного сигналу за допомогою обмеженої кількості дискретних вибірок. Таким чином, важливо знайти баланс між точністю і обсягом обчислювальних операцій при визначенні частоти квантування для забезпечення ефективної роботи цифрової системи керування [13].

Найнижча частота квантування повина бути не меншою за $2\omega_c$, де за ω_c приймається найбільшу суттєву частоту у спектрі неперервного сигналу [22].

У зв'язку зі значним зниженням амплітуди високочастотних компонентів сигналу, при певній точності відтворення сигналу можна припустити, що він має обмежений частотний спектр. Цю межу спектра ω_c визначають за формулою [22]:

$$|W_{\text{роз.н.ч}}(s)| \leq \theta_{\text{зад}} \quad (3.6)$$

Частота квантування $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$, але умова нерівності повинна виконуватись $\omega_s \leq 2\omega_c$ тому допустимий період квантування визначатиметься за формулою

$$T_{ц} \leq \frac{\pi}{\omega_c}. \quad (3.7)$$

Неперервний сигнал повинен бути представлений з визначеною точністю через його значення, які вимірюються в дискретні моменти часу з певним інтервалом між вимірюваннями $T_{ц}$ [12].

Для аналогової або неперервної складової цифрової системи керування характерна передатна функція, яка визначає, як система реагує на вхідні сигнали і як вони перетворюються на вихідні сигнали в залежності від часу та інших параметрів [13].

$$W_{\text{роз.н.ч}}(s) = \frac{0,0002}{851,4 \cdot s^3 + 19843,4 \cdot s^2 + 1010 \cdot s + 1}.$$

Необхідно визначити допустимий період квантування, який забезпечує максимальну похибку відтворення первинного неперервного сигналу $\theta_{\text{зад}} = 1\%$ [22].

Форма передатної функції неперервної частини замкненої системи подається наступним чином.:

$$\begin{aligned} W_{\text{зам.н.ч}}(s) &= \frac{0,0002}{851,4 \cdot s^3 + 19843,4 \cdot s^2 + 1010 \cdot s + 1 + 0,0002} \\ &= \frac{0,0002}{851,4 \cdot s^3 + 19843,4 \cdot s^2 + 1010 \cdot s + 1,0002}. \end{aligned}$$

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) неперервної частини замкненої системи подається у наступній формі :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{зам.н.ч}}(s) &= \frac{0,0002}{851,4 \cdot (j\omega)^3 + 19843,4 \cdot (j\omega)^2 + 1010 \cdot (j\omega) + 1,0002} \\
 &= \frac{0,002}{-j \cdot 851,4 \cdot \omega^3 - 19843,4 \cdot \omega^2 + j \cdot 1010 \cdot \omega + 1,0002} \\
 &= \frac{0,0002}{(1,0002 - 19843,4 \cdot \omega^2) + j \cdot (1010 \cdot \omega - 851,4 \cdot \omega^3)}.
 \end{aligned}$$

Для отримання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) неперервної частини замкненої системи, ми розглядаємо модуль амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) цієї системи [12]:

$$A(\omega) = |W_{\text{зам.н.ч}}(j\omega)| = \frac{0,0002}{\sqrt{(1,0002 - 19843,4 \cdot \omega^2)^2 + (1010 \cdot \omega - 851,4 \cdot \omega^3)^2}}$$

Значення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) неперервної частини замкненої системи при нульовій частоті позначається як $A(0)$ [12]:

$$A(0) = \frac{0,0002}{\sqrt{(1,0002 - 19843,4 \cdot 0^2)^2 + (1010 \cdot 0 - 851,4 \cdot 0^3)^2}} = 0,0002.$$

Права частина рівняння :

$$A(0) \cdot \theta = 0,0002 \cdot 0,01 = 0,000002.$$

Складаємо рівняння

$$\frac{0,0002}{\sqrt{(1,0002 - 19843,4 \cdot \omega^2)^2 + (1010 \cdot \omega - 851,4 \cdot \omega^3)^2}} = 0,000002.$$

$$\omega := -1$$

Given

$$\frac{0.0002}{\sqrt{(1.0002 - 19843.4 \cdot \omega^2)^2 + (1010 \cdot \omega - 851.4 \cdot \omega^3)^2}} = 0.000002$$

$$\text{Find}(\omega) = 0.063$$

Найбільша суттєва частота:

$$\omega_c = 0,063.$$

Максимально допустимий період квантування - це найбільший інтервал часу, протягом якого можна здійснювати процес квантування сигналу, забезпечуючи, що похибка відтворення сигналу залишається в межах максимально допустимого обсягу $\theta_{\text{зад}} = 1\%$ [22]:

$$T_{\text{ц}} = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{3,14}{0,063} = 49,8 \text{ с.}$$

3.3.2. Налаштування ПІ – регулятора

ПІ-регулятор (пропорційно-інтегральний регулятор) - це один з типів регуляторів, який використовується для керування автоматичними системами. Він поєднує в собі два основних компоненти: пропорційний та інтегральний. Пропорційний компонент реагує на поточну помилку у величині регулювання (різниця між заданою і фактичною величиною) пропорційно до цієї помилки, тобто він змінює величину керування в пропорції до величини помилки [12].

Інтегральний компонент допомагає врегулювати систему в разі наявності постійної помилки у величині регулювання. Він накопичує помилку в часі і поступово зменшує її, працюючи над підтриманням величини на заданому рівні [12].

ПІ-регулятор використовується для стабілізації і підтримання системи в режимі реального часу. ПІ-регулятор широко використовуються в автоматизованих системах керування [13].

Визначаємо параметри налаштування ПІ-регулятора.

$$K_p = \frac{0,6}{(k_{об} * \tau)/T_{об}} = \frac{0,6}{0,0002/990} = 5;$$

$$T_i = 0,6 \times 990 = 5000 .$$

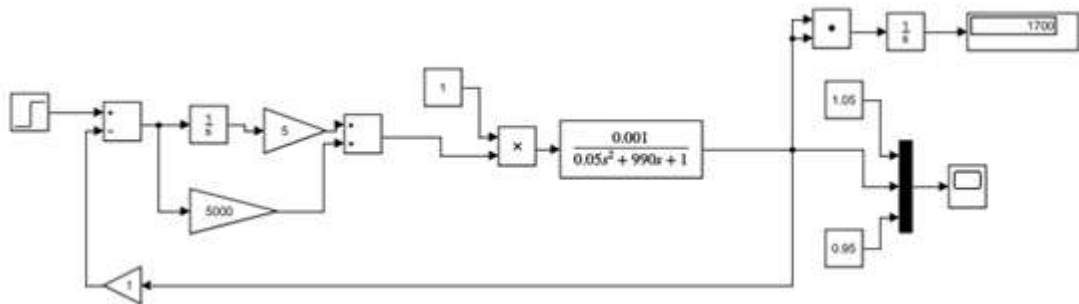


Рис. 3.5. Імітаційна модель аналогової системи керування

3.3.3. Дослідження системи

Показники якості скоректованої системи :

- статична похибка $\delta = \frac{Y_{зад} - Y_{уст}}{Y_{зад}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100 = 0\%$;
- час регулювання $t_p = 970$ с ;
- перерегулювання $\sigma = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100 = 0\%$;
- коливальність $n = 0$.

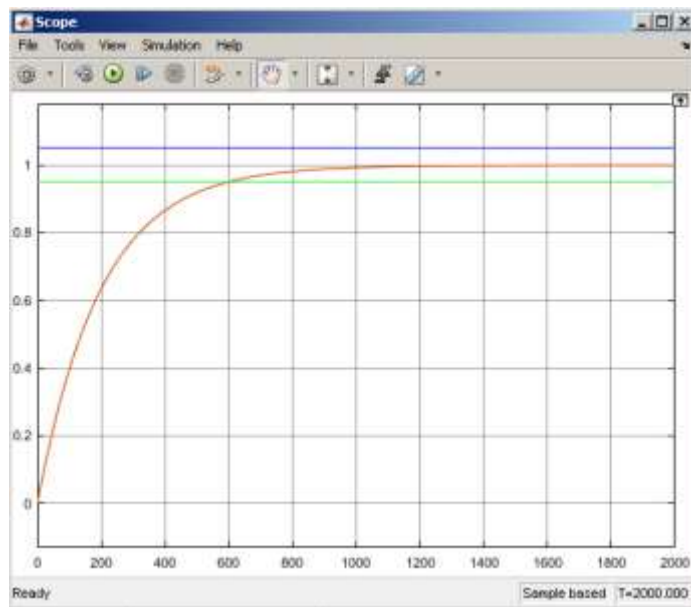


Рис. 3.6. Перехідна характеристика аналогової системи ПІ-регулятором

3.4. Вибір керуючого елемента

Ми розглядаємо можливість вибору універсального регулятора для наших потреб ПІ-регулятор ОВЕН-ПЧВ-101 для реєстрації та регулювання температури в камері охолодження. Зовнішній вигляд ПЧВ показано на рисунку (рис. 3.9) [10].



Рис. 3.7. Панель регулятора ОВЕН-ПЧВ-101

Лінійка частотних перетворювачів ОВЕН-ПЧВ-101 відрізняється від інших частотних перетворювачів: легкістю введення в експлуатацію і зручним інтерфейсом, доступною ціною, що робить перетворювач універсальним пристроєм для керування електроприводом (табл. 3.4) [14]. Параметри налаштування ПІ - регулятора зображено (Додаткок Б) [10].

Переваги та недоліки частотного перетворювача серії ОВЕН-ПЧВ-101 [10]:

- Векторне безсенсорне та скалярне керування.
- Знімна панель оператора у комплекті.
- Вбудований ПІ-регулятор.
- Інтерфейс RS-485 з протоколом Modbus.
- Дискретні та аналогові входи і виходи.
- Можливість підключення гальмівних резисторів.
- Вбудовані всіх необхідних захисні функції: перевантаження ПЧ за струмом, високої та низької напруги, перегріву ПЧ, коротких замикань, втрати зворотного зв'язку [10].
- Швидкознімний вентилятор для зручного очищення.
- Кріплення на DIN-рейку (до 2,2 кВт).
- Гарантія 3 роки .

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики ОВЕН-ПЧВ-101

Параметр	Значення
Мережа живлення ПЧВ	3 фази 300...460 В (моделі 0,75 ... 9 кВт)
Вихідна напруга	3 фази 0 ... 250 В 3 фази 0 ... 500 В
Вихідна частота	0 ... 400 Гц
Режим керування	Скалярне U/f з установленням трьох точок SVC безсенсорне векторне керування
Перевантажувальна здатність	150 % протягом 60 секунд
Вбудовані джерела живлення	24 В, 50 мА 10 В, 20 мА
Момент гальмування через вбудований гальмівний ключ	20% без зовнішнього гальмівного резистора 100% з використанням зовнішнього гальмівного резистора
Локальна панель оператора	Знімна, конектор RJ45 Вбудований потенціометр Налаштування, монітор параметрів, відображення коду помилки
Інтерфейс	RS-485 з підтримкою протоколу Modbus
Цифрові входи	4 (сух .контакт / NPN)
Аналогові входи	1 (4...20 мА / 0...10 В)
Цифрові виходи	1 релейний (~250 В, 1 А) 1 транзисторний (24 В, 150 мА)
Аналоговий вихід	1 (0...10 В)
Вбудовані регулятори	ПД-регулятор Вбудований ПЛК (програмний автомат)
Клас захисту корпусу	IP20
Діапазон робочих температур	-10...+ 40 °С при вологості < 90%
Довжина моторного кабелю (без зовнішнього дроселя)	< 40 м

3.5. SCADA-система

SCADA-система - це комплекс програмного та апаратного забезпечення, призначений для збору даних, відображення і контролю над технологічними процесами та об'єктами у реальному часі. Скорочення "SCADA" означає "Система збору, контролю та аналізу даних". Ця система дозволяє віддалено керувати і моніторити різноманітними об'єктами, такими як електростанції, водні системи, промислові виробництва та інші, шляхом збору і аналізу даних з датчиків та інших джерел інформації [24].

SCADA-системи дозволяють операторам та інженерам в реальному часі відслідковувати стан об'єктів, моніторити параметри, виявляти відхилення від норми та при потребі втручатися в роботу системи. Вони грають важливу роль в автоматизації та управлінні великими і складними технологічними процесами [24].

Основні функції SCADA включають збір даних, візуалізацію, реєстрацію подій, архівування даних, а також можливість генерувати звіти та аналізувати дані для прийняття рішень [24].

Головною функцією SCADA є нагляд та контроль за численними розташованими на великій відстані об'єктами. Ці об'єкти можуть знаходитися в різних місцях, включаючи відстань кількох тисяч кілометрів один від одного. Серед основних сфер застосування SCADA можна виділити електророзподільні мережі, нафтопроводи, газопроводи, системи водопостачання та багато інших [22].

SCADA використовується в різних секторах економіки для автоматизованого керування технологічними процесами в режимі реального часу [24].

Диспетчер взаємодіє із спеціалізованим програмним забезпеченням, яке встановлене на персональних комп'ютерах. Для взаємодії з об'єктами, які підлягають контролю, використовуються драйвери введення-виведення або

пов'язані сервери. У програмному забезпеченні можуть бути використані коди, які були створені в середовищі автоматизованого проектування [1].

Завдання, які виконуються за допомогою SCADA-систем [2]:

- Обмін інформацією в режимі реального часу з обладнанням, що контролює об'єкт (наприклад, промислові контролери або введено-виведено плати) за допомогою драйверів.
- Обробка даних в режимі реального часу.
- Логічне управління об'єктом.
- Відображення даних на екрані для зручності сприйняття оператором.
- Підтримка бази даних в режимі реального часу з технічними параметрами.
- Повноцінний контроль і управління системою тривожних повідомлень і аварійною сигналізацією.
- Генерація звітів про стан і роботу системи та її окремих складових.
- Керування і налагодження мережевої структури між SCADA-станціями.
- Інтеграція з зовнішніми програмами, такими як системи управління базами даних, текстові редактори і таблиці.

На екрані SCADA-системи відображена камера охолодження напівфабрикатів, де ведеться контроль за температурою шляхом регулювання швидкість роботи вентилятором який обдуває трубки охолодження, де присутній фреон. Також на екрані можна побачити пульт керування об'єктом, який використовується для запуску двигуна або інших процесів. На шкалі, яка також присутня на екрані, відображається поточна температура в камері охолодження (рис. 3.10) [24].

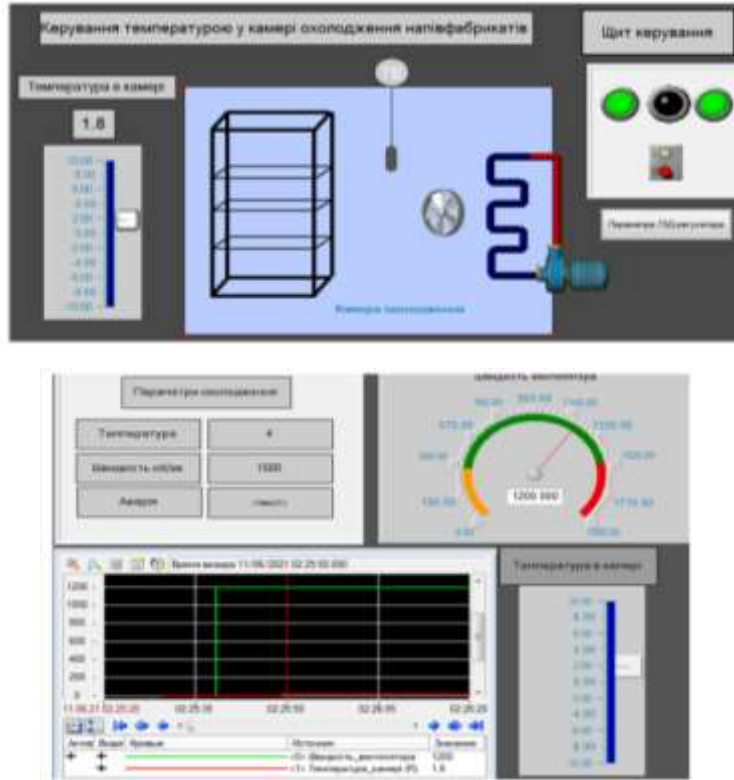


Рис. 3.8. SCADA-система камери охолодження

РОЗДІЛ 4

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПОШУКОВОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ

Адаптивна система - це система керування або регулювання, яка здатна адаптувати свої параметри і параметри регуляції без необхідності активного пошуку оптимальних значень. Її основна мета полягає в тому, щоб система самостійно змінювала свої налаштування на основі зібраних даних і без втручання оператора або інженера [6]. Адаптивні системи використовуються в ситуаціях, коли параметри об'єкта регулювання можуть змінюватися в ході роботи системи, але немає можливості точно передбачити ці зміни. Їх використання дозволяє підтримувати високу ефективність системи регулювання, навіть коли параметри об'єкта змінюються [6].

Адаптивні системи можуть використовувати різні методи адаптації, такі як методи ідентифікації параметрів, методи самоналаштування або навіть нейромережеві підходи. Вони застосовуються в автоматичному керуванні, виробничих процесах, робототехніці та інших галузях, де важливо забезпечити стійку і ефективну роботу системи в змінних умовах [9].

На структурній схемі безпошукової адаптивної системи автоматичного регулювання з еталонною моделлю та стабілізацією якості керування відображено взаємозв'язок та взаємодію різних компонентів системи [7]. Ця схема дозволяє показати, як елементи системи взаємодіють між собою для досягнення стабільного та ефективного автоматичного регулювання (рис.4.1).

На рис. 4.1 відображені: ПК – пристрій керування; ЛС – ланцюг самоналаштування; О – об'єкт керування; ЕМ – еталонна модель.

Сигнал, що вказує на різницю між бажаним та фактичним станом системи ($\epsilon(t)$), подається одночасно на вхід еталонної моделі (ЕМ) і на вхід пристрою керування. Еталонна модель (ЕМ) - це математична або програмна модель системи, яка відображає бажаний стан системи та якість керування. Відомо, що

еталонна модель (ЕМ) здатна передбачати, як система повинна функціонувати в ідеальних умовах [7].

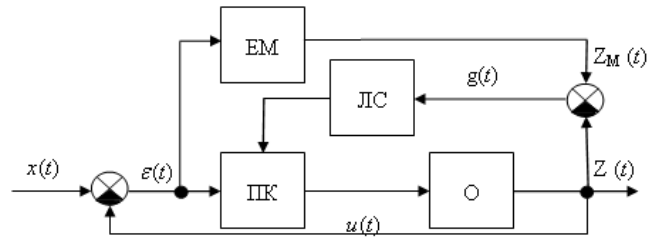


Рис. 4.1. Структурна схема безпошукової адаптивної системи автоматичного регулювання з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування

Сигнал $\varepsilon(t)$, який подається на вхід пристрою керування, вказує на нестачу чи перевищення поточного стану системи у порівнянні з бажаним станом. Процес керування полягає в тому, щоб зменшити цю різницю і наблизити фактичний стан системи до бажаного [9].

Пристрій керування генерує сигнали керування на основі аналізу сигналу $\varepsilon(t)$ та інших параметрів. Ці сигнали керування подаються до об'єкта керування, який може бути фізичним процесом або системою, яку потрібно регулювати.

Головна мета безпошукової адаптивної системи - це забезпечити, щоб фактичний стан системи відповідав бажаному [7].

Сигнал на виході об'єкта керування $Z(t)$ порівнюється з вихідним сигналом еталонної моделі $Z_M(t)$. Якщо вони не збігаються, то виробляється сигнал відхилення $g(t)$, який, впливаючи на ланцюг самоналаштування (ЛС), змінює параметри ПК доти, поки вихідні сигнали моделі $Z_M(t)$ та об'єкта керування $Z(t)$ збіжаться [9].

Найбільш важливим етапом розроблення безпошукової адаптивної системи автоматичного регулювання з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування є розроблення алгоритму сигналу неузгодженості ЛС, щоб сигнал відхилення $g(t)$ був обмеженим і згодом прямував до нуля, що є ознакою стійкості системи керування [6].

Найбільш універсальним для оцінки стійкості системи є прямий метод Ляпунова: якщо системи керування описується сукупністю рівнянь у відхиленнях у формі Коші $\dot{y}_i = \varphi_i(y_1, y_2, \dots, y_n, t)$, $i = \overline{1, n}$ і можна підібрати таку знаковизначену функцію Ляпунова $V(y_1, y_2, \dots, y_n)$, від якої повна похідна в часі $\frac{dV}{dt}$ в деякій області Q є знакопостійною функцією протилежного знака функції $V(y_i(t))$, то функції $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_n(t)$, будуть обмеженими, а система асимптотично стійкою [7].

Розглянемо застосування прямого методу Ляпунова для синтезу системи керування другого порядку.

Нехай у розімкнутому стані (без моделі) реальна система управління описується рівнянням

$$\ddot{z}(t) + c_1 \dot{z}(t) + c_2 z(t) = k_o(t) a(t) \varepsilon(t), \quad (4.1)$$

де c_1 та c_2 – незмінні параметри ОУ;

$k_o(t)$ – коефіцієнт підсилення ОУ, що змінюється з часом;

$a(t)$ – коефіцієнт підсилення пристрою керування, який є його варіативним параметром ПК.

Нехай рівняння моделі має аналогічний вигляд

$$\ddot{z}_M(t) + c_1 \dot{z}_M(t) + c_2 z_M(t) = k_M \varepsilon(t). \quad (4.2)$$

Необхідно знайти такий процес зміни коефіцієнтів $a(t)$, який призведе до усунення неузгодженості $g(t)$ між вихідними сигналами ОУ $z(t)$ та моделі $z_M(t)$ та забезпечить асимптотичну стійкість. Синтезуємо таку системи керування [9].

Якщо $g(t) = z_M(t) - z(t)$, то віднімемо з (4.1) (4.2). Отримаємо

$$\ddot{g}(t) + c_1 \dot{g}(t) + c_2 g(t) = [k_M - k_o(t) a(t)] \varepsilon(t) = b(t) \varepsilon(t), \quad (4.3)$$

де $b(t) = k_M - k_o(t)a(t)$.

Запишемо (4.3) у формі Коші, позначивши $g(t) = g_1(t)$; $\dot{g}_1(t) = g_2(t)$.

Тоді рівняння (4.3) можна переписати у вигляді:

$$\dot{g}_2(t) + c_1 g_2(t) + c_2 g_1(t) = b(t) \varepsilon(t) \quad \text{або}$$

$$\dot{g}_2(t) = -c_1 g_2(t) - c_2 g_1(t) + b(t) \varepsilon(t) \quad (4.4)$$

Уведемо функцію Ляпунова V у формі квадратичної додатно визначеної функції змінних $g_1(t)$, $g_2(t)$ і коефіцієнта $b(t)$:

$$V = c_2 g_1^2(t) + g_2^2(t) + b^2(t) \quad (4.5)$$

Знайдемо повну похідну за часом t від функції V :

$$\frac{dV}{dt} = c_2 2g_1(t) \frac{dg_1(t)}{dt} + 2g_2(t) \frac{dg_2(t)}{dt} + 2b(t) \frac{db(t)}{dt} \quad (4.6)$$

Структурна схема синтезованої адаптивної системи з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування наведена на (рис.4.2) [9].

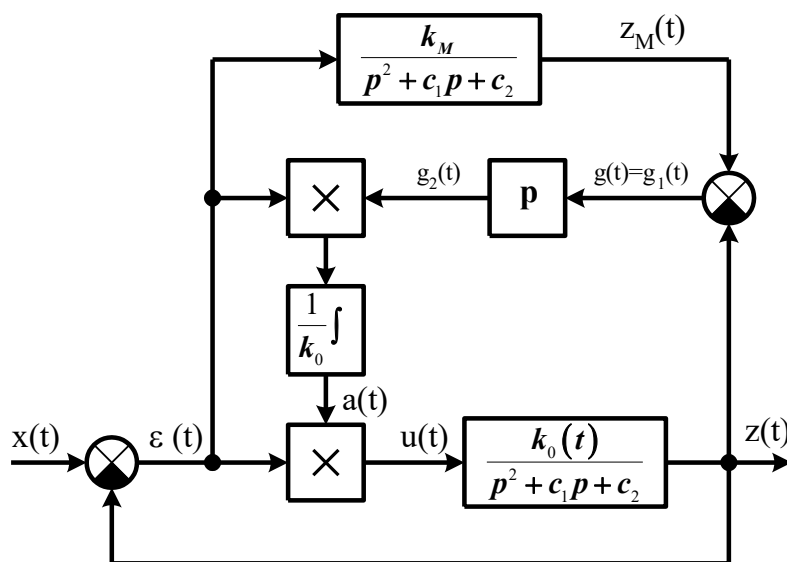


Рис.4.2. Структурна схема синтезованої адаптивної системи з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування

Здійснимо розроблення імітаційної моделі безпошукової адаптивної системи автоматичного регулювання з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування в програмному середовищі MATLAB Simulink [6].

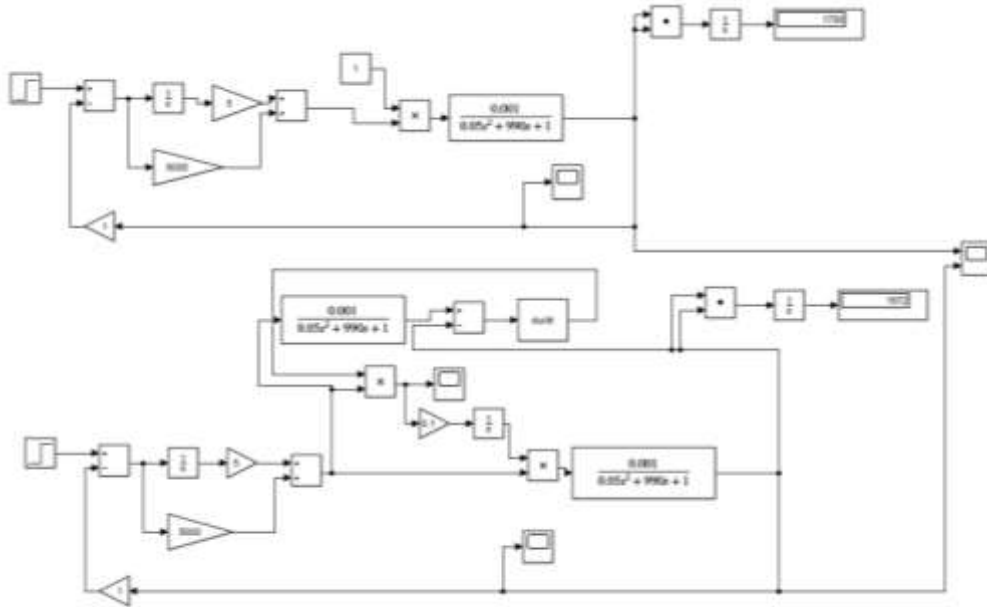


Рис.4.3. Імітаційна схема адаптивної системи з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування

У розімкнутому стані (без еталонної моделі) реальна система керування описується рівнянням

$$\ddot{z}(t) + c_1 \dot{z}(t) + c_2 z(t) = k_o(t) a(t) \varepsilon(t), \quad (4.7)$$

де c_1 та c_2 – незмінні параметри об'єкт керування;

$k_o(t)$ – коефіцієнт підсилення об'єкт керування, що змінюється з часом;

$a(t)$ – коефіцієнт підсилення управляючого пристрою, який може бути варіативним параметром ПК. Спочатку покладемо $a(t)=1$.

В процесі імітаційного моделювання можна переконатись в тому, що синтезована адаптивна система з еталонною моделлю зі стабілізацією якості

керування при зміні параметра κ_0 об'єкта керування від значення $\kappa_0 = 0.01$, потім $\kappa_0 = 0.1$ і $\kappa_0 = 2$ та постійних параметрах еталонної моделі (κ_M) і налаштувань ПІ-регулятора забезпечує показники якості перехідного процесу які можна визначити з наведених на рис.4.4 - рис.4.46 графіків перехідних процесів.

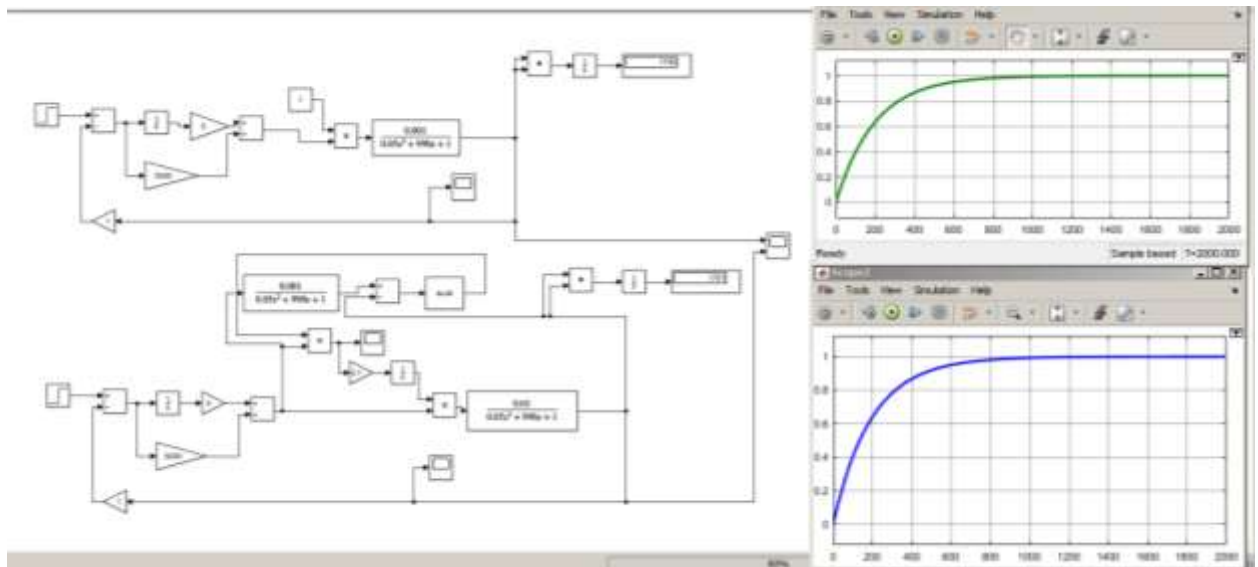


Рис. 4.4. Імітаційні моделі і графіки перехідних процесів системи автоматичного регулювання з ПІ-регулятором (верхня схема і графік) та адаптивної системи з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування (нижня схема і графік) при значенні $\kappa_0=0.01$

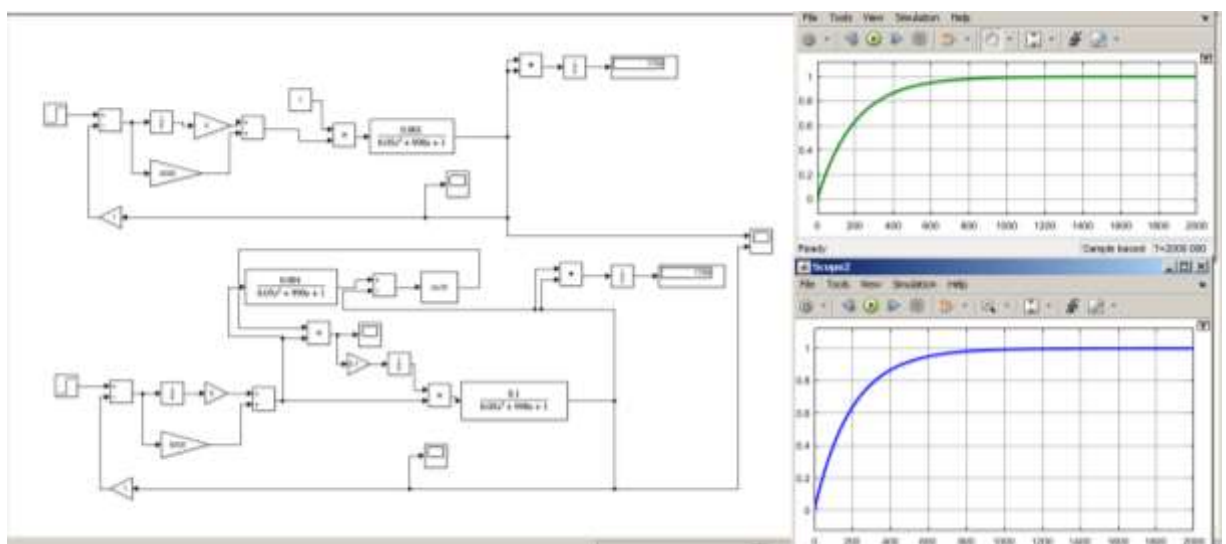


Рис.4.5. Імітаційні моделі і графіки перехідних процесів системи автоматичного регулювання з ПІ-регулятором (верхня схема і графік) та адаптивної системи з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування (нижня схема і графік) при значенні $\kappa_0=0.1$

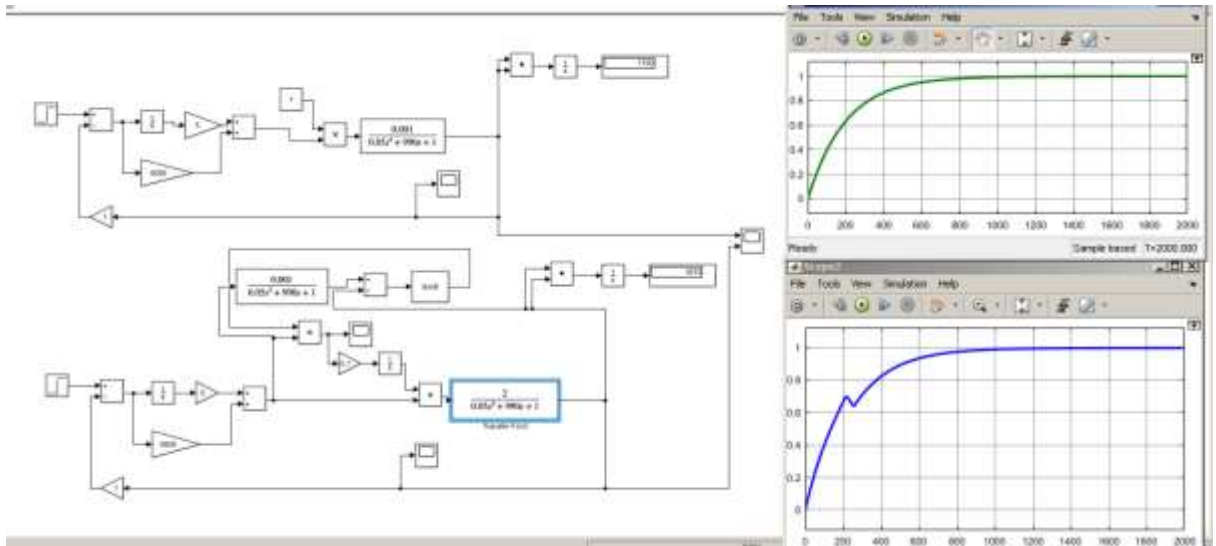


Рис. 4.6. Імітаційні моделі і графіки перехідних процесів системи автоматичного регулювання з ПІ-регулятором (верхня схема і графік) та адаптивної системи з еталонною моделлю зі стабілізацією якості керування (нижня схема і графік) при значенні $k_0=2$

Отже, застосування адаптивних систем дозволяє автоматично адаптуватися до змінних умов експлуатації, забезпечуючи стабільний та оптимальний рівень температури в камерах охолодження. Проведені дослідження підтверджують перспективність використання таких систем у виробничих процесах.

РОЗДІЛ 5

ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НЕАПВФАБРИКАТІВ НА БАЗІ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Запропонована САК режимом охолодження і зберігання м'ясних напівфабрикатів (рис. 1.6, розділ 1) реалізує енергоефективний принцип керування, сутність якого полягає в тому, що холодозабезпечення камери відбувається в залежності від змінних в часі потреб в холоді. Тобто при збільшенні теплопритоків (наприклад добових), відповідно повинна збільшуватись і кількість холоду, який виробляється. Стабілізація (автоматичне регулювання) температури повітря на вході в камеру здійснюється шляхом регулювання заповнення об'єму випарника за допомогою терморегулюючого клапану РВ (по сигналу датчика температури повітря ТЕ на виході повітроохолоджувача). Якщо розробити математичні моделі окремих елементів системи – повітроохолоджувача, зволожувача повітря та холодильної камери, можна побудувати узагальнену модель системи автоматичного керування режимами холодильного зберігання, яка дозволила визначити температуру та вологовміст повітря в динаміці (рис. 5.1).

Запропонована математична модель адекватна реальному процесу, і з відхиленням, що не перевищує 4 %, описує досліджуваний процес.

Числені дослідження показали, що система з П-регулятором дає достатньо велику середньоквадратичну похибку регулювання. В разі застосування ПД-регулятора введення похідної в П-закон керування неістотно покращує якісні показники, але значно ускладнює схему регулювання. Значна зміна параметрів атмосферного повітря в сезонні періоди "осінь-зима-весна" зумовлює суттєву нестационарність і нелінійність ряду характеристик технологічного обладнання холодильних установок, внаслідок чого задача вибору закону регулювання та параметрів регуляторів суттєво ускладнюється.

Конструктивні та теплофізичні параметри камер холодильного зберігання м'ясних напівфабрикатів постійно піддані збуренням (змінюється маса й об'єм продукції в період завантаження, площа теплообмінної поверхні та інші показники), що приводить до невизначеності. Цілком природно, що і найбільш ефективний ПІ–закон регулювання не може компенсувати збурення в умовах невизначеності.

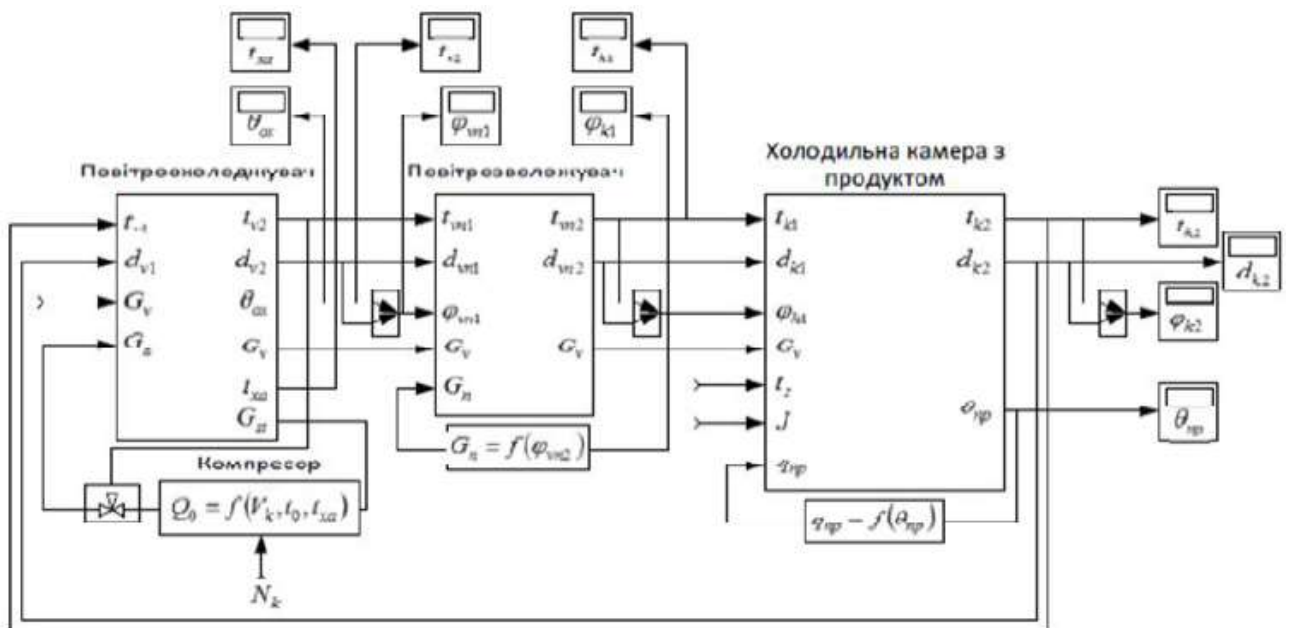


Рис. 5.1. Схема математичної моделі моделювання динамічних режимів холодильної установки у пакеті MATLAB/Simulink

Відомо, що застосування системи керування температурним режимом приміщення з *нечітким регулятором* в умовах нестационарних збурень дозволяє стабілізувати температурний режим, в той час, як система з ПІ–регулятором має автоколивальний перехідний процес [4]. Система вимірює температуру повітря в приміщенні і автоматично вибирає режим роботи та потрібну холодопродуктивність компресора, причому задана температура повітря постійно коригується, виходячи з поточних значень температури та вологості повітря в приміщенні.

Порівняно з ПІД–регулюванням коливання температури повітря значно зменшуються. Застосування *нечітких логічних регуляторів* при керуванні

системою створення мікроклімату забезпечує: відсутність різких перепадів температури в приміщенні, підтримання допустимої швидкості потоку повітря, встановлення необхідної холодопродуктивності, вибір режиму роботи за параметрами температури і вологості в камері зберігання, мінімальний час виходу на заданий режим, зменшення витрат енергії на 20–30% [25].

Проведений синтез нейроінформаційної експертної системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора (рис. 5.2). Алгоритм синтезу системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора у FIS-редакторі MATLAB був таким:

- вхідна температура повітря в камеру, вхідна вологість повітря, витрати повітря були заданими;

- отриманий набір даних увійшов в одну із вибірок (навчальну, тестову або контрольну) при створенні системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора (потужністю N_k).

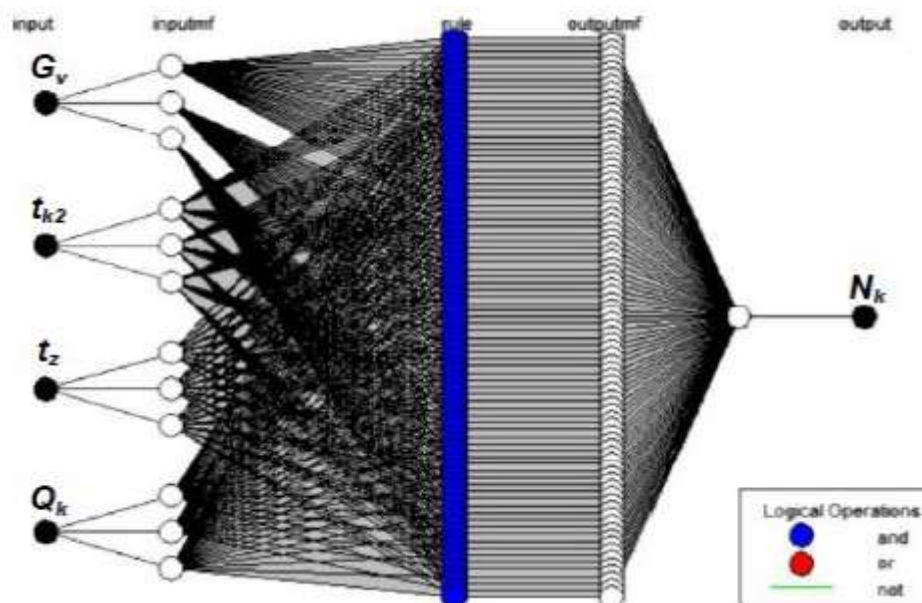


Рис. 5.2. Вікно середовища MATLAB/ANFIS структури нейронержевої моделі енергоефективного керування холодильним обладнанням при зберіганні м'ясних напівфабрикатів

При синтезі системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора вхідними величинами прийняті:

1. Витрати повітря G_v , кг/с;
2. Температура на виході камери t_{k2} , °С;
3. Зовнішня температура t_z , °С;
4. Теплове навантаження в камеру Q_k , Вт.

Вихідною величиною є потужність компресора N_k . Отримавши налаштовану нечітку нейронну мережу, були проаналізовані графічні залежності потужності на валу компресора (холодопродуктивності) від вхідних параметрів (рис. 5.3 – 5.5).

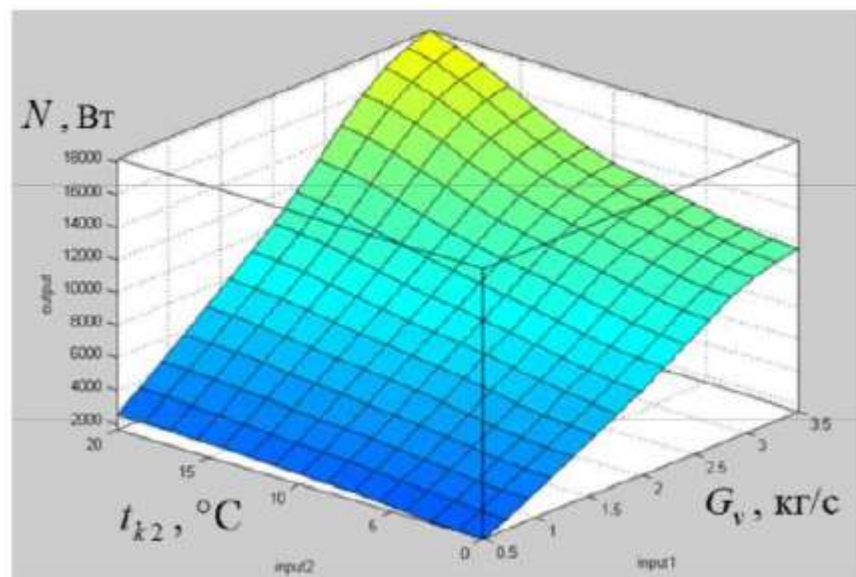


Рис. 5.3. Графік залежності потужності компресора від масових витрат повітря та температури на виході камери

Виявляється, що якісно та кількісно ці залежності відповідають попереднім статистичним дослідженням. Мінімальна потужність компресора досягається зменшенням теплонадходжень в камеру, як із зовні (t_z), так і з середини (Q_k) холодильної камери, а масові витрати повітря (G_v) впливають тільки на швидкість охолодження (при рівних теплонадходженнях).

Отже, можна зробити висновок, що визначення потужності компресора за допомогою нечітких нейронних мереж відповідає поставленій задачі.

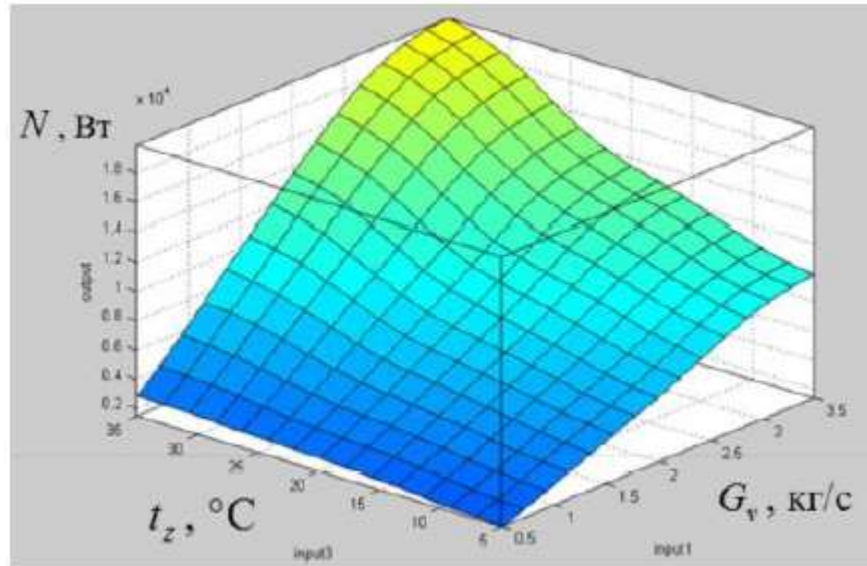


Рис. 5.4. Графік залежності потужності компресора від масових витрат повітря та температури навколишнього середовища

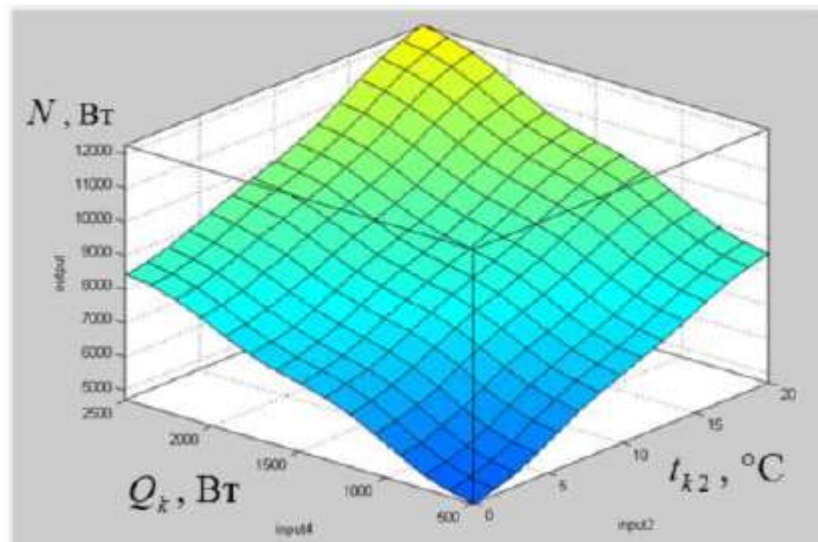


Рис. 5.5. Графік залежності потужності компресора від температури на виході камери та теплонадходжень

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Встановлення джерел ефективності є ключовою задачею при оцінці ефективності використання комп'ютерно-інтегрованої інформаційної системи. Для успішного вирішення цього завдання необхідно аналізувати можливі наслідки впровадження такої системи в компанію [14].

Зазвичай, автоматизація виробництва може призвести до таких результатів [3]:

1. Зменшення витрат на оплату праці шляхом зменшення кількості працівників, які потрібні для обслуговування системи.
2. Підвищення продуктивності праці та поліпшення якості виготовленої продукції.
3. Зменшення витрат на електроенергію завдяки більш ефективним виробничим процесам.
4. Покращення умов праці для працівників та зменшення чисельності персоналу, який виконує важку фізичну роботу або працює в небезпечних умовах.
5. Спрощення технологічних схем та зменшення виробничих витрат завдяки впровадженню автоматизації.

Автоматизація технологічних процесів має на меті сприяти збільшенню обсягів виробництва, підвищенню продуктивності праці (шляхом зменшення витрат на робочу силу), зниженню споживання енергії і виробничої собівартості, що в результаті призводить до зростання прибутку компанії. Для обґрунтування економічної ефективності впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою в камері охолодження напівфабрикатів ми проведемо розрахунок загальних витрат за допомогою відповідного виразу [19]:

$$V_{з.в} = C + E_{н.к} \cdot K, \quad (6.1)$$

де $V_{з.в}$ – зведені витрати, грн./рік; C – річні експлуатаційні витрати, грн./рік; K – капітальні витрати, грн.; $E_{н.к}$ – нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, рік⁻¹ ($E_{н.к}=0,15$) [17].

До складу експлуатаційних витрат входять [5]:

- витрати на оплату праці персоналу ($C_{з.п}$);
- відрахування на амортизацію (C_a);
- витрати на поточний ремонт ($C_{пр}$);
- оплата енергоресурсів ($C_{ен}$);
- інші прямі витрати (C_d).

Витрати на оплату праці персоналу визначаються відповідно до посадових окладів згідно тарифного розряду працівника. Прийmemo ці витрати в розмірі $C_o=65$ грн./год. [4].

На поточний ремонт для обладнання, що використовується протягом всього року ці витрати приймаємо 18 % від балансової вартості ($C_{пр}=0,18 K$).

Вартість енергоресурсів визначаємо, виходячи із кількості спожитої електроенергії та поточних тарифів для виробничих цілей (на 2023 рік 2,64 грн./кВт·год.) [2] :

$$C_{ен} = P \cdot \Gamma_{річн.} \cdot 2,70 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

Інші прямі витрати приймають рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Таким чином [17]:

$$C = C_{з.п} + C_a + C_{пр} + C_{ен} + C_d. \quad (6.3)$$

Також при розрахунку капітальних вкладень необхідно врахувати [14]:

- придбання необхідних технічних засобів автоматизації (K_3);
- торгівельно-транспортні витрати ($K_{тт.в}$);
- монтаж ТЗА (K_m);
- проведення електричної проводки ($K_{пр}$);
- інші витрати (K_i).

Визначення вартості технічних засобів автоматизації базується на цінах, встановлених виробниками відповідного обладнання. Крім того, для

розрахунку загальних витрат враховуються торгові та транспортні витрати, які у середньому становлять приблизно 11% від вартості технічних засобів автоматизації [2].

Розрахунок витрат на монтаж проводиться на основі вартості відповідних робіт та актуальних цін на ці роботи. На сьогоднішній день ці витрати складають приблизно 15-20% від загальної вартості необхідних монтажних робіт, які потрібно виконати [1].

Спосіб розрахунку вартості прокладки проводів і кабелів базується на розцінках для витратних матеріалів і робіт, пов'язаних із прокладанням. Зокрема, відомо, що вартість прокладки 1 метра кабелю або проводу відкритим способом становить від 25 до 30 гривень. Крім того, приблизно 2,5% від загальних капітальних вкладень виділяється на інші витрати [19].

$$K = K_3 + K_{\text{т.в}} + K_M + K_{\text{пр}} + K_i. \quad (6.4)$$

Згідно вибраних технічних засобів автоматизації та їх цін у каталогах виробників розраховуємо (табл. 5.1).

$$K_3 = 23500 + 8500 + 2300 + 450 + 970 + 450 + 150 + 120 + 2500 + 1250 + 63000 = 44240 \text{ грн.}$$

Тоді торгівельно-транспортні витрати будуть мають становити [1]:

$$K_{\text{т.в}} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 44240 = 4866 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

Монтажні роботи становлять для ТЗА:

$$K_M = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 44240 = 7520 \text{ грн.} \quad (6.6)$$

Електропроводка яка використовується для монтажу:

$$K_{\text{пр}} = 50 \cdot 25 = 1250 \text{ грн.} \quad (6.7)$$

Інші капітальні витрати:

$$K_i = 2000 \text{ грн.}$$

Сума капітальних вкладень становить:

$$K = 44240 + 4866 + 7520 + 1250 + 2000 = 59876 \text{ грн.}$$

Відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 59876 = 8502 \text{ грн.} \quad (6.8)$$

Поточний ремонт :

$$C_{\text{пр}} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 59876 = 10777 \text{ грн.} \quad (6.9)$$

Таблиця 5.1.

Елементи підключення

№	Найменування	К-сть	Ціна 1 шт. грн.	Ціна сумарна, грн.
1	Канальный вентилятор ВКПН 60-35-2D-3.55	1	23500	23500
2	ОВЕН-ПЧВ-101	1	8500	8500
3	Датчик ДТС035М- 100П.0,25.250.RS	1	2300	2300
4	Електромагнітний пускач КМИ 10910.	1	450	450
5	Автоматичний вимикач Schneider Electric iC60N 3P 10A C	1	970	970
6	Автоматичний вимикач Schneider Electric iC60N 1P 4A C	1	450	450
7	Сигналізаційна лампа	3	50	150
8	Кнопка	2	60	120
10	Реле напруги R4N-2014- 23-5230-WTL	1	250	250
11	Теплове реле ІЕК DRT10-D055-0008	1	1250	1250
12	Шафа MultiMount	1	6300	6300
				44240

Вартість енергоресурсів:

$$C_{\text{ен}} = P \cdot T \cdot 2,70. \quad (6.10)$$

Обладнання у камері охолодження працює 5760 годин на рік.

Таким чином:

$$C_{\text{ен}} = 11,1 \cdot 5760 \cdot 2,64 = 168791 \text{ грн.} \quad (6.11)$$

Оплата праці персоналу за рік:

$$C_{3.п} = 12 \cdot 15000 = 180000 \text{ грн.} \quad (6.12)$$

Річні експлуатаційні витрати становить:

$$C = 8502 + 10777 + 168791 + 180000 = 368070 \text{ грн.} \quad (6.13)$$

Розраховуємо зведені витрати розраховують за формулою:

$$B_{з.в} = C + E_{н.к} \cdot K, \quad (6.14)$$

$E_{н.к}$ - нормальний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень становить, рік⁻¹ ($E_{н.к}=0,15$).

$$B_{з.в} = 368070 + 0,15 \cdot 59876 = 377051 \text{ грн.} \quad (6.15)$$

Чистий прибуток:

$$r = \Delta C + \Delta C_e, \quad (6.16)$$

де ΔC - прибуток при економії заробітної плати, ΔC_e – прибуток при економії електроенергії.

Використання частотного перетворювача призводить до середнього зменшення споживаної електроенергії на приблизно 20%, що, в свою чергу, призводить до заощадження на електроенергії в розмірі вказаної суми [19]:

$$r = 180000 + 34725 = 214725 \text{ грн.}$$

Для визначення ефективності впровадження системи автоматизації контролю (САК), необхідно провести розрахунки, щоб визначити період часу, протягом якого витрати на впровадження САК будуть окуповані завдяки запропонованому підходу [22].

Термін окупності запропонованого методу розраховується за допомогою певної математичної формули :

$$T_{ок} = \frac{K}{r} = \frac{59876}{214725} \approx 3 \text{ місяця.}$$

Отже, ми вважаємо, що впровадження створеної системи автоматизації є обґрунтованим і слід реалізувати цей проект.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було досліджено та вдосконалено комп'ютерно-інтегровану систему керування температурою у камері охолодження та зберігання напівфабрикатів, проведений докладний огляд і аналіз особливостей технологічного процесу зберігання охолоджених напівфабрикатів. Було створено математичну модель камери для охолодження, яка була розглянута як об'єкт керування, і були визначені її характеристики та передатна функція.

Була розроблена система автоматичного керування температурою обґрунтований та вибраний алгоритм керування для цього процесу, а також були розроблені технічні засоби автоматизації, які реалізують цей алгоритм. Розраховано параметри налаштування регулятора, обрано у ролі керуючого елемента комп'ютерно-інтегрованої системи регулятор ОВЕН ПЧВ 101. Розроблено систему автоматичного регулювання температурою, котра забезпечує задане значення в приміщенні камери за час регулювання $t_p = 970$ с, перерегулювання $\sigma = 0\%$, коливальність системи $n = 0$. Ці показники задовольняють технологічні вимоги регулювання температури повітря в камері.

Було вдосконалено комп'ютерно інтегровану систему керування температурою у камері охолодження за допомогою адаптивної системи та SCADA-системи. Економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження такої системи на практиці, оскільки вся інвестиція повертається протягом 3 місяців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кліменко М. М., Пасічний В. М., Масліков М. М. Технологічне проектування м'ясо-жирових виробництв / За ред. Професора Кліменко М. М. / Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2005-384 с.
2. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З.Гжинського, 2016, т 18, №2 (68)
3. В.В. Рвачов, М.В. Гуртовий. Технологічне обладнання харчових виробництв.
4. Грищенко В.О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / В.О. Грищенко. – Кіровоград, 2016. – 20 с.
5. Лисенко В. П., Кузьменко Б. В., Головінський Б. Л. Оптимальні системи автоматичного управління: Навчальне видання, – К.: Видавничий центр НАУ, 2003. – 96 с., ил.
6. Підручник /М.М. Клименко, Л.Г. Віннікова, І.Г. Береза та ін.; За ред. М.М. Клименка. - К.: Вища освіта, 2006. – 640 с.:
7. Методичні вказівки до вивчення дисципліни “Статистичні методи, теорія потоків подій” / Коваль В.В., Мірошніченко О.Ю., Осередько Є.О. – К.: Видавничий центр «АЗБУКА», 2012. – 118с.
8. Сайт обладнання для приготування напівфабрикатів. [Електроний ресурс]. Режим доступу:
<https://kareho.com.ua/g3996964-myasopererobne-obladnannya>
9. Методичні вказівки до виконання лабораторних та практичних робіт з дисципліни “Статистичні методи, теорія потоків подій” / Коваль В.В., Шукайло Є.М. – К.: НУБіП, 2010. – 128с.
10. Автоматизація технологічних процесів та виробництв. Використання обладнання OWEN : навчальний посібник / М. О. Кіктєв, А. О. Дудник, В. П. Лисенко. – К.: 2019. - 77 с.

11. Лисенко В. П., Заєць Н. А., Мірошник В.О. Сучасні методи і засоби математичного моделювання складних систем автоматизації біотехнічних об'єктів. Курс лекцій. К.: НУБІП, 2021. 103 с.

12. Головінський Б.Л., Шуруб Ю.В., Лисенко В.П. Теорія автоматичного управління: навч. посіб. – К.: Вид.Центр НУБіП України, 2012.

13. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 2007.

14. Сайт ОВЕН [Електроний ресурс]. Режим доступу:
<https://owen.ua>

15. Лут М.Т., Брагіда М.В., Батечко Н.Г. Основи технічної експлуатації електрообладнання і систем автоматизації / Навч. посібник для студентів ВНЗ. – К.: ЦП "Компринт", 2015.

16. В.Лисенко, Є.Чернишенко, В.Решетюк, В.Мірошник, Н.Заєць, І.Цигульов. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. К.:АграрМедіаГруп, 2016. 476 с.

17. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК/ Підручник для студентів ВНЗ. – Харків: Факт, 2008.

18. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів/ В.Лисенко, Є.Чернишенко, В.Решетюк, В.Мірошник, Н.Заєць, І.Цигульов – К.: АграрМедіаГруп, 2016. – 476 с

19. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК. Підручник. – К., 2008.

20. Лисенко В.П., Шворов С.А. Моделювання та оптимізація систем керування. К.: Наук. світ, 2012. – 134 с.

21. Лисенко В. П., Заєць Н. А., Мірошник В.О. Сучасні методи і засоби математичного моделювання складних систем автоматизації біотехнічних об'єктів. Курс лекцій. К.: НУБІП, 2021. 103 с.

22. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматичної теорії і практика (ч. 2) / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К., Освіта України, 2015. – 454 с.

23. Шуруб Ю.В., Дудник А.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з Теорії автоматичного керування: - К.: Видавничий центр НУБіП України, 2015. – 92 с.

24. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI: Посібник. – Київ, Ліра – К.: 2020. – 594 с.

25. Котов Б.І. Енергозберігаючий алгоритм управління технологічним мікрокліматом / Б.І.Котов, В.О. Грищенко // Науковий вісник Нац. університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – Вип.166. – Ч.4. – С. 147-156.

26. Vsevolod M. and et. Control system: Theory and applications. /V.M. Kuntsevich, V.F.Guberev, Y.P.Kondratenko, D.V.Lebedev, V.P.Lysenko / River Publishers, Denmark, 2018. – 329.

27. Innovate energy-saving technologies in biotechnological objects control / A.Chochowski, I.Chernyshenko, V.Kozyrskyi, V.Kyshenko, A.Ladaniuk, V.Lysenko, V.Reshetiuk, I.Shcherbatiuk – К.: Tsentr Uchbovoii Literatury, 2014. - 240 p.

ДОДАТОК А

Фрагмент розрахунків у середовищі Mathcad для імітаційної моделі об'єкта керування

1. Площа Камери, м²

$$F := L \cdot B = 22.334$$

2. Об'єм камери, м³

$$V_k := F \cdot H = 46.90224$$

3. Поверхня стін і стелі камери, м²

$$F_c := F + [(B \cdot H + L \cdot H) \cdot 2] = 66.392$$

4. Маса стін, кг

Метал зовнішній

Товщина 0.015

Густина $\rho_{мз} := 7800$

$$V1_{мз} := (L \cdot 2) \cdot H \cdot 0.015 = 0.474$$

$$V2_{мз} := (B \cdot 2) \cdot H \cdot 0.015 = 0.187$$

$$V_{мз} := V1_{мз} + V2_{мз} = 0.661$$

Пінополіуретан

Товщина 0.0045

Густина $\rho_{п} := 45$

$$V1_{п} := (L \cdot 2) \cdot H \cdot 0.0045 = 0.142$$

$$V2_{п} := (B \cdot 2) \cdot H \cdot 0.0045 = 0.056$$

$$V_{п} := V1_{п} + V2_{п} = 0.198$$

Метал внутрішній

Товщина 0.002

Густина $\rho_{мв} := 7800$

$$V1_{мв} := (L \cdot 2) \cdot H \cdot 0.002 = 0.063$$

$$V2_{мв} := (B \cdot 2) \cdot H \cdot 0.002 = 0.025$$

$$V_{мв} := V1_{мв} + V2_{мв} = 0.088$$

$$M_c := V_{мз} \cdot \rho_{мз} + V_{п} \cdot \rho_{п} + V_{мв} \cdot \rho_{мв} = 5851.013$$

5. Теплостійкість матеріалів в огорожувальних конструкціях, дж/кг*град

Теплостійкість матеріалів

Метал зовнішній

$$C_{мз} := 452$$

Пінополіуретан

$$C_{п} := 1470$$

Метал внутрішній

$$C_{мв} := 452$$

$$C_c := \frac{V_{мз} \cdot \rho_{мз} \cdot C_{мз} + V_{п} \cdot \rho_{п} \cdot C_{п} + V_{мв} \cdot \rho_{мв} \cdot C_{мв}}{M_c} = 453.552$$

6. Повна місткість холодильної камери

Максимальна висота вантажного штабелю, м $h_{шт} := 1.9$
 Щільність укладання вантажів у камері, кг/м³ $\rho_{укл} := 0.23$
 Коефіцієнт розташування вантажів на підлозі з врахуванням проходів і т.п. $\eta_0 := 0.75$

$$M := F \cdot h_{шт} \cdot \rho_{укл} \cdot \eta_0 = 7.32$$

Маса напівфабрикатів, кг

Об'єм площі напівфабрикатів $V_f := 16.13$

Норма завантаження $mf := 0.15$

$$M_f := V_f \cdot mf \cdot 1000 = 2419.5$$

Довжина $a := 0.12$

Ширина $b := 0.05$

Висота $h := 0.02$

Об'єм одного напівфабрикату

$$V_{1f} := h \cdot a \cdot b \cdot \pi = 0.000377$$

$$G_{1f} := V_{1f} \cdot 1000 = 0.377$$

Середня кількість завантажених напівфабрикатів

$$N := \frac{M_f}{G_{1f}} = 6417.9$$

Об'єм всіх напівфабрикатів

$$V_f := N \cdot V_{1f} = 2.419$$

Поверхня одного напівфабриката

$$F_{1f} := \pi \cdot a \cdot b = 0.019$$

Поверхня напівфабрикатів

$$F_f := N \cdot F_{1f} = 120.975$$

Об'єм повітря в камері

$$V_p := V_k - V_f = 44$$

ДОДАТОК Б

Групи параметрів головного меню ПЧВ

Група параметрів	Призначення	Короткий опис
0	Управління та відображення	Параметри, що стосуються основних функцій електроприводу, функцій кнопок ЛПО та конфігурації
1	Навантаження/електродвигун	Параметри, що стосуються характеристик навантаження/електродвигуна та параметрами управління функціонуванням електроприводу
2	Гальмування електродвигуна	Параметри конфігурації функцій гальмування та утримання постійним/змінним струмом
3	Джерела сигналів, одиниці вимірювання та межі	Параметри для налаштування джере сигналів, одиниць вимірювання завдання, меж та діапазонів
4	Завдання/зміна швидкості та попередження	Параметри, що визначають швидкісні характеристики електродвигуна, включаючи межі та попередження
5	Дискретне введення/виведення	Параметри конфігурації дискретних входів та виходів
6	Аналогове введення/виведення	Параметри конфігурації аналогових входів та виходів
7	Управління ПІ-регуляторним процесом	Параметри, що визначають управління ПІ-регуляторним процесом
8	Конфігурування зв'язку	Параметри, що визначають варіант та характеристики управління ПЧВ
13	Програмований логічний контролер	Параметри для конфігурування вбудованого ПЛК ПЧВ,
14	Спеціальні функції ПЧВ	Параметри конфігурації спеціальних функцій ПЧВ
15	Інформація про роботу ПЧВ	Параметри, що містять інформацію про ПЧВ, зокрема, робочі характеристики, конфігурацію апаратних засобів та версію ПО
16	Зчитування робочих характеристик	Параметри, що визначають контроль функціонування електроприводу,

ДОДАТОК В

Вибір електротехнічних пристроїв

Вибір автоматичних вимикачів

Вибираємо автоматичний вимикач за наступними характеристиками (QF1):

- $U_{н.м.} = 380В.$
- $I_{н.} = I_{н.дв.} = 6,1А.$
- $I_{н.р.} = 6,1 \cdot 1,25 = 7,6 А.$



Автоматичний вимикач Schneider Electric iC60N 3P 10A C



Автоматичний вимикач Schneider Electric iC60N 1P 4A C

Характеристики вимикача Schneider Electric iC60N 1P 4A C:

- номінальний струм: 4А;
- iC60N – серія;
- 1P – кількість полюсів автоматичного вимикача;
- C – Часо-струмова характеристика;
- IP20 - категорія захисту [16].

Вибір магнітних пускачів

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ1:

$U_{н.с.м.}=380В$; $I_{н.дв.}=6,1А$; $U_{н.м.у.}=220В$.

КМИ-10910 із наступними технічними характеристиками: $U_{н.м.п.}=380В$;
 $I_{н.м.п.}=9А$; $U_{н.к.}=220В$.

$380 В = 380 В$; $9 А > 6,1 А$; $220 = 220 В$.



Електромагнітний пускач КМИ-10910

Характеристики електромагнітного пускача КМИ-10910:

- IP20 – ступінь захисту;
- 0 – кількість контактів допоміжного кола: 1 замикаючий .

Вибір теплового реле перевантаження

Виходячи з характеристик електродвигуна $I_{н.дв.}=6,1А$ обираємо теплове реле IEK DRT10-D055-0008 у діапазоні струму (5,5 - 8 А) .



Теплове реле IEK DRT10-D055-0008

Вибір реле напруги



Реле напруги R4N-2014-23-5230-WTL

Характеристики вимикача R4N-2014-23-5230-WTL:

- струм контактів макс:- 6 А;
- R4N – серія;
- ударний струм – 12 А;
- IP40 - категорія захисту.

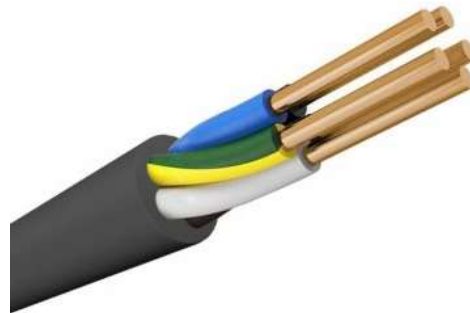
Вибір проводів керуючої мережі

Обираємо чотирьохжильний кабель для живлення двигуна з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5 \text{ мм}^2$ марки ВВГнгд, $I_H = 16 \text{ А}$.



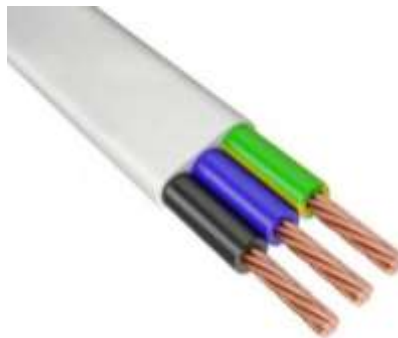
Кабель ВВГнг 4х1,5

Обираємо чотирьохжильний кабель для живлення щита керування з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 1,5 мм² марки ВВГ .



Кабель ВВГнгд 5х1.5

Номінальний струм живлення датника складає 0,005 А обираємо обираємо двухжильний кабель кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 0,5 мм² марки ШВВП .



Кабель ШВВП 3х0,5

Монтаж в щиті будемо здійснювати за допомогою одного жильногогнучкого проводу. Найбільш підходящим проводом являється ПВЗ-1. Площа поперечного перерізу $S=0.5\text{мм}^2$.



Кабель ПВ3-1

Кнопки SB1, SB2:

Враховуючи напругу схеми керування, обираємо кнопки LAY5-BA31 та LAY5-BA41.



Кнопки LAY5-BA31(Старт) та LAY5-BA41(Стоп)

Сигналізаційні лампа HL1, HL2, HL3:

Сигнальна лампа LED (рис.4.11.).

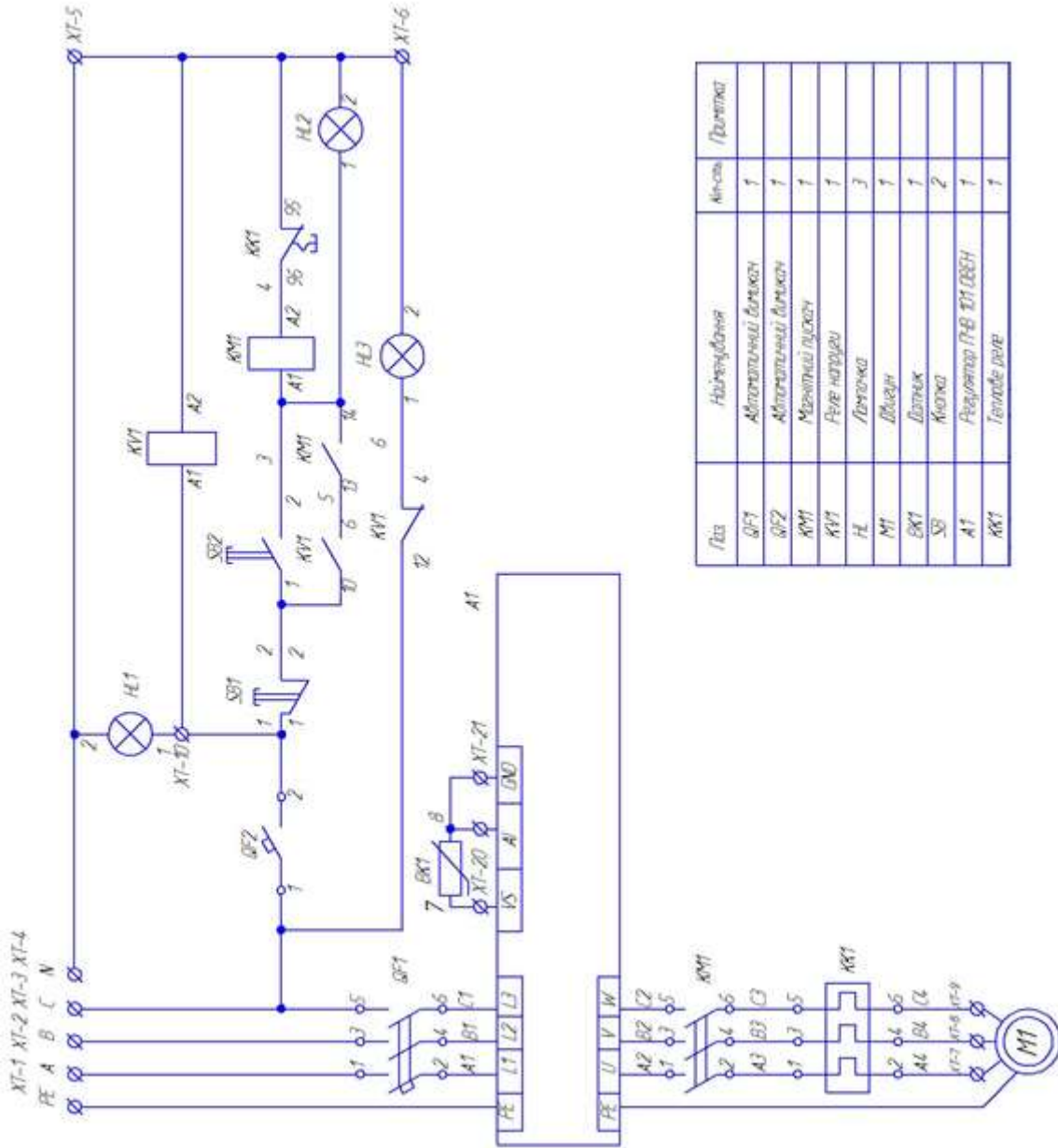
Технічні характеристики: $U_{н,лам} = 220В 50 Гц.$



Сигнальна лампа LED

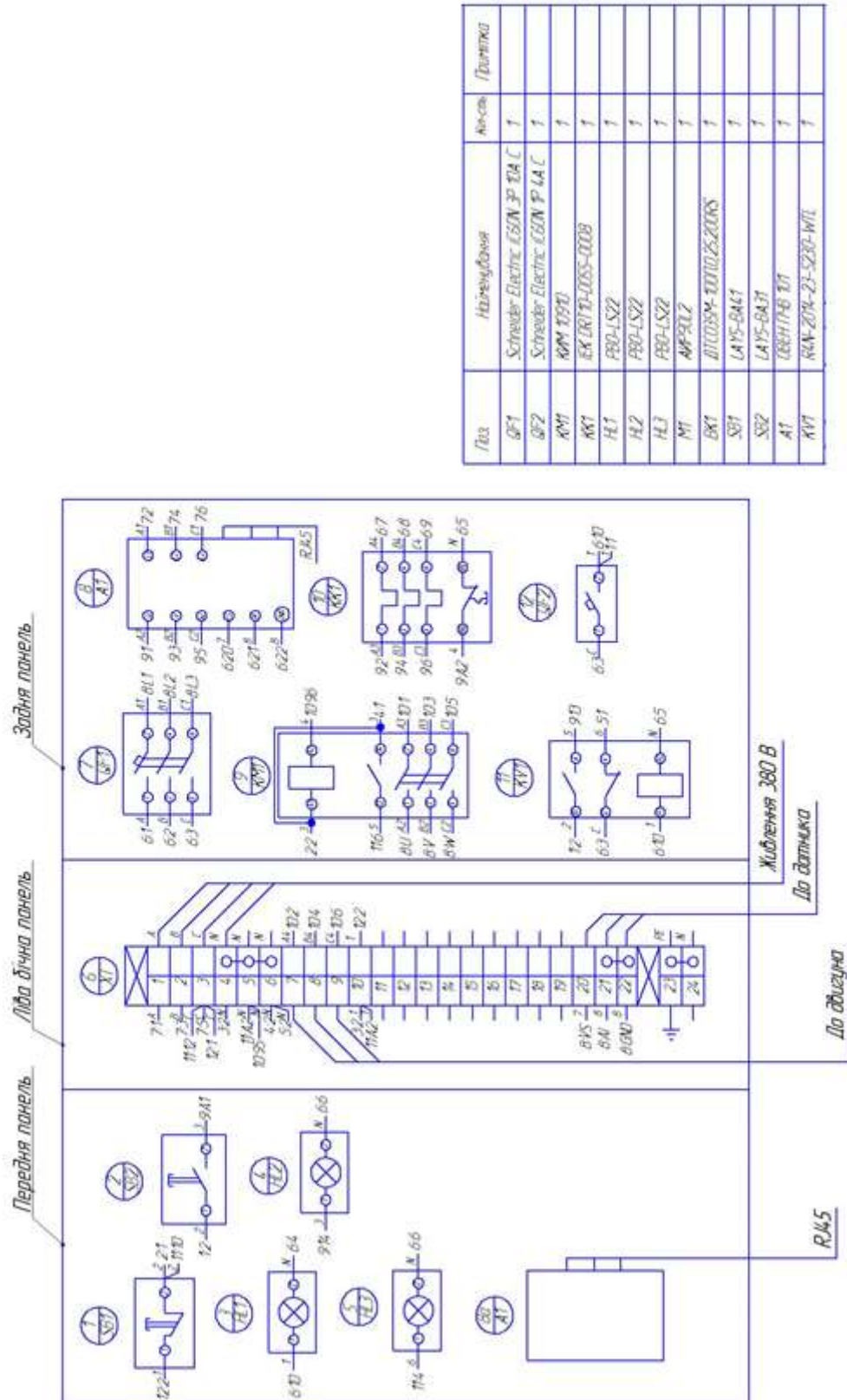
ДОДАТОК Г

Система керування температурним режимом в камері охолодження і зберігання напівфабрикатів. Фрагмент схеми електричної принципової



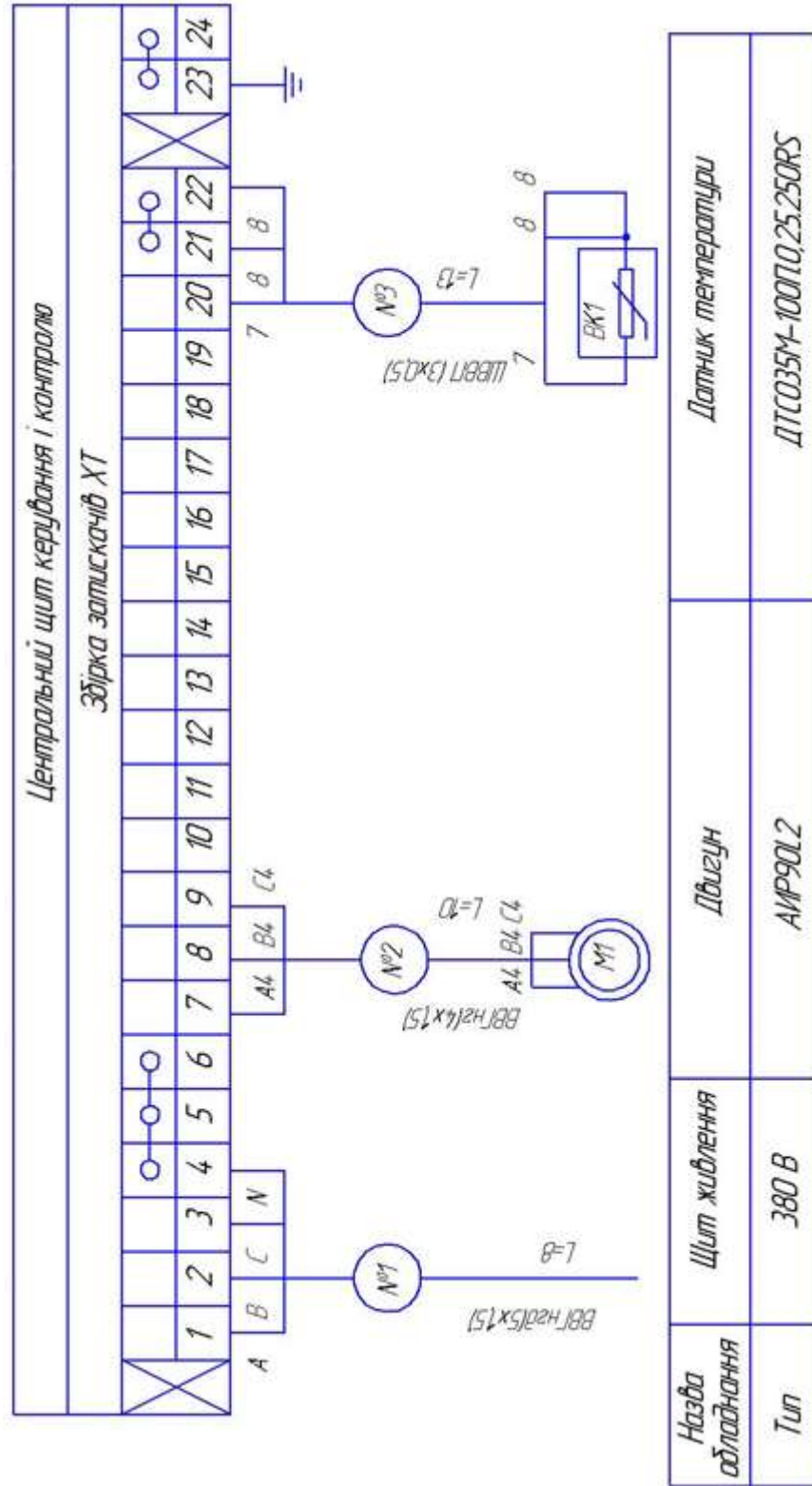
ДОДАТОК Д

Розробка схеми з'єднань



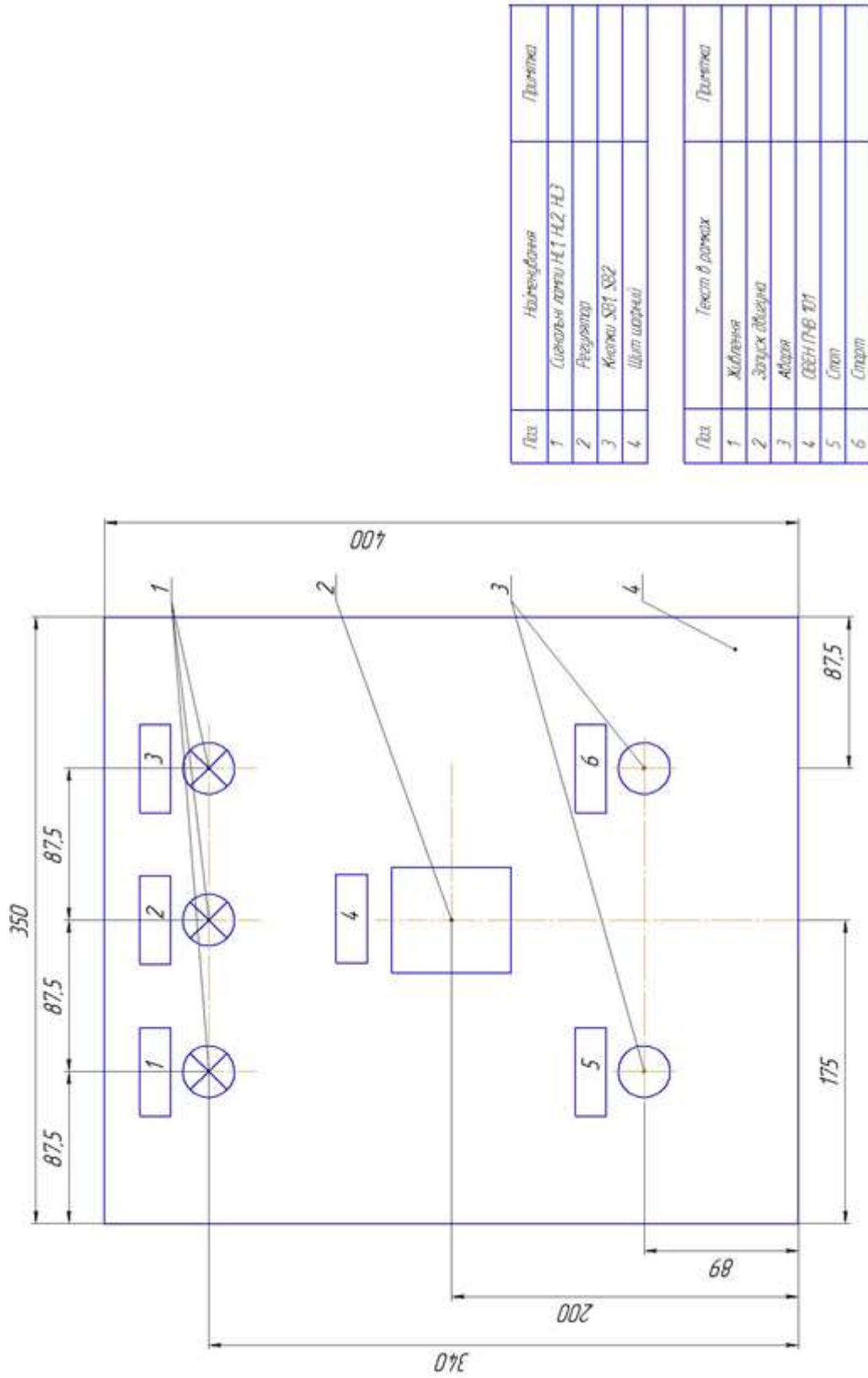
ДОДАТОК Е

Розробка схеми підключень



ДОДАТОК Є

Розробка загального виду щита керування



Поз.	Найменування	Примітка
1	Світловий диод HLH2 H3	
2	Реле	
3	Кнопка SP1 S82	
4	Щит шпindel	
Поз.	Текст в рамках	Примітка
1	Живлення	
2	Запис джерела	
3	Адреса	
4	СВЕН П-В 01	
5	Світл	
6	Сторін	

ДОДАТОК Ж

Розрахунок надійності

Надійність системи автоматизаціх є властивість системи виконувати певні функції протягом певного періоду. Розрахунок надійності є одним із важливих етапів розробки системи, бо без її обрахунку не можна бути впевненим в працездатності схеми [19].

Головний фактор надійності є відмова пристрою . Відмова – це порушення нормальної роботи об’єкта. Відмови поділяють на три види:

- раптова;
- технологічна;
- зношувальна.

Надійність всієї системи регламентується ГОСТ 27.002-83 «Надежность в технике, термины и определения».

За ГОСТ 27.002-83 до надійності відноситься:

- довговічність- об’єкта зберігати працездатність до настання граничного стану;

- безвідмовність – можливість об’єкта зберігати свою працездатність впродовж якогось проміжку часу;

- несправний стан – це коли пристрій не задовольняє хоча б одну вимогу;

- граничний стан - стан, коли подальша експлуатація припиняється через неможливість ліквідування порушень вимог техніки безпеки;

- пошкодження – порушення справності виробу на який діяли зовнішні фактори [19].

Реальна інтенсивність відмови системи становить:

$$\checkmark \sum \lambda = 1/\text{год.}$$

В (табл.Ж.2). наведена інтенсивність відмов.

Інтенсивність відмов елементів системи

Назва елемента	Кількість елементів, шт	Інтенсивність відмови $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год	Результуюча інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
Автоматичний вимикач	2	0,161	0,322
Магнітний пускач	1	0,25	0,25
Кнопковий вимикач	2	0,063	0,126
Реле напруги	1	0,250	0,250
Лампи германієвні	3	0,3	0,9
Теплове реле	1	0,400	0,400
Електродвигун	1	5,24	5,24
Рідкокристалічний дисплей	1	0,15	0,15
Механічні контакти	9	0,25	2,25
			9,888

Загальна інтенсивність відмов є інтенсивність відмов елементів помножена на їх кількість. Загальна інтенсивність відмов системи — це сума інтенсивність відмов кожного елемента.

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів:

$$\lambda = 9,888 \cdot 10^{-6}, 1 / \text{год.}$$

Середній час безвідмовної роботи САК

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{9,888 \cdot 10^{-6}} = 101\,132 \text{ год.}$$

Приймаємо, що термін нормальної експлуатації становить $t = 10\,000$ год. Тоді знайдемо результуючу імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ за $10\,000$ год.

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-k \sum \lambda \cdot 10^4}.$$

$$P_{\text{рез}}(10\,000) = e^{-1 \cdot 9,888 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,906,$$

де k - коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього середовища (приймаємо 1);

t - час експлуатації.

Враховуючи попередні розрахунки, можна зробити висновок, що протягом 10 000 годин ймовірність відмови складає 0,906.

Видно, що $P_3(t) = 0,95 < P_{рез}(t) = 0,906$. Для всіх умов, коли результуюча надійність об'єкта буде менша від заданої, схема підлягає резервуванню. Щоб підвищити надійності використовують метод навантаженого резервування - паралельного з'єднання однотипних елементів [19].

$$P_3(t) = P_1(t) * P_2(t),$$

де $P_1(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи схеми, що резервується,

$P_2(t)$ – ймовірність роботи схеми, що резервуванню не підлягає.

$$P_2(t) = e^{-1 \cdot (2 \cdot 0,161 + 2 \cdot 0,063 + 1 \cdot 0,250 + 3 \cdot 0,3 + 8 \cdot 0,25) \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0,969.$$

$$P_1(t) = \frac{P_3(t)}{P_2(t)} = \frac{0,95}{0,969} = 0,98,$$

Навантажене резервування обраховуємо за формулою:

$$0,98 = 1 - (1 - e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^{-4}})^m.$$

$$m = \frac{\log(1 - 0,98)}{\log(1 - e^{-1 \cdot \lambda_1 \cdot 10^{-4}})} \approx 2,$$

де $\lambda_1 = (1 \cdot 5,24 + 1 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,161) = 6,7 * 10^{-6}, 1$ /год - сумарна інтенсивність відмов елементів тієї частини схеми, що підлягає резервуванню.

Отже, досить декількох елементів, з'єднаних паралельно, щоб забезпечити задану надійність для всієї схеми.