

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Теплоенергетичний факультет
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____/ **Володимир ВОЛОЩУК**
“ ” _____ 2021 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою
**“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології
кібер-енергетичних систем”**
зі спеціальності
**151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології”**

на тему: Адаптивна система управління процесом шоквої заморозки харчових продуктів

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТА-01мп
Погребецький Михайло Сергійович
(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Голінко І. М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент директор, Диченко О. І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Факультет

Теплоенергетичний

Кафедра

Автоматизації теплоенергетичних процесів

Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

Спеціальність

151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-
професійна
програма

(“Автоматизація та комп’ютерно -інтегровані технології
кібер-енергетичних систем”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) /Володимир ВОЛОЩУК/
(імя, ПРІЗВИЩЕ)
“ “ _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

(прізвище, ім’я, по-батькові)

1. Тема дисертації Адаптивна система управління процесом шокової
заморозки харчових продуктів

науковий керівник дисертації доцент, к.т.н. Голінко І. М.

(прізвище, ім’я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «02» 11 2021 р. № 3629-с

2. Термін подання студентом дисертації «17» грудня 2021 р.

3. Об’єкт дослідження: камера шокової заморозки продуктів, та її
взаємодія з продуктом заморозки

4. Вихідні дані: загальна площа 30 м²; має 3 секції заморозки по 10 м²; середнє
значення початкової температури продукту - +20 °С.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

Огляд технології процесу шокової заморозки продуктів харчування, як об’єкта
автоматизації. Аналітичне моделювання процесу заморожування продуктів.

Синтез системи керування для заморожування продуктів. Проектні рішення з автоматизації. Розробка стартап-проекту.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Схема автоматизації функціональна. Специфікація обладнання. Схема принципова електрична. Креслення загального виду щита. Схема монтажна щита. Схема зовнішніх проводок. Відомість дипломного проекту. Презентація на захист дипломного проекту.

7. Орієнтований перелік публікацій

ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КАМЕРИ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ФРУКТІВ

8. Дата видачі завдання " 21 " вересня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/П	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання	21.09.2021	
2	Аркуш 1. Схема автоматизації функціональна. Замовна специфікація	30.09.2021	
3	Аркуш 2. Схема принципова електрична	07.10.2021	
4	Аркуш 3. Креслення загального виду щита автоматизації	14.10.2021	
5	Аркуш 4. Схема монтажна щита	21.10.2021	
6	Аркуш 5. Схема зовнішніх проводок	28.10.2021	
7	Розділ 1. Огляд камери шоккової заморозки, як об'єкту керування	04.11.2021	
8	Розділ 2. Математичне моделювання динамічного режиму камери шоккової заморозки	11.11.2021	
	Розділ 3. Розрахунок системи регулювання температури об'єкту	18.11.2021	
9	Стартап-проект	25.11.2021	
11	Підпис керівника магістерської дисертації	09.12.2021	
12	Попередній захист магістерської дисертації	10.12.2021	
13	Захист	20.12.2021	

Студент

Михайло ПОГРЕБЕЦЬКИЙ

(підпис)

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

Ігор ГОЛІНКО

(підпис)

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Магістерську дисертацію виконано на тему «Адаптивна система управління процесом шокової заморозки харчових продуктів», на здобуття ступеня магістра. Пояснювальна записка складається із 98 с., 38 рис., 26 табл.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської дисертації є розробка автоматизованої та адаптивної системи керування камерою шокової заморозки продуктів, яка має три послідовні етапи заморозки, згідно вимог до технології процесу заморозки.

Об'єктом дослідження виступає камера шокової заморозки продукту, та її взаємодія з продуктом заморозки.

Предмет дослідження. Методи керування технологічними процесами камери шокової заморозки. Методи адаптування камери до різних типів продуктів. Підходи до керування різними етапами заморозки продуктів, і керування системою теплої підлоги окремо, у залежності від потреб у кожній секції охолодження. Дослідження та розрахунок математичної моделі камери шокової заморозки, а саме, як охолоджувач впливає на об'єкт заморозки.

Новизна та практичне застосування отриманих результатів. У ході виконання магістерської дисертації було розроблено математичну модель камери шокової заморозки та її взаємодії з продуктом заморозки, у якій передбачено вплив датчиків і виконавчих механізмів на поведінку системи. Розроблено автоматичну систему керування технологічними процесами камери шокової заморозки, яка є ефективною при різних вхідних значеннях об'єкту заморозки.

ABSTRACT

The master's dissertation was completed on the topic "Adaptive control system of the process of shock freezing of food products", for a master's degree. The explanatory note consists of 98 pages, 38 figures, 26 tables.

The purpose and objectives of the study. The aim of the master's dissertation is to develop an automated and adaptive control system for shock freezing of products, which has three consecutive stages of freezing, according to the requirements of the technology of the freezing process.

The object of the study is the shock freezing chamber of the product, and its interaction with the freezing product.

Subject of study. Methods of control of technological processes of the shock freezing chamber. Methods of adapting the camera to different types of products. Approaches to managing the different stages of product freezing, and managing the underfloor heating system separately, depending on the needs of each cooling section. Research and calculation of the mathematical model of the shock freezing chamber, namely how the cooler affects the freezing object.

Novelty and practical application of the obtained results. In the course of the master's dissertation a mathematical model of the shock freezing chamber and its interaction with the freezing product was developed, which provides for the influence of sensors and actuators on the behavior of the system. An automatic process control system for the shock freezing chamber has been developed, which is effective at different input values of the freezing object.

Зміст

1. 1. ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	8
1.1. Актуальність використання технології шокової заморозки продуктів харчування	8
1.2. Огляд технології шокової заморозки	10
1.3. Аналіз існуючих підходів до керування процесом шокової заморозки продуктів	19
1.4. Огляд математичних моделей для систем заморожування харчових продуктів	21
1.5. Сучасні підходи до розробки систем адаптивного керування	24
1.6. Технічні характеристики камери шокової заморозки BF6/2-660.....	28
1.7. Постановка задачі автоматизації	29
2. ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДО ПРОЦЕСУ ШВИДКІСНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ	31
2.1. Огляд структури математичної моделі камери шокової заморозки.	31
2.2. Аналітичний підхід до моделювання динамічного режиму камери шокової заморозки	33
2.3. Дослідження параметрів моделі для флюїдної камери шокової заморозки	39
2.4. Апроксимація аналітичної моделі камери шокової заморозки	41
2.4.1. Апроксимація перехідної характеристика системи із яблуками	43
2.4.2. Апроксимація перехідної характеристика системи із заморожуванням м'яса свинини	46
3. СТВОРЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	48
3.1. Структурна схема адаптивної камери шокової заморозки як об'єкта керування	48
3.2. Дослідження періоду дискретизації системи	49
3.2.1. Період дискретизації для об'єкту з яблуками в якості продукту заморозки	49
3.2.2. Період дискретизації для об'єкту з яблуками в якості продукту заморозки	50

3.3. Знаходження оптимальних параметрів системи керування	51
3.3.1. Розрахунок параметрів регулятора для процесу заморозки яблук	52
3.3.2. Розрахунок параметрів регулятора для процесу заморозки м'яса свинини.....	59
4. РОЗРОБЛЕНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ЩОДО АВТОМАТИЗАЦІЇ КАМЕРИ ШОВОКОЇ ЗАМОРОЗКИ	63
4.1. Опис технічних рішень до автоматизації камери швидкісної заморозки продуктів харчування.....	63
4.2. Створена програма адаптивного керування камерою шокової заморозки на основі контролера SE Modicon M172	69
4.3. Розроблена SCADA- система для моніторингу і взаємодії з камерою шокової заморозки продуктів	76
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КАМЕРОЮ ШОВОКОЇ ЗАМОРОЗКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	83
5.1. Опис ідеї розробки стартап-проєкту	83
5.2. Технологічний аудит проєкту	84
5.3. Аналіз можливостей стартап-проєкту.....	85
5.4. Розроблення стратегії впровадження і поширення проєкту.....	92
5.5. Розробка маркетингової частини стартап-проєкту.....	94
ВИСНОВКИ	98
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	100

Вступ

При дослідженні ринку харчової продукції чітко прослідковується залежність можливості активного вдосконалення стратегії збуту товару, тобто успішної реалізації продукції, від можливостей якісного зберігання бажаної продукції. Камера шокової заморозки у даному випадку є необхідним елементом зберігання продовольчих товарів, м'яса, фруктів, молочних продуктів, овочів, напівфабрикатів. Завдяки включення до процесу збуту камери швидкісної заморозки реалізація продукції може бути розтягнута у часі, до того моменту, поки збут продукції не стане більш вигідним для власника бізнесу. Зі сторони користувача кінцевої продукції також спостерігаються багаточисельні плюси: збільшені терміни зберігання, завдяки тому, що розміри вхідного і вихідного продукту майже однакові, користувачу не потрібно організовувати додатковий простір на зберігання, дякуючи критеріям до технологічного процесу заморозки, продукт зберігає більшість поживних речовин, і готовий до розморозки і вживання тоді, коли це потрібно кінцевому користувачу.

Із оглянутих вище причин, у магістерській дисертації я розглядаю можливості організації автоматичної системи керування камерою, та досліджую підходи до вдосконалення існуючих варіантів організації процесу шокової заморозки.

У ході виконання магістерській дисертації я розглянув вивчені особливості технологічного процесу та виклав необхідні знання щодо організації автоматичного управління в рамках поставленої задачі.

1. 1. ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Актуальність використання технології шоккової заморозки продуктів харчування

Якщо звернутись до історії розвитку харчової індустрії- то неозброєним оком можна помітити, що кількість продукції яку виробляли у 80-х роках ніяким чином не могла бути реалізована серед населення земної кулі. [16] З 3902 млн. т/рік продуктів харчування виготовленої продукції по всьому світу половина потребувала технології що могла б розтягнути у часі період реалізації цієї продукції. Таким чином стала очевидною потреба в розвитку холодильної обробки. Адже, світовий потенціал заморожування продукції складав всього до 70 млн.т швидкопсувних продуктів, що в подальшому могла зберігатись на складах. Таким чином, це складає всього 4% від загальнорічного виробництва, що не може покрити і вирішити проблематику минулих років у необхідності зберігання заморожених швидкопсувних продуктів.

Тому світові лідери прийняли рішення щодо розробки і в подальшому створення одного із найефективніших шляхів скорочення втрат продукції, у тому числі сільськогосподарських товарів, і у висновку, людство отримало збільшення обсягів продовольчих ресурсів. [16] Таким рішенням описаної проблематики стало вдосконалення можливосте до використання швидкозаморожувальної апаратури і зберігання швидкозаморожених продуктів. Термін «шокове заморожування» за останній час став незамінним терміном в харчовій індустрії в контексті консервування продукції у розвинених країн світу, де поточний метод має стрімко зростаюче поширення.

За останні роки особливо інтенсивно виробляються:

- овочі, ягоди, зелень;
- приготована випічка, приготовані перші і другі страви;

- напівфабрикати з м'яса, риби та ін.;

Важливою перевагою можна зазначити швидкодію процесу, а тобто значну економію часу, яку необхідно витратити на заморожування продукту. Якщо більш детально розглядати даний факт- то у випадку будь-якої іншої технології період заморозки м'ясної продукції становить 2,5 години, при тому у випадку шокової заморозки достатньо витратити 20-35 хвилин, в залежності від заданої потужності установки. При швидкому заморожуванні порівняно з традиційним час заморожування зменшується в 4...7 разів, не випаровуються ароматичні речовини, краще зберігається структура та хімічний склад продукту. Все це зберігає смакові якості та зовнішній вигляд після розморожування. Не вдаючись у математичні обчислювання не тільки споживач і виробник помітить значну перевагу, але і спеціаліст який вивчає структуру продукції і необхідні умови до заморозки задля забезпечення найкращої якості продукту після розморожування. Дана технологія має ряд тезисів, які можуть охарактеризувати сам процес і кінцевий продукт.

Розглянемо деякі з них [8]:

1. Свіжіша та краща якість їжі. Шокова заморозка закріплює свіжість. Чим швидше заморожується їжа, тим менші кристали льоду. Це означає, що структурі клітини завдається менше шкоди. Шокова заморозка зберігає якість, текстуру, смак і зовнішній вигляд.
2. Більш безпечні та покращені стандарти безпеки. Зберігайте свіжість протягом тривалого часу з високою безпекою харчових продуктів. Не потребується заморожування уже на прилавках магазину.
3. Економія витрат на оплату праці. Заощаджуйте до 30% на витратах на оплату праці за рахунок скорочення понаднормових годин і заздалегідь добре підготовлених до періодів пікового попиту.
4. Нижчі вхідні витрати. Продукти можна закуповувати оптом, коли ціни сезонно нижчі, потім охолоджувати і заморожувати для використання пізніше.

5. Готуйте їжу швидше. Покращуйте робочий процес і прискорюйте час підготовки. У вас буде смачна їжа, готова для розморожування, приготування та подачі вашим клієнтам.

6. Розморожуйте та підготуйте заздалегідь. Велику кількість їжі можна заздалегідь приготувати за кілька днів або тижнів, а потім охолодити або заморозити шоково, щоб забезпечити загальні вихідні дні та збільшити попит.

7. Менше відходів. На комерційній кухні можна викидати до 40% їжі. Технологія швидкісного охолодження значно зменшує кількість відходів, дозволяючи краще планувати та значно довше зберігати свіжі та заздалегідь виготовлені продукти.

8. Довший термін зберігання. Завдяки усуненню утворення бактерій під час шокowego охолодження та шоковой заморозки їжа може зберігатися в бездоганному стані до трьох разів довше.

1.2. Огляд технології шоковой заморозки

У процесі вивчення даної технології прослідковується визначений поділ на деякі типи швидкозаморожувальної апаратури. Але усі мають приблизно однаковий перебіг подій зі сторони вимог до технологічного процесу заморожування.

Під словосполученням «швидкісна заморозка» зазвичай мають на увазі заморожування продукту в охолоджену потоці повітря за визначено короткий час перебігу процесу. За цих умов продукт підпадає під три етапи заморожування, маючи охолодження від початкової бажаної температури продукту 19-22 °C [16]:

- Перший етап: охолодження до 0 °C, за допомогою продувки на нього холодного повітря;

- Другий етап: перехід з рідкого стану в тверде, виконуючи перебіг через кріоскопічну точку, що позначається з 0°C до -5°C . Даний етап визначний в формуванні розмірів об'єкта заморозки;
- Третій етап: доморожування продукту, тобто кінцевий перехід в тверду форму, при цьому досягається зниження температури з -5°C до -18°C .

Розглянемо порівняльні діаграми, на яких зображено 2 перебіги процесу заморожування при використанні двох різних технологій (рис. 1.1), діаграма №1 позначає використання сторонньої технології, діаграма №2 відповідає процесу з використанням шокової заморозки продукції. Процеси відображають замороження ягід в однаковому об'ємі і за однакових початкових умов.

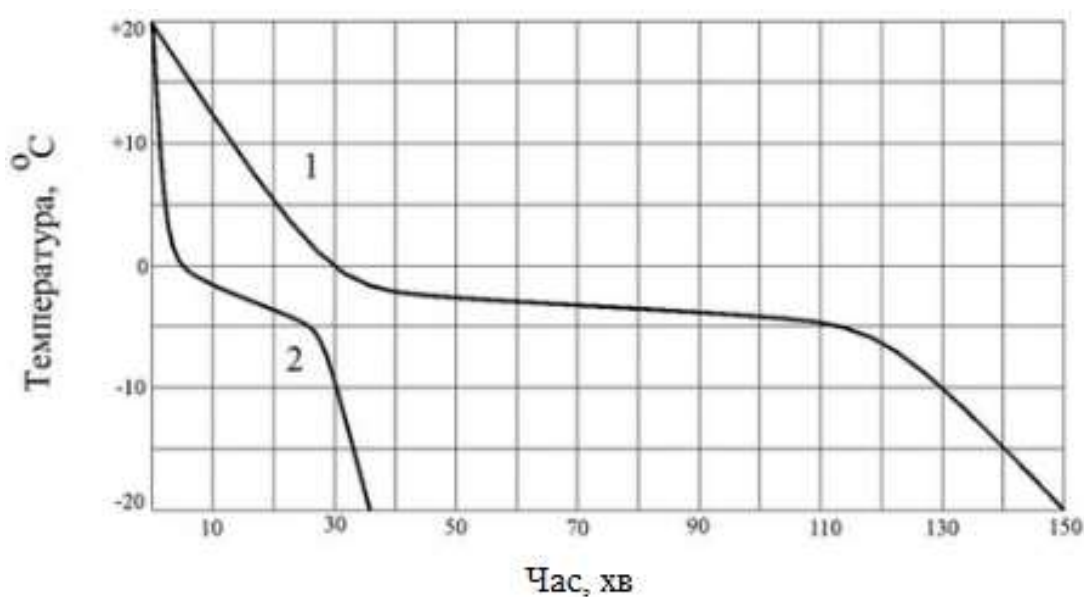


Рис. 1.1. Залежність температури від часу, при принципово різних підходах до заморозки ягід

У процесі розгляду технології, я зазначив, що існує декілька основних підходів до обробки харчової продукції за допомогою використання різних типів швидкоморозильної апаратури. На наступних принципах [9] базується індустрія шокової заморозки:

1. Дизайн. Основними конструктивними видами є прямокутні камери (з одностороннім і двостороннім завантаженням/розвантаженням), тунельні машини, в яких здійснювалася тунельна шокова заморозка, і особливо установки спірального виду. У ящиках продукція розміщується на візках з лотками, а конвеєрні стрічки працюють в лінійних і спіральних блоках.

2. Холодоагент. Переважна більшість обладнання працює за принципом звичайних компресорно- випарних машин з використанням фреону, аміаку або інших традиційних рецептур. Крім того, використовується також рідкий азот, який важливий не як випарний охолоджувач, а як рідина, що служить робочим середовищем для теплообмінників.

3. Продуктивність. Потужність побутових машин для швидкісного заморожування не перевищує кількох кілограмів на годину. Потужність торгового обладнання (як правило, камер з одностороннім завантаженням) не більше 200-400 кг/год. Потік, що забезпечує промисловий конвеєр шокової заморозки, досягає 10 т/год і більше. Шокове заморожування, ціна якого відносно низька для кінцевого споживача, може зажадати значних витрат бізнесу.

4. Розміри. Розміри найменших боксерських камер збігаються з габаритами побутових холодильників. Для розміщення більшого обладнання потрібен весь об'єкт.

5. Етапи процесу. Якщо говорити про окремі машини, то обробка починається з шокової заморозки, а завершується процес власне морозильною камерою. У великих технологічних лініях і охолодження, і заморожування можна розділити на підетапи: наприклад, одна морозильна камера доводить температуру до мінусової, а друга забезпечує так зване заморожування. При цьому лінія може виконана у вигляді моноблока, що виконує всі етапи швидкісного охолодження і заморожування.

6. Ступені універсальності/специфічності. Заводи шокової заморозки можуть бути універсальними (здатні переробляти практично всі види

харчових продуктів). Однак набагато частіше конструюють машини і лінії вузького призначення (наприклад, тільки для картоплі фри) або сегментованих (для заморожування частин курки або порціонування м'яса).

7. Наявність додаткових функцій. Наприклад, лінія може включати автоматичну пакувальну машину.

Флюїдні (коробкові) швидкоморозильні апарати. Зовнішній вигляд зображено на рис.1.2.

Вони мають схожу конструкцію [9] з однокамерними побутовими холодильниками та морозильними камерами випарного типу. Випарник розташований у верхній або бічній частині камери і генерує тепло, передаючи холодне повітря, яке йде вниз. Основна відмінність камери коробкового типу від звичайної морозильної камери полягає у використанні набагато потужнішого двигуна, а також одного або кількох вентиляторів, які служать для рівномірного розподілу холоду і прискорення процесу.

Використання в закладах харчування, торгівлі, громадського харчування для швидкого охолодження або заморожування:

- М'ясо, птиця, риба.
- Овочі та фрукти.
- Ягоди та гриби.
- Готові страви.
- Напівварені страви - котлети, пельмені, рибні чіпси, нагетси тощо.

Камери шокової заморозки, окрім високої продуктивності, також цінуються за значну адаптивність. Завдяки широкому діапазону можливих графіків охолодження одну лінію можна налаштувати як для заморожування м'яса або риби, так і для переробки овочевих продуктів.

З економічної точки зору організація морозильного виробництва з використанням камери шокової заморозки є однією з найбільш доцільних. Ця технологія використовується при роботі з виробами середнього і

великого розміру. Устаткування цього класу показує найбільший ефект при відносно невеликих обсягах продукції.

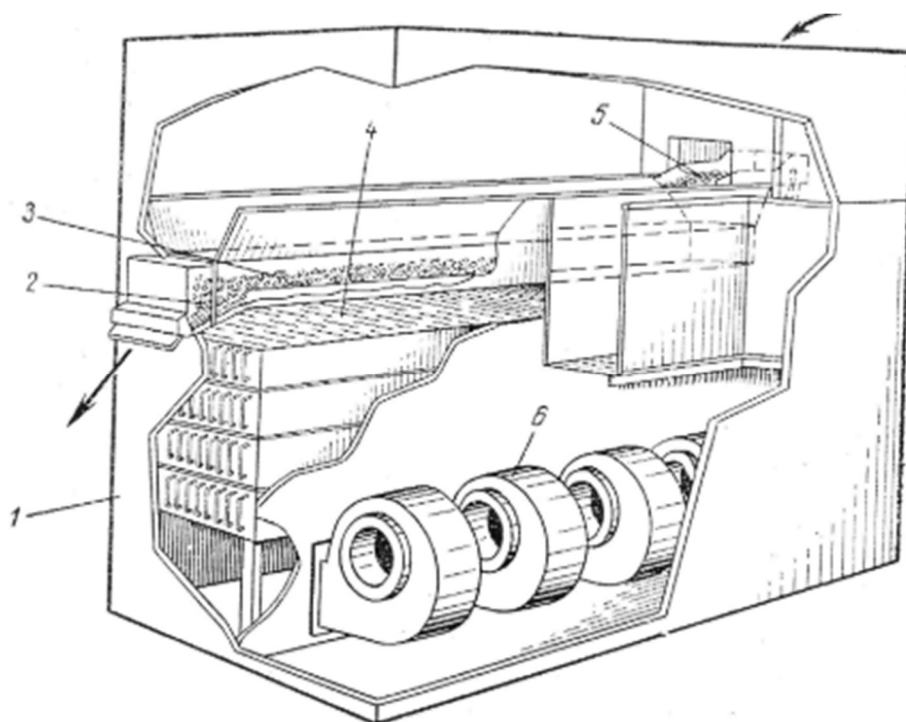


Рис. 1.2. Флюїдні (коробкові) швидкоморозильні апарати

Флюїдний морозильний апарат: 1 - ізолюваний контур; 2 - піддон з перфорованим дном; 3 - продукт; 4 - повітроохолоджувач; 5 - вібраційна решітка; 6 - відцентрові вентилятори

Конвеєрний швидкоморозильний апарат. Зовнішній вигляд представлено на рис.1.3.

Тунельна шоква заморозка - це горизонтально орієнтовані конвеєри охолодження та заморозки. Призначена [9] для виробництва продуктів шоквої заморозки в промислових масштабах або для використання у великих гастрономічних роздрібних мережах і супермаркетах. Друга назва цих агрегатів – шокві морозильники лінійного типу. Конвеєрна стрічка проходить всередині камери, розділеної на кілька температурних зон. Кожна зона має свої випарники та вентилятори.

Виробники постійно використовують тунельні камери протягом значних періодів (до кількох днів). Для підтримки такого марафону реалізовано певні технічні рішення:

1. Корпуси та двигуни силових агрегатів винесені за межі камери, що полегшує доступ до технічних служб.
2. Іноді компресори і вентилятори дублюють для ремонту без зупинки лінії.
3. Внутрішня обшивка камер призначена для уникнення нерівностей, зварних швів, технологічних отворів. Ці заходи в поєднанні з виконанням певних ухилів відносно горизонтальної площини служать для оперативної гігієнічної обробки поверхонь, змонтованих з харчової нержавіючої сталі.
4. Передбачено спеціальні заходи щодо самоочищення конвеєрних стрічок та запобігання замерзанню конденсованого повітря в робочих зонах.
5. Тунельні камери використовують рідкий азот як холодоагент і вимагають дорогих технічних рішень. Однак у деяких випадках кріогенні агрегати допомагають заощадити кошти за рахунок значного скорочення необхідної площі цеху чи ділянки. Довжина таких ліній при однаковому навантаженні в порівнянні з машинами, що використовують фреон, коротшає в 5-10 разів.

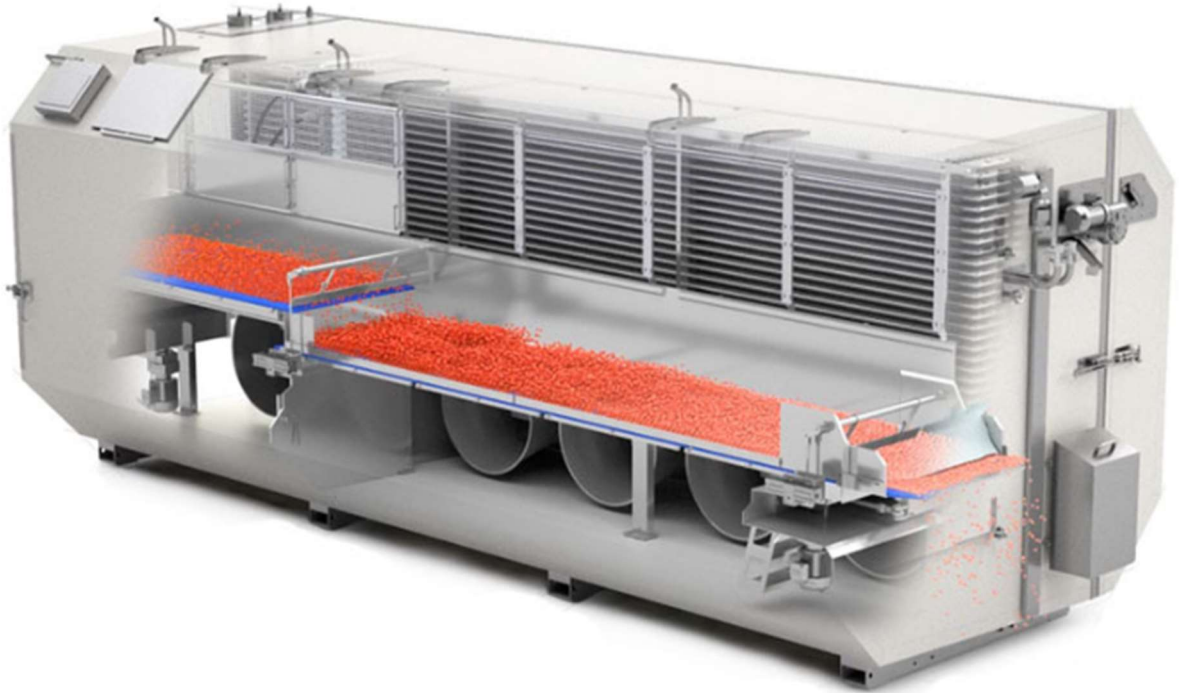


Рис. 1.3. Конвеєрний швидкоморозильний апарат

Спіральні (циліндричні) швидко-морозильні апарати. Загальний вигляд зображено на рис.1.4. Пристрої такого типу оснащені циліндричними камерами, розташованими вертикально. У середині [9] циліндрів змонтовані спіральні транспортери. На відміну від тунельного ударного заморожування, фізичні параметри обробки в спіральних камерах постійні на всіх ділянках конвеєра - від завантаження до вивантаження продукції.

Сучасні машини цього типу оснащені системами проти замерзання та оперативного очищення, що дозволяє збільшити безперервний цикл роботи до 14 днів. Потужність великих заводів досягає 7 т/год.

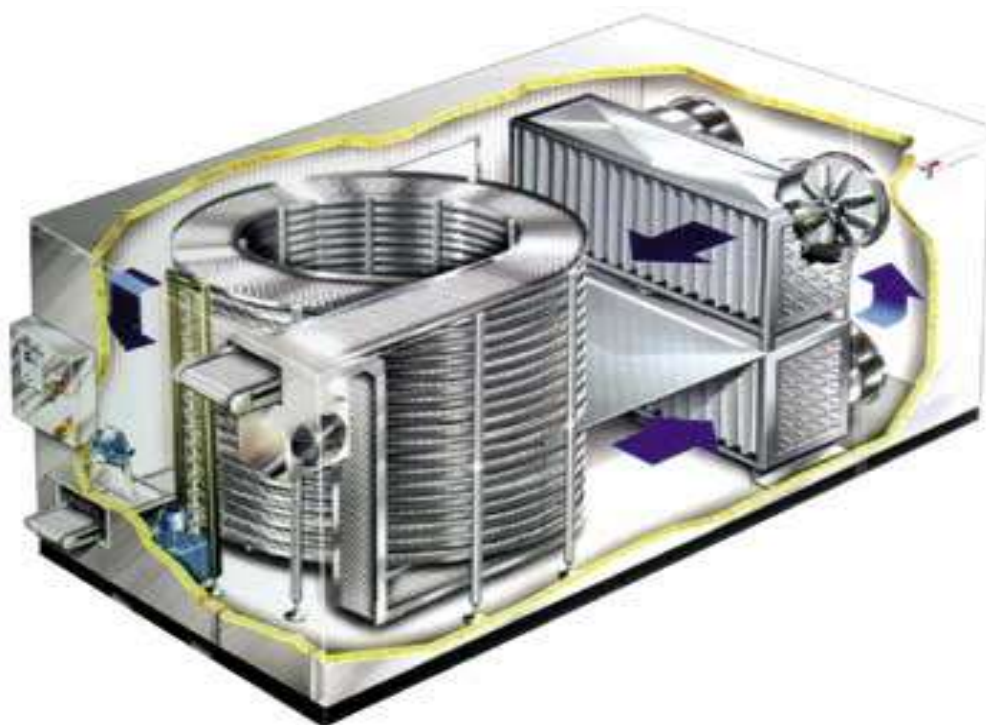


Рис. 1.4. Спиральні (циліндричні) швидко-морозильні апарати

Об'єкт, що розглянутий у даній роботі базується на камері флюїдного типу заморозки. Тобто, для охолодження продукція обдувається великою кількістю охолодженого до потрібної температури повітря. Розглядаючи матеріальні потоки потрібно виділити, що першим потоком є повітря, що обдуває продукт заморозки. Другий матеріальний потік- це холодоагент який постійно циркулює системою охолодження і обмінюється теплом з першим матеріальним потоком.

1.3. Аналіз існуючих підходів до керування процесом шокової заморозки продуктів

Об'єктів керування виступає камера шокової заморозки продуктів харчування, таким чином вона слугує для якісного заморожування і спрощення подальшого зберігання заморожених продуктів. Камера поділена на 3 зони, які відповідають трьом етапам заморозки і виконують різні етапи технології заморозки. Загальна площа камери 30м^2 , кожна зона складає 10м^2 . Палети з об'єктами заморозки пересуваються по загальній довжині камери, послідовно, в межах трьох зон заморозки і піддаються охолодженню, а тобто заморозки до відповідної технологічному процесу і параметрам об'єкта температури, яка позначає три етапи шокової заморозки. Що важливо, кожен етап має займати відповідний час, щоб найефективніше використати технологічне обладнання і досягнути потрібної якості кінцевого продукту.

Представлений комплект технологічних рішень складається з 6 незалежних контурів автоматизації. Кожен етап заморозки містить в собі 2 контури, які є визначними для даного процесу. Задля спрощення розуміння, приймемо що кожен із трьох етапів не відрізняється одне від одного зі сторони автоматизації процесу. Тому, як приклад, розглянемо початкову зону заморозки, що зображена на рис. 3.1.

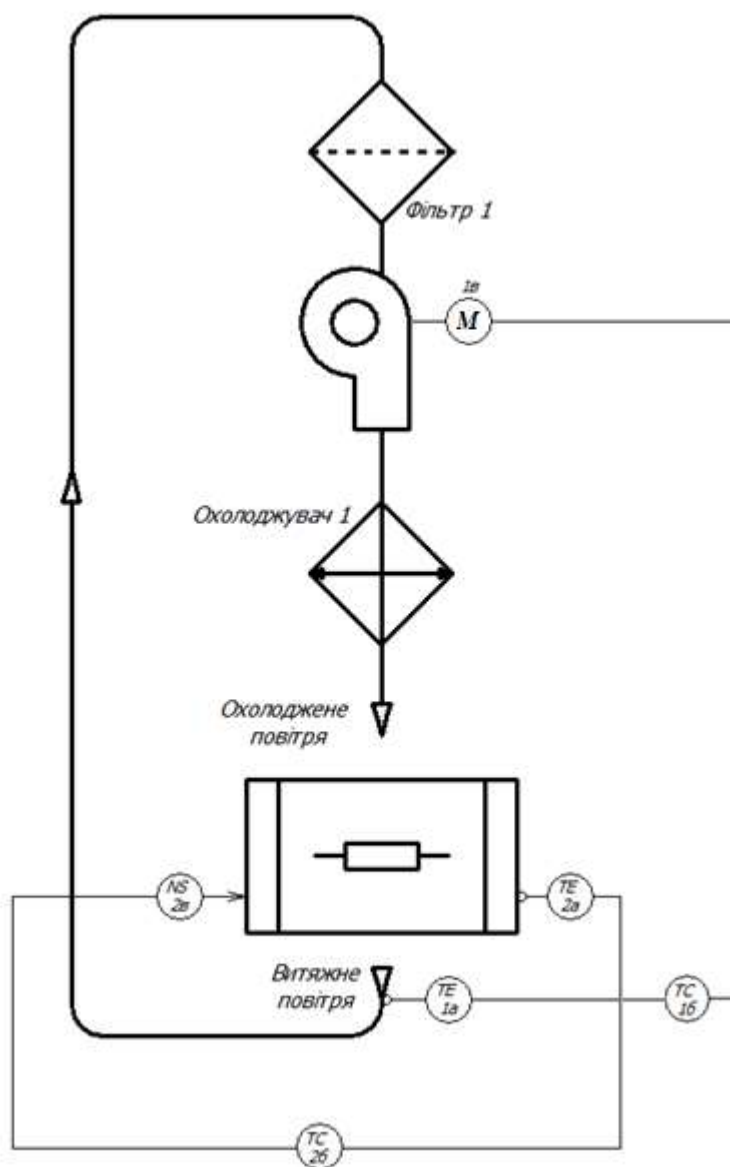


Рис. 1.6. Спрощена схема керування процесом швидкісної заморозки

Позначимо перший контур, це контур керування температурою припливного повітря в камеру. Щоб забезпечити відпрацювання зміни керуючої дії на температуру повітря, в витяжній частині каналу встановлений датчик температури (поз. 1а), він позначає усереднену температуру повітря після проходження через продукт заморозки. Сигнал із датчика заходить на регулятор (поз. 1б), який видає керуючий вплив на частотний перетворювач (поз. 1в), який регулює витрату повітря через теплообмінний апарат. У випадку, коли температура припливного повітря досягає необхідної температури для поточної зони охолодження, після

проходження зони гістерезису, контур охолодження закінчує свою роботу і має місце початок роботи другого контуру керування.

Другий контур керування являє собою відпрацювання потрібної температури підлоги для подальшого переміщення палети з продуктом заморозки до наступного етапу заморозки. Розглядається випадок примерзання полетів до підлоги, що слугує аварійною ситуацією, оскільки технологічний процес не може продовжувати свою роботу. Для відпрацювання даної загрози превентивно в підлогу вмонтована система кабельного обігріву. В центрі зони охолодження встановлений датчик температури (поз. 2а). Система кабельного обігріву відпрацьовує за релейним принципом, тобто, або ввімкнена, або вимкнена. Інформаційний сигнал з датчика температури 2а приходить на позиційний регулятор (поз. 2б), що в свою чергу видає керуючий вплив на магнітний пускач (поз. 2в) для запуску кабельного обігріву. Коли досягається безпечна температура підлоги, кабельний обігрів вимикається, і продукт заморозки продовжує свій рух на наступний етап охолодження.

Важливо зазначити, що дуже важливо виключити можливість одночасної роботи описаних вище двох контурів керування. Оскільки нагрівальний контур буде негативно впливати на заморожування продукту. А контур охолодження харчових продуктів заважатиме відмерзанню палети від підлоги технологічного приміщення.

1.4. Огляд математичних моделей для систем заморожування харчових продуктів

Моделювання процесів заморожування [1] різних харчових продуктів та сировини з точною постановкою задачі та отримання результатів є важливою складовою дослідження технології процесу заморозки та ще одним із математичних варіантів вдосконалення технології заморожування, задля отримання найвигідніших умов виробництва та найточнішого

визначення якості кінцевого продукту. В основі цих досліджень найчастіше лежать теорії Планка, Стефана, Ляме, Клапейрона, а розв'язання задачі зводиться до визначення тривалості [1] заморожування харчового продукту до заданої середньо-об'ємної чи кінцевої температури.

Найбільш проста залежність визначення тривалості процесу заморожування розроблена Планком. Це рішення вважається класичним, відрізняється простотою та зручністю використання. Вона побудована за таких припущень:

- однорідне вологовмісте тіло перед заморожуванням охолоджене до кріоскопічної температури;
- льодоутворення відбувається без переохолодження і відбувається ізотермічно при кріоскопічній температурі, а теплофізичні властивості замороженої частини загального об'єму тіла не залежать від температури, теплоємність замороженої частини дорівнює нулю;
- заморожування відбувається шляхом відведення тепла від поверхні тіла при сталості коефіцієнта тепловіддачі та температури тепло-відвідного середовища.

При дослідженні процесу заморожування [2] харчових продуктів, зокрема ягід, основним способом визначення деяких параметрів є експеримент, наприклад розрахунок тривалості різних фаз процесу заморожування. Але в процесі експерименту дуже складно зафіксувати початок власне процесу заморожування та практично неможливо ідентифікувати відведення прихованої теплоти кристалізації.

Одним із підходів для вирішення задачі в ряді важливих окремих випадків є завдання температурного режиму поза фронтом кристалізації [2]. При цьому відпадає необхідність у вирішенні рівняння теплопровідності та для розрахунку достатньо рівняння теплового балансу, яке для сферично-симетричного об'єкту записується як:

$$\lambda_s \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_s - \lambda_l \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_l = r_{ls} \rho_s \frac{dr}{d\tau}, \quad (1.1)$$

де λ – теплопровідність при температурі T , r_{ls} – прихована теплота кристалізації, ρ – густина, r – просторова координата, $dr/d\tau$ – швидкість руху фронту кристалізації.

Тут і далі індекси s , l , c , σ , fp відповідно відзначають параметри твердої, рідкої фаз, у центрі, на поверхні тіла, параметри на фронті або зоні кристалізації.

Наприклад, часто приймають припущення про квазістаціонарний температурний режим поза фронтом кристалізації. Теплоємність затверділої зони при цьому враховується шляхом використання (1) замість $r_{ls}\rho_s$ величини:

$$\Psi = r_{ls}\rho_s + 0,5c_s\rho_s(T_{fp} - T_s), \quad (1.2)$$

При розрахунку параметрів заморожування дрібноштучних харчових продуктів, у тому числі ягід і фруктів, як модель їх форми зазвичай приймають кулю з еквівалентним діаметром продукту. Розв'язання задачі про затвердіння рідкої кулі при постійних теплофізичних властивостях фаз, відсутність теплового потоку з рідини до фронту кристалізації та заданої температури на поверхні представлено в [3]. Час повної кристалізації у разі визначається виразом:

$$\tau = \frac{\Psi d^2}{24\lambda_s(T_{fp} - T_\sigma)}. \quad (1.3)$$

Для розрахунку часу заморожування тіл простої форми Міжнародним інститутом холоду рекомендовано формули Планка [4]. Наприклад, при заморожуванні кулі в потоці охолоджувача, час її промерзання на товщину Δ визначають з виразу:

$$\tau = \frac{d^2 \rho r_{iz}}{4\lambda_z (T_{fp} - T_c)} \frac{1}{Bi} \times \left[- (Bi - 1) \frac{\delta^3}{3} + (Bi - 2) \frac{\delta^2}{2} + \delta \right], \quad (1.4)$$

де d – діаметр продукту, $\delta = 2\Delta/d$ – відносна товщина змерзлого шару.

Автори досліджень [5] на базі експериментів із заморожування модельних куль з гелю агар-агару уточнили формулу (4), додавши в праву частину поправку, що враховує теплоємність замороженої частини продукту:

$$\tau = \frac{d^2 \rho c_z}{4\lambda_z} \times \left[\frac{\delta}{4} + \frac{\delta}{2(Bi - 1)} - \frac{1}{2(Bi - 1)^2} \ln(1 + (Bi - 1)\delta) \right]. \quad (1.5)$$

Обмеженість подібних рішень полягає в тому, що вони отримані для окремих випадків, наприклад, для охолодження тіла без фазового переходу; затвердіння тіла з початковою температурою, що дорівнює кріоскопічній і т.п. Однак, подібний рівень дослідження повністю відповідає поставленому завданню.

1.5. Сучасні підходи до розробки систем адаптивного керування

Побудова систем управління з невизначеними параметрами об'єкта завжди була найбільшою і центральною проблемою в теорії автоматичного управління. Якщо подивитись на історію- то уже в 1932 році критерій Найквіста давав відповідь на питання щодо стійкості систем, параметри яких є невідомими, а відомі тільки частотні характеристики розімкнутої системи, які були отримані експериментальним варіантом. У подальшому було розроблено багато доповнень теорії і створені нові, але усі вони були націлені на підвищення стійкості системи. Але, як стало зрозуміло, без визначеності більшої кількості даних про систему не можливо суттєво підвищити її коефіцієнт підсилення.

Таким чином, постало питання створення регуляторів, які мають параметри що змінюються [6], тобто адаптуються в залежності від параметрів системи. Такий регулятор дозволяє розраховувати на незмінність стійкості системи при зміні параметрів об'єкта. Системи з такими регуляторами названі самоналаштовуваними, або адаптивними [11].

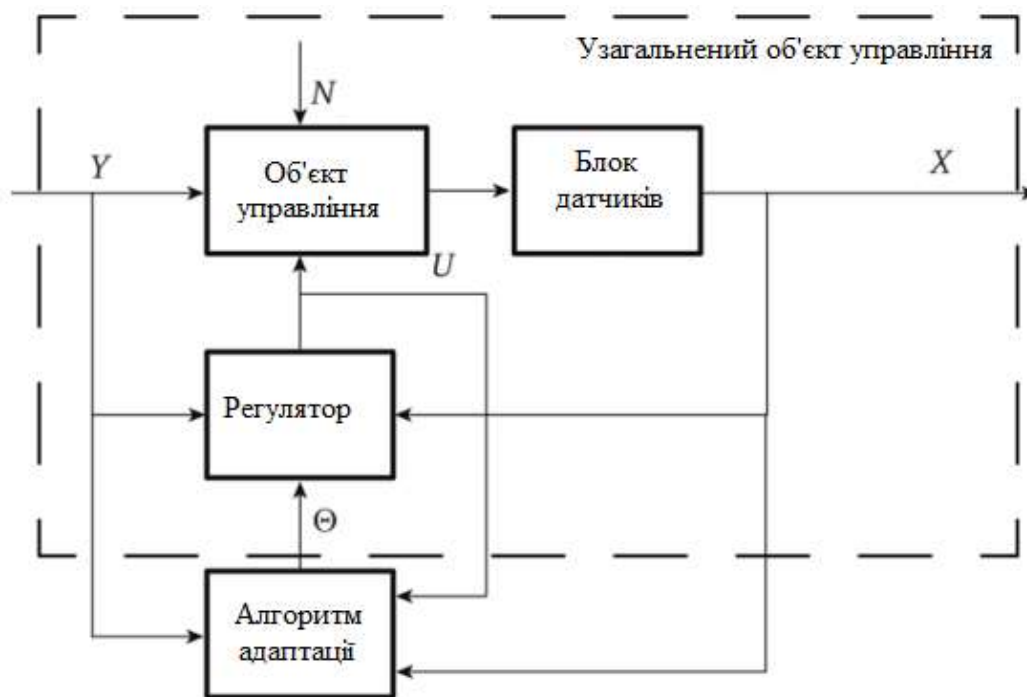


Рис. 1.7. Структурна схема адаптивної АСР

На об'єкт управління (ОУ) впливають в часі збурення, що позначаються Y , невимірювані збурення N і керуючий вплив U . Спостереженням доступні вихідні змінні об'єкта X . Поведінка об'єкта залежить від ряду невідомих параметрів. Таким чином, задана ціль адаптувати поведінку регулятора до невимірюваних збурень на ОУ. Такими збуреннями N , у розробленій мною магістерській дисертації, є зміна об'єкту заморозки, і тому необхідна адаптація керуючого впливу в залежності від типу продукту, щоб забезпечити задану ціль керування.

Важливим поняттям адаптивного керування є поняття ідентифікації [6], що в широкому значенні позначає визначення по входу і виходу об'єкта

структуру його математичної моделі, визначення її параметрів та оцінки векторів його змінних стану. Структура моделі визначається фізичними законами, які визначають рух об'єкта (законы Кірхгофа, Максвелла, закони збереження маси, енергії і імпульсу, закони розподілу кількості теплоти і ентропії). Саме за цими законами формується структура об'єкту, яка представляється у кінцевому вигляді за допомогою диференціальних рівнянь. Ця інформація формує апіорну інформацію про об'єкт, а параметри об'єкту визначаються в результаті виміру входів і виходів об'єкта.

Харчова промисловість має широкий спектр продукції, саме тому має місце розробка системи, яка може адаптувати свою роботу, а тобто адаптувати параметри регулятора в залежності від того, який тип продукції потрібно заморожувати в поточний момент, тобто адаптуватись до зміни параметрів об'єкту. Адаптивна система керування окрім технологічної переваги, має також економічну перевагу, бо кожен продукт має свою теплоємність і свій об'єм, і тому потрібно зважати на те, що для відповідного продукту необхідно дотримуватись визначених температурних умов при заморозці. Пояснюючи, на 1 тип продукту потрібно витратити більше потужності, бо час заморозки має бути менший і охолоджувати потрібно до нижчої температури, а інший тип не потребує великої потужності системи, тому що і при помірному темпі зберігає свою структуру і властивості.

У зв'язку зі специфікою самого циклу виробництва тут мають місце такі фактори, як перехресний вплив одного обладнання на інше; нестабільність параметрів; неможливість швидкої зміни навантаження чи продуктивності устаткування; наявність модернізацій, ремонтів та зміна характеристик технологічного процесу в ході експлуатації; неможливість прямого виміру деяких технологічних параметрів; наявність зовнішніх факторів, що не піддаються вимірюванню, тощо [6]. Саме тому дуже важливо розглянути об'єкт з різних сторін, що дасть змогу зрозуміти недоліки до підходу автоматичного керування, і вирішення деякої

проблематики, з точки зору оптимального підходу до реалізації адаптивної системи керування процесом шокової заморозки продуктів харчування.

На мій погляд однією із основних переваг даного підходу є вдале поєднання простоти реалізації з її гнучкістю і універсальністю. Адже саме при адаптивному підході до організації процесу автоматичного керування заморозкою продуктів харчування відбувається процес перерахунку параметрів регулятора в залежності від зміни об'єкту заморозки, а, тобто, і його теплофізичних параметрів, або відпрацювання зовнішніх збурювачів, які діють на процес заморозки.

Важливо зазначити, що адаптивні системи можна поділити за способом управління, таким чином сформовано 2 типи:

- прямий;
- непрямий.

При прямому адаптивному керуванні завдяки обліку взаємозв'язку параметрів об'єкта та регулятора проводиться безпосередня оцінка та підстроювання параметрів регулятора, що виключає етап ідентифікації параметрів об'єкта.

Ідентифікаційний алгоритм адаптивного керування в цілому являє собою модель процесу проєктування, що виконується в темпі роботи об'єкту, і ідентифікаційна частина цього алгоритму викликана скоріше прототипом, ніж сутністю задачі. Тобто, алгоритм ідентифікації мало пов'язаний з ціллю управління, хоча і створений для її досягнення. Таким чином постало питання, чи можливо не використовуючи ідентифікацію створити закони зміни параметрів регулятора виходячи із кінцевих цілей управління.

Такі алгоритми були створені і дістали назву прямі алгоритми адаптивного керування, а системи до яких застосовуються ці закони: функціонально- адаптивні системи управління.

При непрямому адаптивному управлінні спочатку робиться оцінка параметрів об'єкта, після чого виходячи з отриманих оцінок визначаються необхідні значення параметрів регулятора і їх підстроювання. Саме такий підхід до автоматичного управління використаний щодо об'єкта, що слугує об'єктом дослідження даної магістерської роботи.

1.6. Технічні характеристики камери шокової заморозки BF6/2-660

Для дослідження об'єкту автоматизації у магістерській дисертації я обрав камеру шокової заморозки продуктів харчування BF6/2-660 на основі флюїдного підходу [10] до реалізації камер швидкісного заморожування. Основні технічні характеристики і технологічні параметри, які забезпечують прогнозовану і відповідну завданню роботу розглянутої АСК, наведені у таблиці 1.2.

У розрахунках математичної моделі використовуються теплофізичні параметри фреонового калорифера розробленого на основі теплообмінника SHUFT WHR-R 600*300-3. Основні фізичні і теплофізичні параметри теплообмінного охолоджувача наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Параметри охолоджувача

№	Назва параметру	Числове значення	Розмірність
1.	Габарити теплообмінного апарату	0,44 × 0,835 × 0,316	м
2.	Маса фреону в охолоджувачі	1.87	кг
3.	Площа внутрішньої поверхні теплообміну	1.11	м ²
4.	Площа зовнішньої поверхні теплообміну	6.8	м ²
5.	Маса повітря в охолоджувачі	0.38	кг

Таблиця 1.2. Технологічні параметри камери шокової заморозки

№	Найменування показників	Одиниці	Величина
1	Початкова температура в камері шокової заморозки	°C	19-22
2	Температура підлоги у зонах	°C	0-(+1)
3	Температура вхідного повітря, яка досягається у першій зоні	°C	0
4	Температура вхідного повітря яка досягається у другій зоні	°C	-5
5	Температура вхідного повітря яка досягається у третій зоні	°C	-18
6	Температура холодоносія, що циркулює	°C	-40
7	Витрата повітря через теплообмінник	м³/ч	1720

1.7. Постановка задачі автоматизації

Головна задача об'єкта автоматизації, а саме адаптивної камери шокової заморозки харчових продуктів, забезпечити індивідуальний підхід до швидкісної заморозки продукту, зважаючи на об'єкт заморозки. Кожен об'єкт має свої тепло-фізичні параметри, а тобто, потребує адаптивного підходу до розрахунку системи регулювання.

Також має забезпечуватись відповідна температура у кожній зоні заморозки, що складається з трьох етапів, і безпроблемне переміщення палетів з продуктом між зонами. Розроблена мною система задовольняє усім потребам розглянутого об'єкту автоматизації.

У першому розділі надані загальні поняття щодо перебігу технологічного процесу шокової заморозки продуктів харчування, була розглянута сама технологія заморозки, також досліджений і проаналізований існуючий підхід до автоматизації даної камери, виконаний огляд математичних моделей що можуть бути використані в процесі дослідження об'єкту автоматизації, і адаптивних підхід до вирішення

проблематики різноманітності в об'єктах заморожування. Також, були вивчені матеріальні потоки, які беруть участь у перебігу процесу шокової заморозки продуктів.

Виходячи із огляду існуючих систем потребують подальшого вирішення наступні задачі для автоматизації камери шокової заморозки:

1. Використання математичного моделювання щодо камери шокової заморозки, та розробка аналітичної моделі камери.
2. Розробка контуру регулювання адаптивної камери шокової заморозки.
3. Розробка програмного забезпечення для автоматизації об'єкту, на основі обраного ПЛК;
4. Розробка SCADA-системи, для моніторингу технологічних параметрів та взаємодії з адаптивною системою керування.

2. ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДО ПРОЦЕСУ ШВИДКІСНОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ

2.1. Огляд структури математичної моделі камери шоквої заморозки

Розглянемо спрощену схему перебігу технологічного процесу камери швидкісної заморозки, що зображена на рис. 2.1.

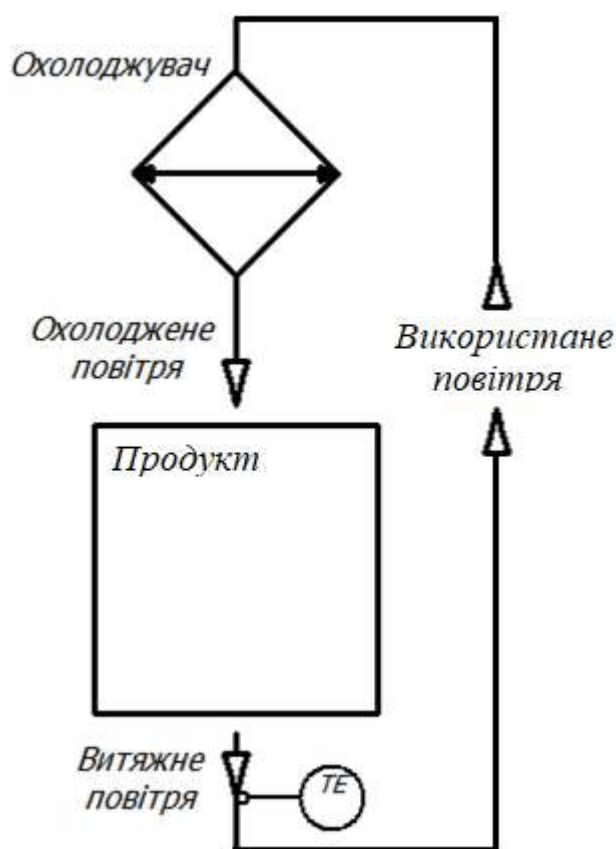


Рис. 2.1. Спрощена схема технологічного процесу

Відповідно до представленої вище спрощеної схеми технологічного процесу заморозки, об'єкт управління, у виді камери швидкісної заморозки продуктів харчування, скомпонована із: теплообмінного апарату, де відбувається процес теплопередачі від фізичних потоків фреону і повітря, в результаті якого охолоджене повітря надходить до продукту заморозки, і

об'єкту заморозки, яким виступає харчовий продукт. За розглянутим вище варіантом організації процесу заморозки, структурна схема математичної моделі камери швидкісної заморозки прийме вигляд, що зображений на рис. 2.2.

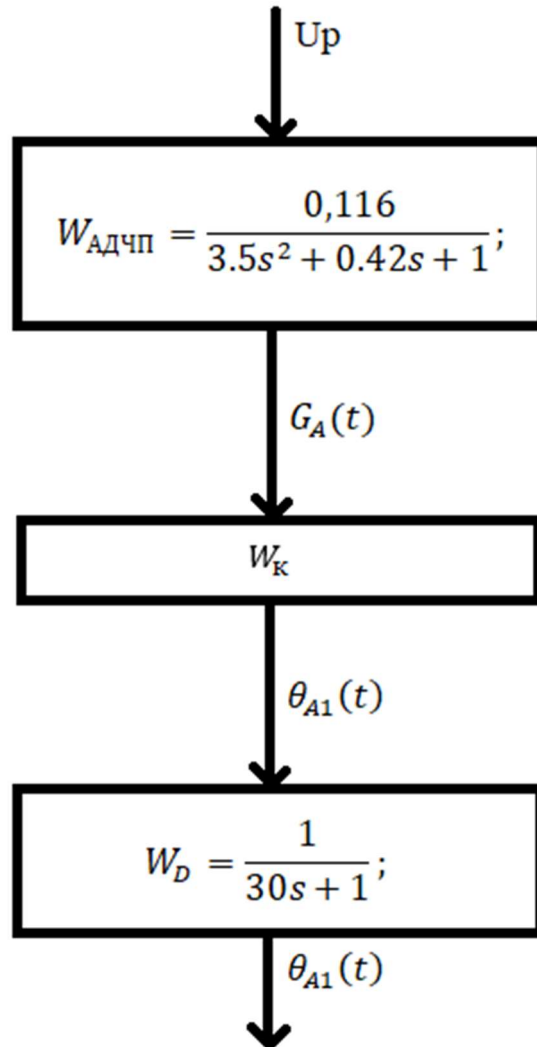


Рис. 2.2. Розширена структурна схема математичної моделі камери шоккової заморозки фруктів

Скомпонована розширена структурна схема математичної моделі складається із: частотного перетворювача, який регулює процент потужності роботи двигуна припливного вентилятора, теплообмінника, що охолоджує повітря, датчика температури.

У якості пристрою, який зчитує температуру, прийнято рішення до використання датчика, що встановлюється в припливний повітропровід, від компанії Schneider Electric, з уніфікованим сигналом (4-20)мА, з номенклатурою моделі: STD400-60 -50/50. Динамічна характеристика вказаного датчика має наступний вигляд:

$$W_D = \frac{1}{30s + 1};$$

На роль виконавчого механізму у даній схемі обрано привід асинхронного двигуна із частотним перетворювачем, виробництва компанії Danfoss: FC-051 (аналогове керування 0...10 В), який розрахований на напругу живлення 230 В. Динамічна характеристика асинхронного двигуна в комплекті із частотним перетворювачем:

$$W_{АДЧП} = \frac{0,116}{3.5s^2 + 0.42s + 1};$$

Структурна схема математичної моделі ОУ стане повноцінна, якщо розглянути динамічну модель охолоджувача із продуктами заморозки. Математичне моделювання описаних елементів розглянуто у підрозділі 2.2.

2.2. Аналітичний підхід до моделювання динамічного режиму камери шоквої заморозки

У даній магістерській роботі для розрахунку аналітичної моделі об'єкту, а тобто аналітичну модель динамічного режиму камери швидкісної заморозки продуктів, де в якості холодоносія виступає фреон, як приклад використано аналітичну модель водяного охолоджувача [13] із деякими ускладненнями, які враховують випаровування фреону у контурі ККБ. Одним із найважливіших динамічних елементів моделі є продукт заморозки, що знаходиться у процесі промерзання за відповідний час.

Для створення математичної моделі камери швидкісної заморозки попередньо розроблено аналітичну модель. Використано аналітичну модель із зосередженими параметрами, тому що модель із розподіленими

параметрами стає більш складною для розрахунку, а ускладнення не гарантує збільшення точності вихідної моделі. [14]. Модель для розрахунку зображена на рис. 2.1.

При створенні аналітичної моделі камери швидкісної заморозки було прийнято наступні припущення: теплообмін із навколишнім середовищем не складає важливий вплив на об'єкт дослідження, тому відсутній; модель містить чотири динамічні елементи із зосередженими параметрами: продукти заморозки; холодоносій; поверхня теплообміну; повітря для охолодження. Тепло-фізичні параметри і властивості матеріальних потоків, описаних вище, та поверхні теплообміну зведені до усереднених значень робочих діапазонів [13].

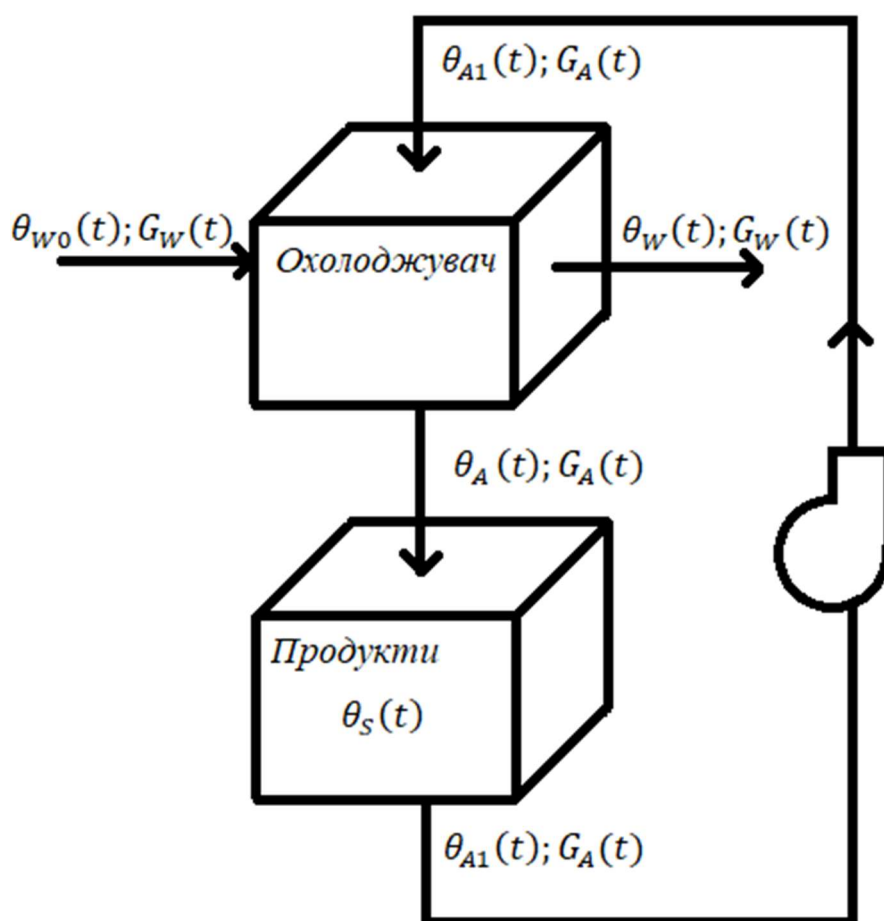


Рис. 2.3. Розрахункова схема камери шокової заморозки

Холодоносієм системи є фреон із постійною витратою $G_w(t)$, і температурою на вході у калорифер $\theta_{w0}(t)$, на виході - $\theta_w(t)$. Калорифер складається із n трубок довжиною H . Температура трубок теплообміну приймається, як усереднена і дорівнює $\theta_M(t)$. За другий матеріальний потік відповідає повітря, яке рухається перехресно до руху фреону. Витрата повітря змінна і дорівнює $G_A(t)$, температура вхідного повітря дорівнює $\theta_{A1}(t)$, оскільки повітря зациклене до повторного використання, а вихідного - $\theta_A(t)$. Також маємо розміри теплообмінника: L , C , H , – глибина, ширина та висота охолоджувача. Для точного моделювання також додано параметри об'єкту заморозки. Фрукти мають вхідну температуру заморозки $\theta_s(t)$. Та температуру після теплообміну продуктів з потоком повітря $\theta_{s1}(t)$.

Тепер, знаючи усі необхідні параметри, розглянемо тепловий баланс для кожного динамічного елементу окремо.

1. Тепловий баланс для холодоносія, що протікає у теплообмінних трубках:

$$G_w c_w \theta_{w0} + \alpha_0 F_0 (\theta_M - \theta_w) - G_w r_w - G_{Aw} c_{Aw} \theta_w = M_{Aw} c_{Aw} \frac{d\theta_w}{dt}, \quad (2.1)$$

тут G_w – витрата рідкого холодоносія, що надходить на охолоджувач; G_{Aw} – витрата газоподібного холодоносія, що виходить із охолоджувача; c_w – теплоємність рідкого холодоносія (фреону); c_{Aw} – теплоємність газоподібного холодоносія; α_0 – коефіцієнт тепловіддачі між холодоносієм та внутрішньою поверхнею труб; F_0 – площа внутрішньої поверхні усіх трубок, $F_0 = nL\pi d_0$, d_0 – внутрішній діаметр трубок; M_{Aw} – маса газоподібного холодоносія в усіх трубах охолоджувача, r_w – теплота випаровування холодоносія; $M_{Aw} = \frac{n\rho_{Aw}L\pi d_0^2}{4}$, ρ_{Aw} – густина газоподібного холодоносія. Після спрощення та лінеаризації рівняння (2.1) прийме вигляд:

$$T_W \left(\frac{d\Delta\theta_W}{dt} \right) + \Delta\theta_W = k_1 \Delta G_W + k_2 \Delta\theta_M, \quad (2.2)$$

$$\text{де } K_W = \alpha_0 F_0 + c_{AW} G_{AW}; \quad T_W = \frac{c_{AW} M_{AW}}{K_W}; \quad k_1 = \frac{c_W G_W - r_W}{K_W}; \quad k_2 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_W};$$

2. Тепловий баланс для теплообмінної поверхні охолоджувача:

$$\alpha_0 F_0 (\theta_W - \theta_M) - \alpha_1 F_1 (\theta_W - \theta_A) = M_M c_M \frac{d\theta_M}{dt}, \quad (2.3)$$

тут c_M – теплоємність металу; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі між зовнішньою поверхнею труб та повітрям; F_1 – площа зовнішньої поверхні теплообміну калорифера; M_M – маса металу теплообмінної поверхні.

Після спрощення рівняння (2.3) отримаємо диференціальне рівняння у приростах:

$$T_M \frac{d\theta_M}{dt} + \Delta\theta_M = k_3 \Delta\theta_W + k_4 \Delta\theta_A, \quad (2.4)$$

$$\text{де } K_M = \alpha_0 F_0 + \alpha_1 F_1; \quad T_M = \frac{c_M M_M}{K_M}; \quad k_3 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_M}; \quad k_4 = 1 - k_3;$$

3. Далі складемо рівняння теплового балансу для повітряного простору охолоджувача:

$$G_A c_A (\theta_{A1} - \theta_A) - \alpha_1 F_1 (\theta_M - \theta_A) = M_A c_A \frac{d\theta_A}{dt}, \quad (2.5)$$

тут c_A – теплоємність повітря; M_A – маса повітря у об'ємі $H \times L \times C$ калорифера.

Після спрощення та лінеаризації рівняння (2.5) прийме вигляд:

$$T_A \left(\frac{d\Delta\theta_A}{dt} \right) + \Delta\theta_A = k_5 \Delta\theta_{A1} + k_6 \Delta\theta_M + k_7 \Delta G_A, \quad (2.6)$$

$$\text{де } K_A = c_A G_A + \alpha_1 F_1; \quad T_A = \frac{c_A M_A}{K_A}; \quad k_5 = \frac{c_A G_A}{K_A}; \quad k_6 = 1 - k_5;$$

$$k_7 = \frac{c_A (\theta_{A1} - \theta_A)}{K_A}.$$

Рівняння (2.2), (2.4) та (2.6) описують поведінку розглянутих динамічних елементів водяного калорифера.

4. Складемо рівняння теплового балансу між повітрям та продуктом, що охолоджується:

$$G_A c_A (\theta_A - \theta_{A1}) + \alpha_2 F_2 (\theta_s - \theta_{A1}) = M_{A1} c_A \frac{d\theta_{A1}}{dt}, \quad (2.7)$$

тут c_s – теплоємність продукту; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі між зовнішньою поверхнею продукту та повітрям; F_2 – площа зовнішньої поверхні теплообміну продукту; M_{A1} – загальна маса повітря, що знаходиться в об'ємі продукту.

Після спрощення та лінеаризації рівняння (2.7) матиме вигляд:

$$T_{A1} \frac{d\theta_{A1}}{dt} + \Delta\theta_{A1} = k_8 \Delta\theta_A + k_9 \Delta\theta_s, \quad (2.8)$$

$$\text{де } K_{A1} = G_A c_A + \alpha_2 F_2; \quad T_{A1} = \frac{c_A M_{A1}}{K_{A1}}; \quad k_8 = \frac{G_A c_A}{K_{A1}}; \quad k_9 = \frac{\alpha_2 F_2}{K_{A1}};$$

5. Складемо рівняння теплового балансу для промерзання продукту:

$$\alpha_2 F_2 (\theta_{A1} - \theta_s) = M_s c_s \frac{d\theta_s}{dt}, \quad (2.9)$$

тут c_s – теплоємність продукту; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі між зовнішньою поверхнею продукту та повітрям; F_2 – площа зовнішньої поверхні теплообміну продукту; M_s – загальна маса продукту.

Після спрощення та лінеаризації рівняння (2.9) матиме вигляд:

$$T_s \frac{d\theta_s}{dt} + \Delta\theta_s = k_{10} \Delta\theta_{A1}, \quad (2.10)$$

$$\text{де } K_s = \alpha_2 F_2; \quad T_s = \frac{c_s M_s}{K_s}; \quad k_{10} = 1.$$

Тепер, маючи усі необхідні рівняння, представимо математичну модель у вигляді системи диференційних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_W \left(\frac{d\theta_W}{dt} \right) + \Delta \theta_W = k_1 \Delta G_W + k_2 \Delta \theta_M \\ T_M \left(\frac{d\theta_M}{dt} \right) + \Delta \theta_M = k_3 \Delta \theta_W + k_4 \Delta \theta_A \\ T_A \left(\frac{d\theta_A}{dt} \right) + \Delta \theta_A = k_5 \Delta \theta_{A1} + k_6 \Delta \theta_M + k_7 \Delta G_A \\ T_{A1} \left(\frac{d\theta_{A1}}{dt} \right) + \Delta \theta_{A1} = k_8 \Delta \theta_A + k_9 \Delta \theta_S \\ T_S \left(\frac{d\theta_S}{dt} \right) + \Delta \theta_S = k_{10} \Delta \theta_{A1} \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Представимо (2.11) системою алгебраїчних рівнянь в області Лапласа:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_W (T_W p + 1) = k_1 \Delta G_W + k_2 \Delta \theta_M ; \end{array} \right. \quad (2.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_M (T_M p + 1) = k_3 \Delta \theta_W + k_4 \Delta \theta_A ; \end{array} \right. \quad (2.11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_A (T_A p + 1) = k_5 \Delta \theta_{A1} + k_6 \Delta \theta_M + k_7 \Delta G_A ; \end{array} \right. \quad (2.12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_{A1} (T_{A1} p + 1) = k_8 \Delta \theta_A + k_9 \Delta \theta_S ; \end{array} \right. \quad (2.13)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_S (T_S p + 1) = k_{10} \Delta \theta_{A1} ; \end{array} \right. \quad (2.14)$$

Для зручності моделювання у Simulink систему рівнянь (2.10 - 2.14) подано у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_W = \frac{k_1}{T_W p + 1} \Delta G_W + \frac{k_2}{T_W p + 1} \Delta \theta_M ; \end{array} \right. \quad (2.15)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_M = \frac{k_3}{T_M p + 1} \Delta \theta_W + \frac{k_4}{T_M p + 1} \Delta \theta_A ; \end{array} \right. \quad (2.16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_A = \frac{k_5}{T_A p + 1} \Delta \theta_{A1} + \frac{k_6}{T_A p + 1} \Delta \theta_M + \frac{k_7}{T_A p + 1} \Delta G_A ; \end{array} \right. \quad (2.17)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_{A1} = \frac{k_8}{T_{A1} p + 1} \Delta \theta_A + \frac{k_9}{T_{A1} p + 1} \Delta \theta_S ; \end{array} \right. \quad (2.18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \theta_S = \frac{k_{10}}{T_S p + 1} \Delta \theta_{A1} ; \end{array} \right. \quad (2.19)$$

2.3. Дослідження параметрів моделі для флюїдної камери шоквої заморозки

У попередніх пунктах другого розділу розглянуто розрахункову модель і розрахована аналітична модель камери швидкісної заморозки.

Відповідно до п. 1.4, де розглянуто основні технічні характеристики системи, складено табл. 2.1, де зібрано фізичні і теплофізичні параметри для розглянутої камери заморозки, де в якості охолоджувача використовується теплообмінник, в якому відбувається теплообмін між холодоагентом, у даному випадку фреоном, і повітрям, яке обдуває продукт заморозки.

Для розрахунків математичної моделі використано теплофізичні параметри фреонового охолоджувача SHUFT WHR-R 600*300-3.

Таблиця 2.1. Теплофізичні параметри камери швидкісної заморозки

№ п. п.	Назва параметру	Позначення	Числове значення	Розмірність
1.	Габарити фреонового калорифера	$H \times C \times L$	$0,44 \times 0,835 \times 0,316$	м
2.	Витрата фреону	G_w	0.519	кг/сек
3.	Густина фреону	ρ_w	1406	кг/м ³
4.	Теплоємність фреону	c_w	1104	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
5.	Маса фреону в охолоджувачі	M_w	1.87	кг
6.	Площа внутрішньої поверхні теплообміну	F_0	1.11	м ²
7.	Коефіцієнт тепловіддачі для внутрішньої поверхні	α_0	270	Вт/($\frac{\text{м}^2}{^\circ\text{C}}$)

Числові значення параметрів моделі (2.15), використовуючи дані наведені в таблиці, розраховано усі необхідні коефіцієнти і параметри в середовищі програми Matlab. Код програми наведений нижче:

```

Z0 = 270;
F0 = 1.11;
caw = 5.61;
Gaw = 0.519;
Maw = 0.87;
cw = 1104;
Gw = 0.519;
rw = 263.4;
Kw = (Z0*F0) + (caw*Gaw);
Tw = (caw*Maw) / (Kw);
k1 = ((cw*Gw) - rw) / (Kw);
k2 = (Z0*F0) / (Kw);

Z1 = 90;
F1 = 6.8;
cm = 430;
Mm = 3.1;
Km = (Z0*F0) + (Z1*F1);
Tm = (cm*Mm) / (Km);
k3 = (Z0*F0) / (Km);
k4 = 1 - k3;

ca = 1010;
Ga = 0.58;
Ma = 0.38;
TA1 = -5;
TA = 0;
Ka = (Z1*F1) + (ca*Ga);
Ta = (ca*Ma) / (Ka);
k5 = (ca*Ga) / (Ka);
k6 = 1 - k5;
k7 = (ca*(TA1-TA)) / (Ka);

Z2 = 40;
F2 = 3.2;
Ma1 = 1.7;
Ka1 = (Ga*ca) + (Z2*F2);
Ta1 = (ca*Ma1) / (Ka1);
k8 = (ca*Ga) / (Ka1);
k9 = (Z2*F2) / (Ka1);

cs = 3612;
Ms = 40;
Ks = Z2*F2;
Ts = (cs*Ms) / (Ks);
k10 = 1;

```

Результатом роботи програми стали чисельні дані, які далі використовуються в програмі Simulink для моделювання об'єктів та їхніх перехідних процесів.

2.4. Апроксимація аналітичної моделі камери швидкісної заморозки

Беручи до уваги структурну схему математичної моделі камери швидкісної заморозки, наведеної на рис. 2.2, отримав структурну схему, що використовується для моделювання перехідних процесів в середовищі Matlab/Simulink. Структурна схема побудови об'єкту керування зображена на рис. 2.4.

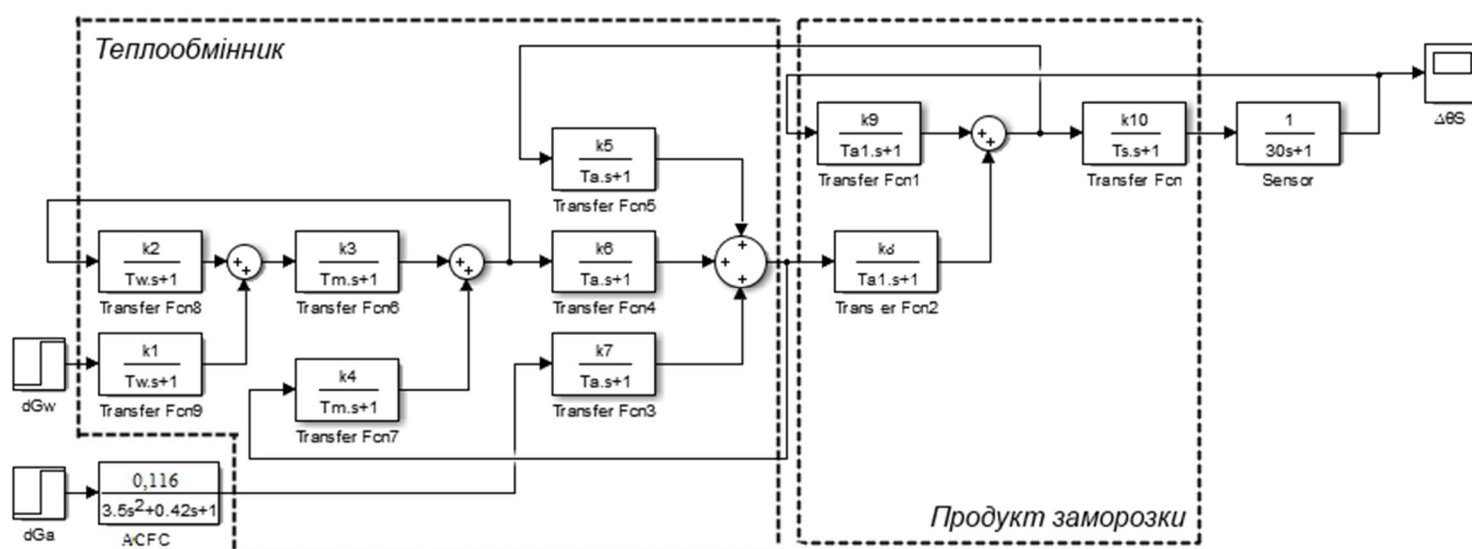


Рис. 2.4. Структурна схема об'єкту в середовищі розробки Matlab/Simulink

Промодельовавши перехідні процеси для заморозки продуктів харчування, було виділено 2 типи продукту, які дають найбільший вплив на перехідний процес, оскільки відбувається суттєва зміна теплоємності продукту заморожування, при однаковій масі. Такими продуктами стали яблука і м'ясо свинини.

По завершенню процесу моделювання динамічного режиму об'єктів, я отримав перехідні процеси, наведені на рис. 2.5 і рис. 2.6, при зміні витрати повітря ΔG_A на 0,25 кг/сек :

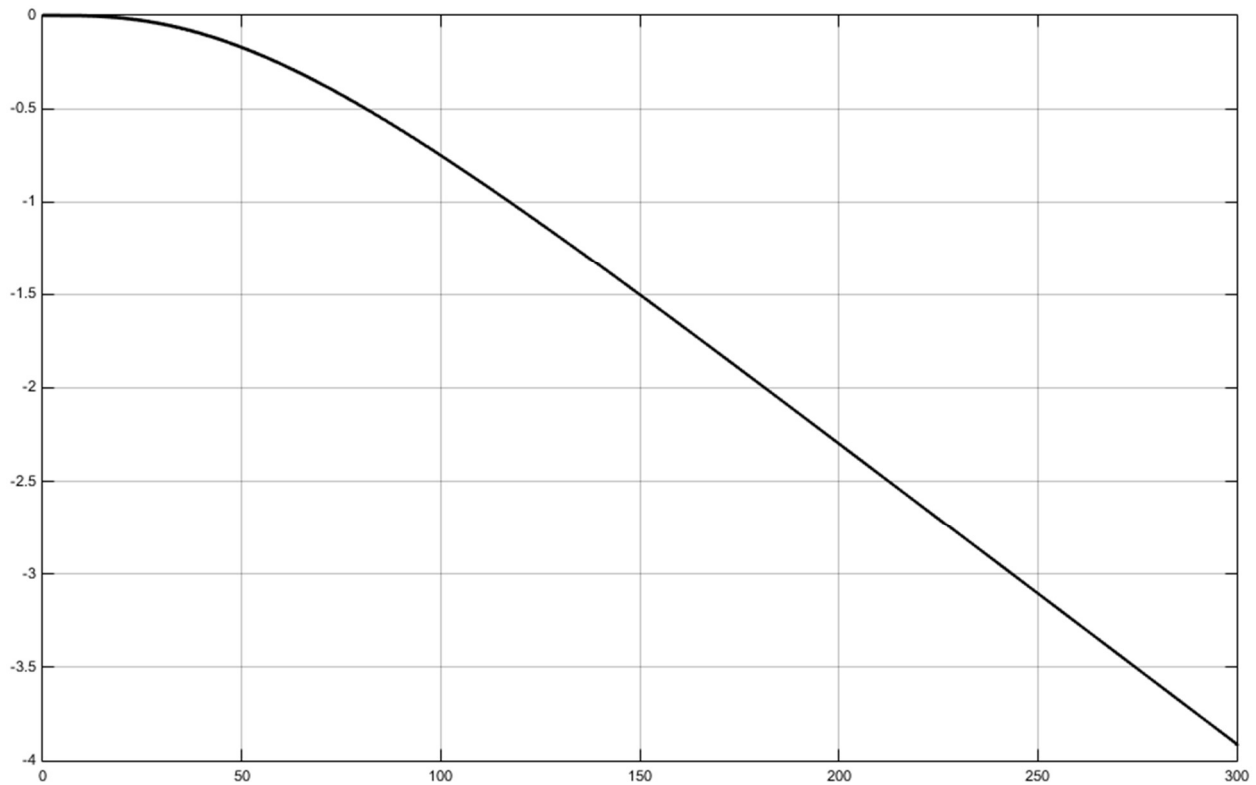


Рис. 2.5. Перехідний процес динамічної моделі камери швидкісної заморозки при використанні яблук в якості продукту заморозки

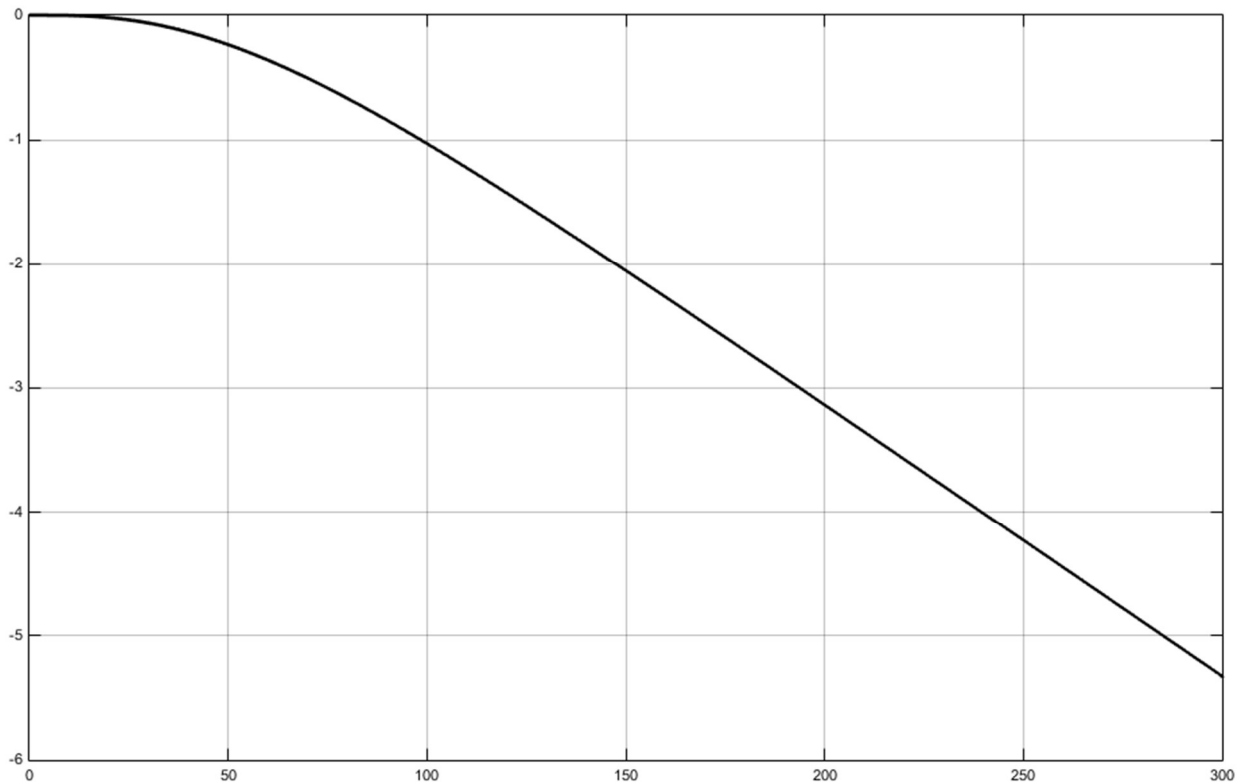


Рис. 2.6. Перехідний процес динамічної моделі камери швидкісної заморозки при використанні м'яса свинини в якості продукту заморозки

Перехідні процеси відображають залежність параметрів моделей за каналом впливу: $\Delta G_A \rightarrow \Delta \theta_S$.

Якщо розглянути структурну схему моделювання, видно, що порядок отриманої передаточної функції високий, що ускладнює подальше дослідження об'єкту і роботу з ним. Саме тому, я провів процес апроксимації. Інерційність датчика температури та частотного перетворювача була включена до перехідного процесу.

2.4.1. Апроксимація перехідної характеристика системи із яблуками

Визначимо апроксимуючу залежність об'єкта керування. Об'єкт має негативне самовирівнювання, тому має місце розглядати об'єкт керування як астатичний.

Виконаємо апроксимацію графічним методом, тобто виходячи із графіка перехідної характеристики.

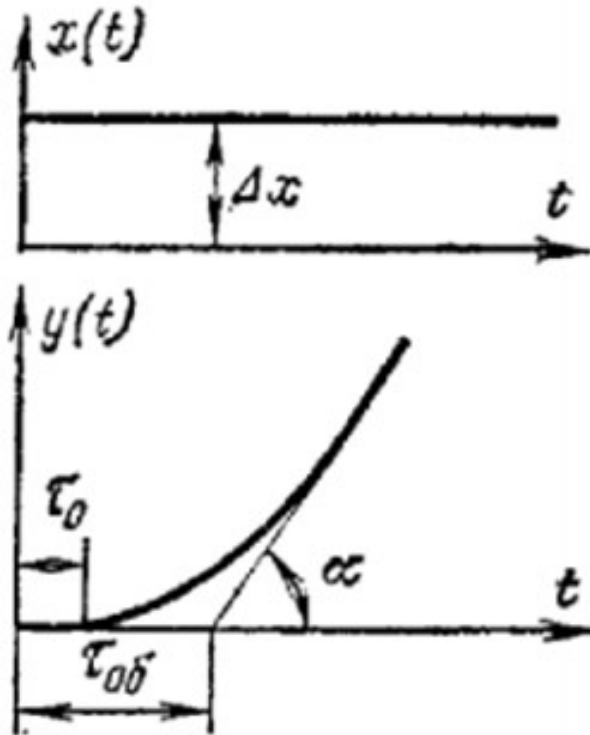


Рис. 2.7. Графік перехідного процесу астатичного ОК

Для астатичного об'єкта, а в моєму випадку інтегруючої ланки із запізненням скористуємось наступними формулами:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{p} * e^{-p\tau_{об}}; \quad (2.20)$$

$$K_{об} = \frac{tg(\alpha)}{\Delta x}; \quad (2.21)$$

Використовуючи формули (2.20) і (2.21) напишемо час запізнення і передатну функцію об'єкта керування:

$$\tau = 54.2 \text{ c};$$

Підставивши дані, була отримана така передаточна:

$$\Delta\theta_s = \frac{-1}{63,15p} * e^{-54.2p}. \quad (2.22)$$

Зображено перехідні процеси передаточної до апроксимації і після:

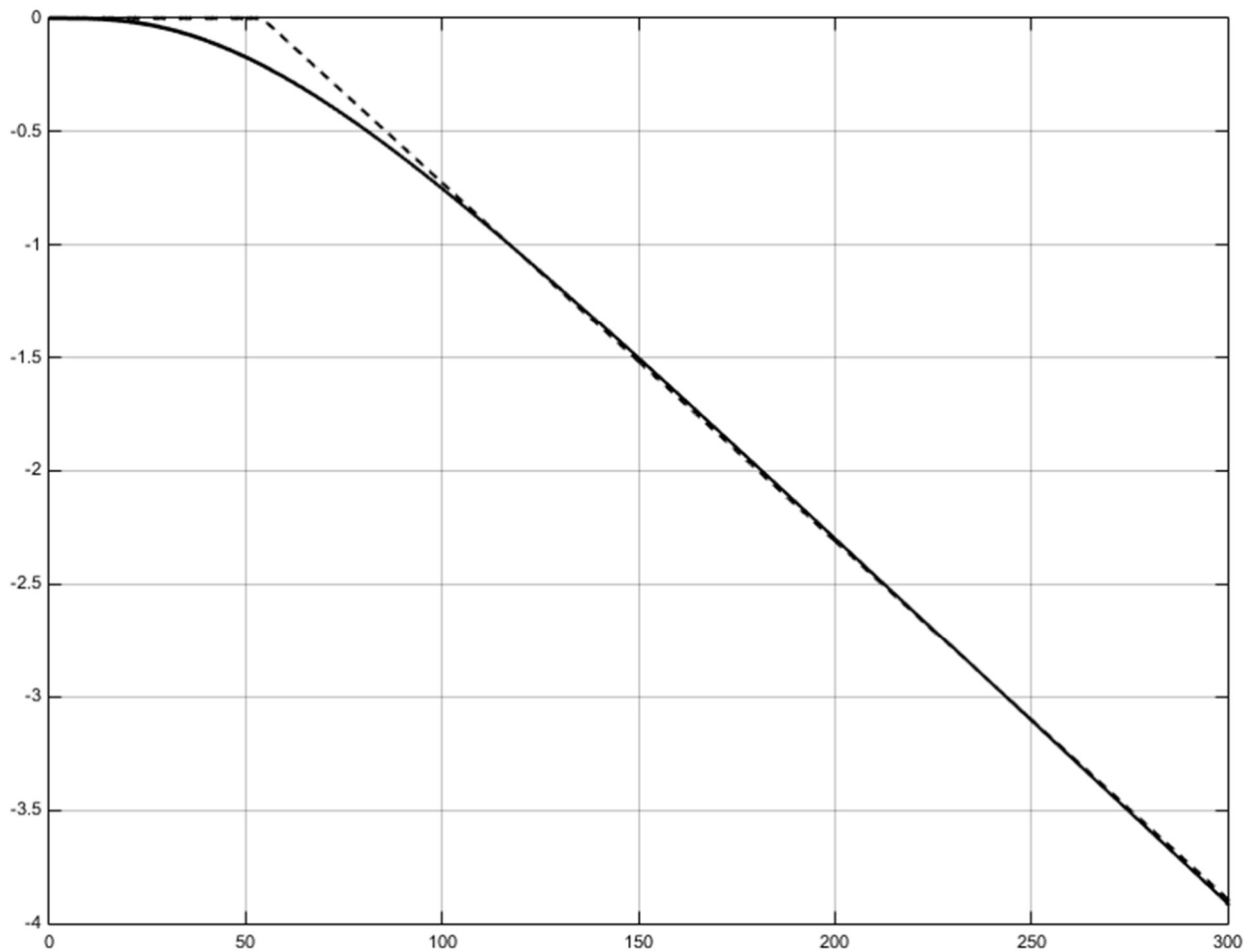


Рис. 2.8. Перехідні процеси апроксимованої моделі камери шокової заморозки і моделі до апроксимації (яблука)

Наведено інтегральний критерій якості для порівняльної оцінки зміни перехідного процесу об'єкту до апроксимації та після, розрахований для двох перехідних процесів.

До апроксимації: $I_{abs}^i = 478,3$;

Після апроксимації: $I_{abs} = 485,4$;

Щоб численно дослідити різницю між перехідними процесами, наведено відношення розрахованих інтегральних критеріїв:

$$\frac{I_{abs}^i - I_{abs}}{I_{abs}^i} = 0,01462.$$

2.4.2. Апроксимація перехідної характеристика системи із заморожуванням м'яса свинини

Розрахунки проведено за аналогією до п. 2.4.1.

Використовуючи формули (2.20) і (2.21) напишемо час запізнення і передатну функцію об'єкта керування:

$$\tau = 54.2 \text{ c};$$

Підставивши дані, була отримана така передаточна:

$$\Delta\theta_s = \frac{-1}{45,984p} * e^{-54.2p}. \quad (2.23)$$

Зображено перехідні процеси передаточної до апроксимації і після:

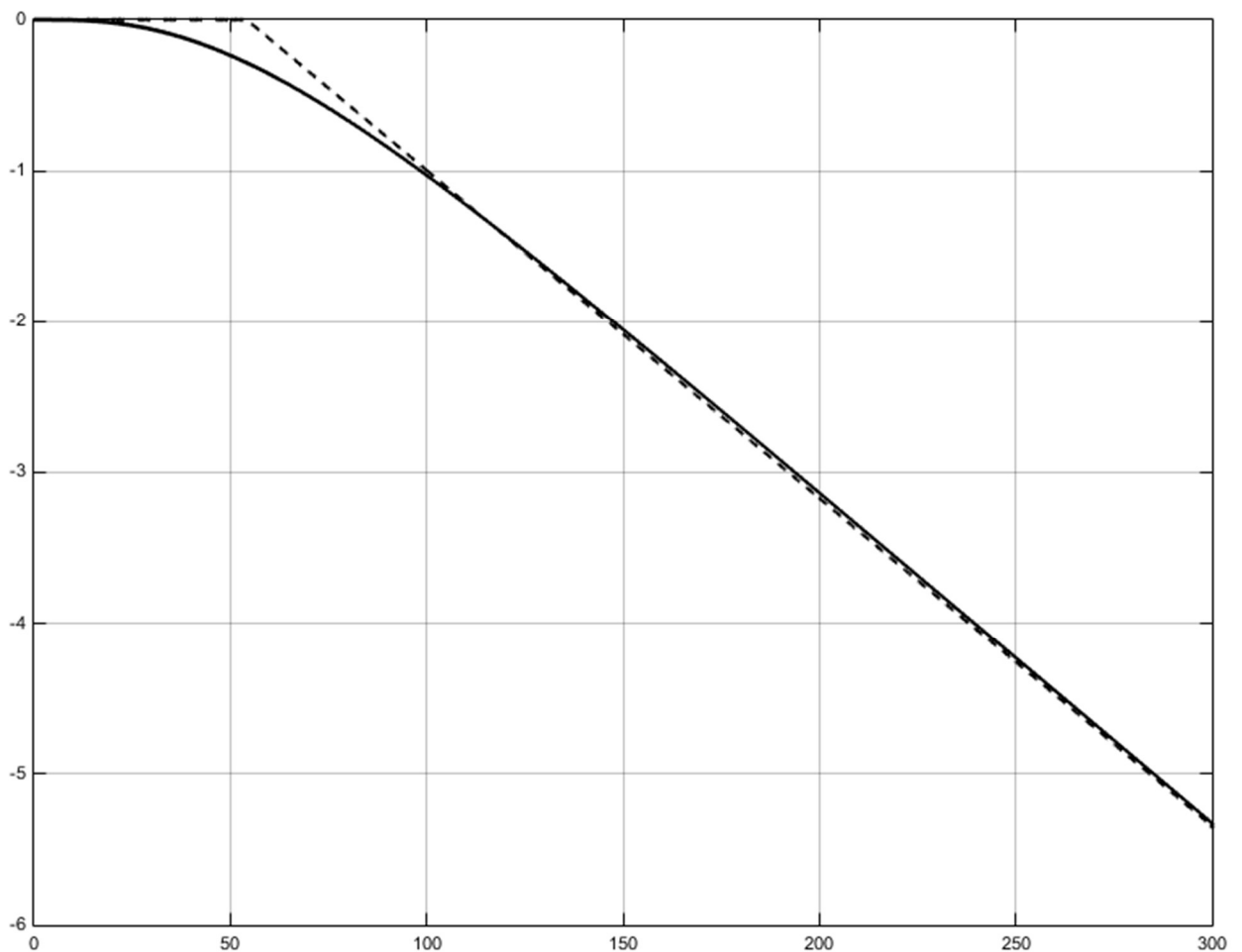


Рис. 2.9. Перехідні процеси апроксимованої моделі камери шокової заморозки і моделі до апроксимації (м'ясо)

Наведено інтегральний критерій якості для порівняльної оцінки зміни перехідного процесу об'єкту до апроксимації та після, розрахований для двох перехідних процесів.

До апроксимації: $I_{abs}^i = 662,5$;

Після апроксимації: $I_{abs} = 656,9$;

Щоб численно дослідити різницю між перехідними процесами, наведено відношення розрахованих інтегральних критеріїв:

$$\frac{I_{abs}^i - I_{abs}}{I_{abs}^i} = 0,0084.$$

Дослідивши результати апроксимацій, можна зробити висновок, що апроксимовані моделі мають достатнє наближення до початкової моделі динамічного режиму роботи камери швидкісної заморозки продуктів, для подальшого моделювання. Тому, отримані моделі можна використовувати при подальшому дослідженні об'єкту керування.

3. СТВОРЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

3.1. Структурна схема адаптивної камери шоккової заморозки як об'єкта керування

На основі розробленого об'єкту керування розглянутого у попередніх розділах, необхідно розробити якісну систему керування, яка буде враховувати усі необхідні параметри, нюанси та особливості підходу до автоматичної системи керування процесом швидкісного заморожування продуктів харчування. Для цього необхідно створити структурну схему, яка дасть змогу до налаштування системи керування. Структурна схема АСК представлена на рис. 3.1.

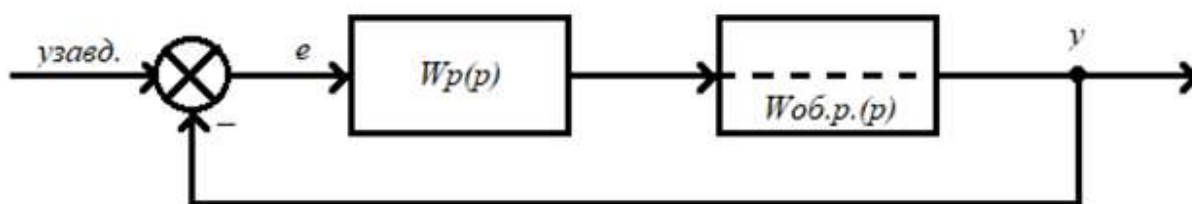


Рис. 3.1. Структурна схема АСК

Розглянемо одно-контурну АСР, що зображена на рис. 3.1. Структурна схема складається з регулятора $W_p(p)$, який приймає рішення по керуючій дії, об'єкту керування $W_{об.р.}(p)$, суматора. На схемі $узад.$ - це сигнал уставки, завдання, яке подається на перший вхід суматора зазначеного раніше, другий вхід суматора приймає в себе поточне значення, що є вихідним сигналом об'єкта керування y , на цьому етапі процесу керування отримується сигнал похибки регулювання e , яке подається на вхід регулятора, за яким регулятор розраховує значення керуючої дії в

даний момент часу; виходом блоку регулятора є сигнал керування u , який потрапляє на вхід до об'єкту керування.

Об'єктами керування є апроксимовані математичні моделі камери швидкісної заморозки продуктів, при різних продуктах (2.22) (2.23):

$$W_{об1.p.}(p) = \frac{-1}{63,15p} * e^{-54,2p} . \quad (3.1)$$

$$W_{об2.p.}(p) = \frac{-1}{45,984p} * e^{-54,2p} . \quad (3.2)$$

3.2. Дослідження періоду дискретизації системи

У цифрових системах регулювання необхідно переходити від аналогових сигналів до дискретних, при чому перехід між сигналами має бути коректним. Тому необхідно враховувати період дискретизації.

Час квантування для системи має бути менший за період дискретизації що може забезпечити обраний контролер.

Для обрахунку допустимого часу квантування я використав теорему Котельникова- Шенона, що пояснює поняття про зв'язок неперервного сигналу з дискретним.

3.2.1. Період дискретизації для об'єкту з яблуками в якості продукту заморозки

Будую амплітудо- частотну характеристику для камери швидкісної заморозки яблук, використовую передаточну після апроксимації, та визначаю частоту зрізу $\omega_{зр}$. АЧХ зображено на рис. 3.2.

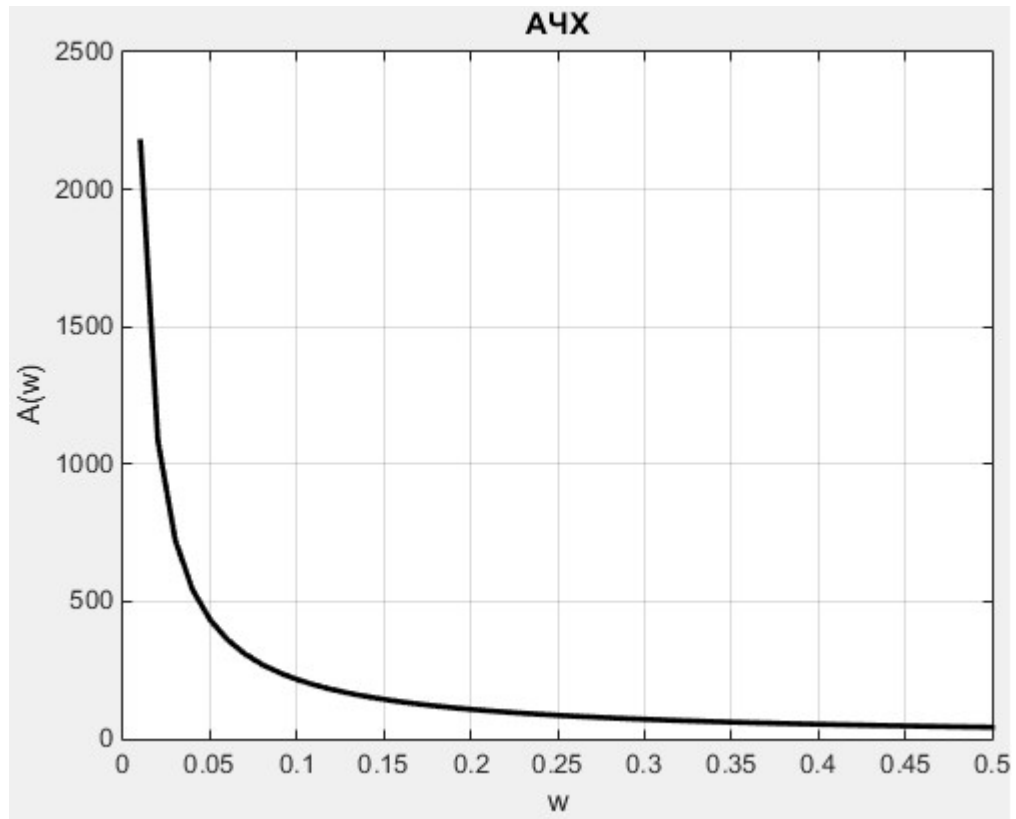


Рис. 3.2. АЧХ камери шокової заморозки яблук

Частота зрізу $\omega_{зр} = 0,4872$;

Період квантування для першого об'єкту розрахуємо за формулою:

$$T_{об} = \frac{\pi}{2\omega_{зр}} = 3,222 \text{ сек};$$

Виходячи з наведених розрахунків, АСК можна розраховувати за неперервними законами.

3.2.2. Період дискретизації для об'єкту з яблуками в якості продукту заморозки

Будую амплітудо- частотну характеристику для камери швидкісної заморозки свинини, використовую передаточну після апроксимації, та визначаю частоту зрізу $\omega_{зр}$. АЧХ зображено на рис. 3.3.

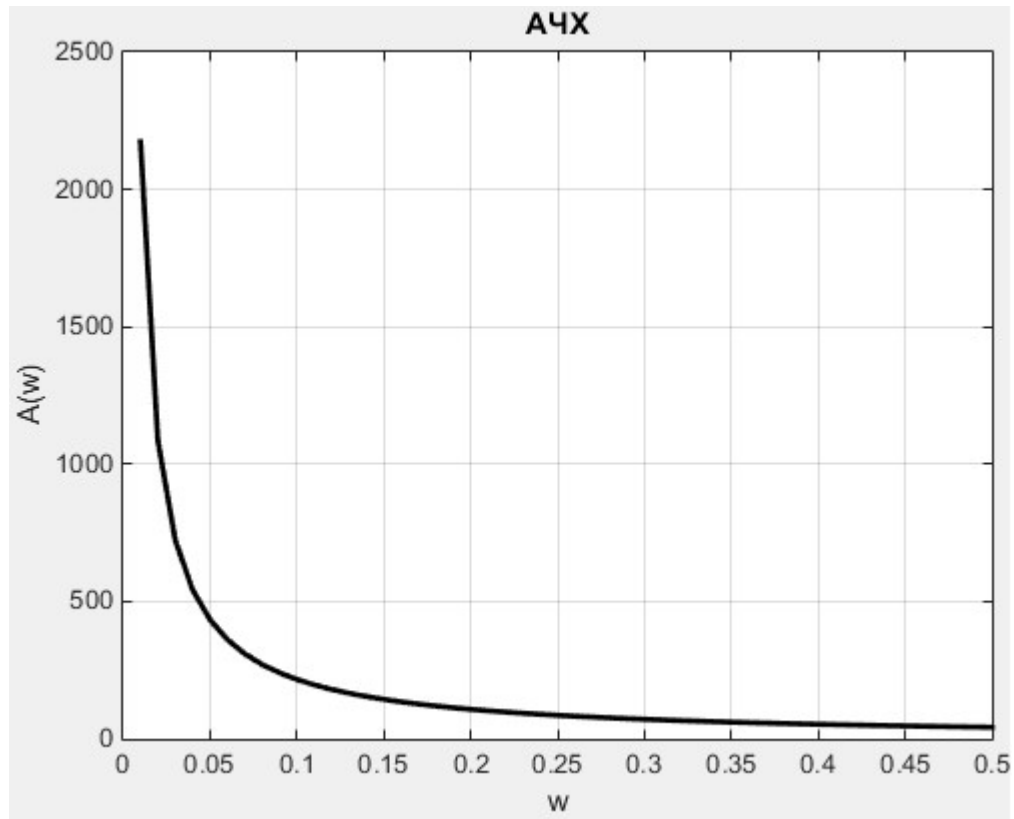


Рис. 3.3. АЧХ камери шоквої заморозки свинини

Частота зрізу $\omega_{zp} = 0,4874$;

Період квантування для другого об'єкту розрахуємо за формулою:

$$T_{об} = \frac{\pi}{2\omega_{zp}} = 3,221 \text{ сек};$$

Виходячи з наведених розрахунків, АСК можна розраховувати за неперервними законами.

3.3. Знаходження оптимальних параметрів системи керування

Відповідно до п. 3.1. , де показана розроблена структурна схема автоматизації камери швидкісної заморозки харчової продукції, розрахуємо параметри налаштування регулятора декількома методами для першої варіації об'єкту, де відбувається процес заморозки яблук, а далі використаємо кращий з двох методів для розрахунку оптимальних

параметрів регулятора для об'єкту де в якості об'єкта заморозки використовується м'ясо свинини.

3.3.1. Розрахунок параметрів регулятора для процесу заморозки яблук

У якості передаточної функції для першої варіації об'єкту керування використаємо апроксимовану модель камери шокової заморозки (3.1). Створена структурна схема зображена на рис. 3.4.

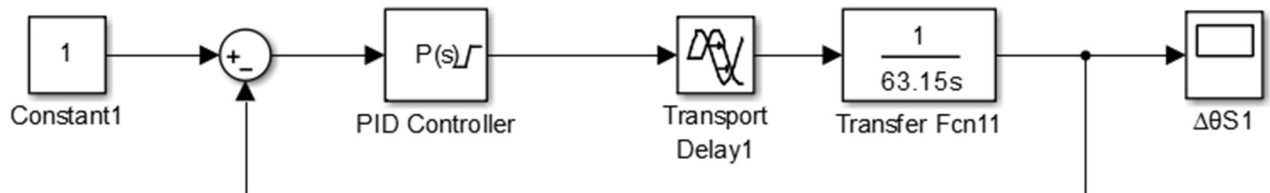


Рис. 3.4. Структурна схема автоматизації

1. Розрахунок параметрів регулятора в середовищі Matlab/Simulink.

Налаштування регулятора розраховані в середовищі Matlab/Simulink методом який пропонує середовище розробки. Цей метод дозволяє найкращим чином налаштувати регулятор системи керування на відпрацювання за каналом завдання вихід, що є основним завданням даної системи керування.

Розглянемо параметри блоку PID Controller (рис. 3.5.).

Function Block Parameters: PID Controller

PID Controller

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **P** Form: **Parallel**

Time domain:

☒ Continuous-time
☐ Discrete-time

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Proportional (P): [Compensator formula](#)

P

☒ Enable zero-crossing detection

Рис. 3.5. Параметри налаштування блоку PID Controller

Встановлено необхідний закон керування, у випадку даного об'єкту достатньо реалізувати П-закон регулювання. Далі в контекстному меню "Tune..." налаштовуємо коефіцієнт підсилення таким чином, щоб перехідний процес набув оптимального значення (рис 3.6).

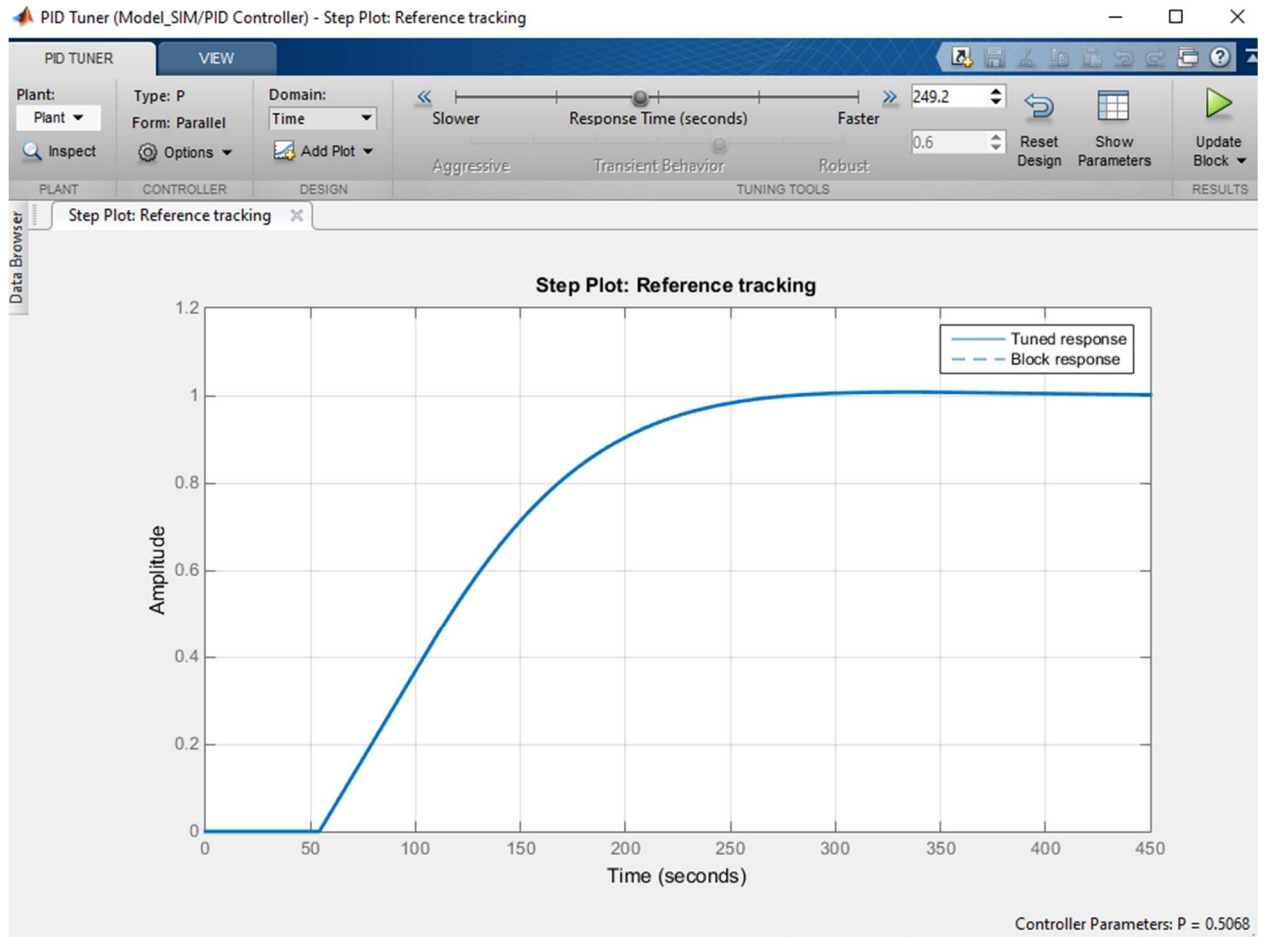


Рис. 3.6. Меню налаштування блоку ПІД регулятора

Дослідивши поведінку системи при різних коефіцієнтах підсилення, я знайшов оптимальний перехідний процес з точки зору швидкості перехідного процесу та результатів перерегулювання.

$$K_n = 0,5068 ;$$

На основі даних отриманих з дослідження оптимального значення параметра регулятора було побудовано перехідний процес системи.

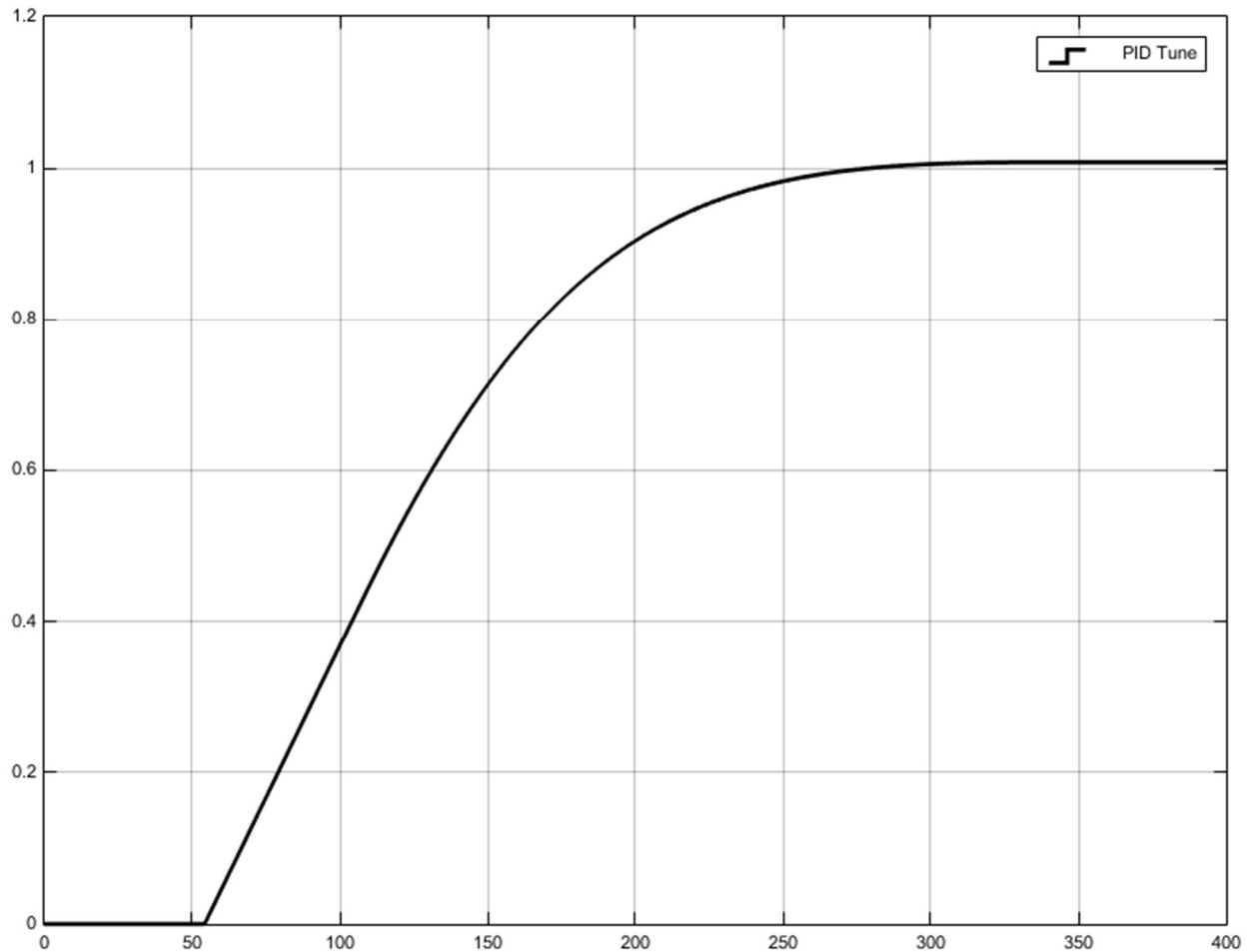


Рис. 3.7. Перехідний процес для заморозки яблук на 1°C за параметрами автоматичного розрахунку оптимального значення регулятора в середовищі Matlab/Simulink

2. Розрахунок параметрів регулятора інженерним методом.

Оскільки об'єкт керування- це об'єкт керування першого порядку із запізненням та має астатичну характеристику, мною був вибраний аперіодичний метод для розрахунку оптимального значення параметру регулятора. Метод включає в себе формулу (3.3), та виконаю підстановку значень:

$$K_p = \frac{0.4}{K_{об} * \tau_{об}} ; \quad (3.3)$$

$$K_p = \frac{0.4}{0,0158 * 54,2} = 0,46606 ;$$

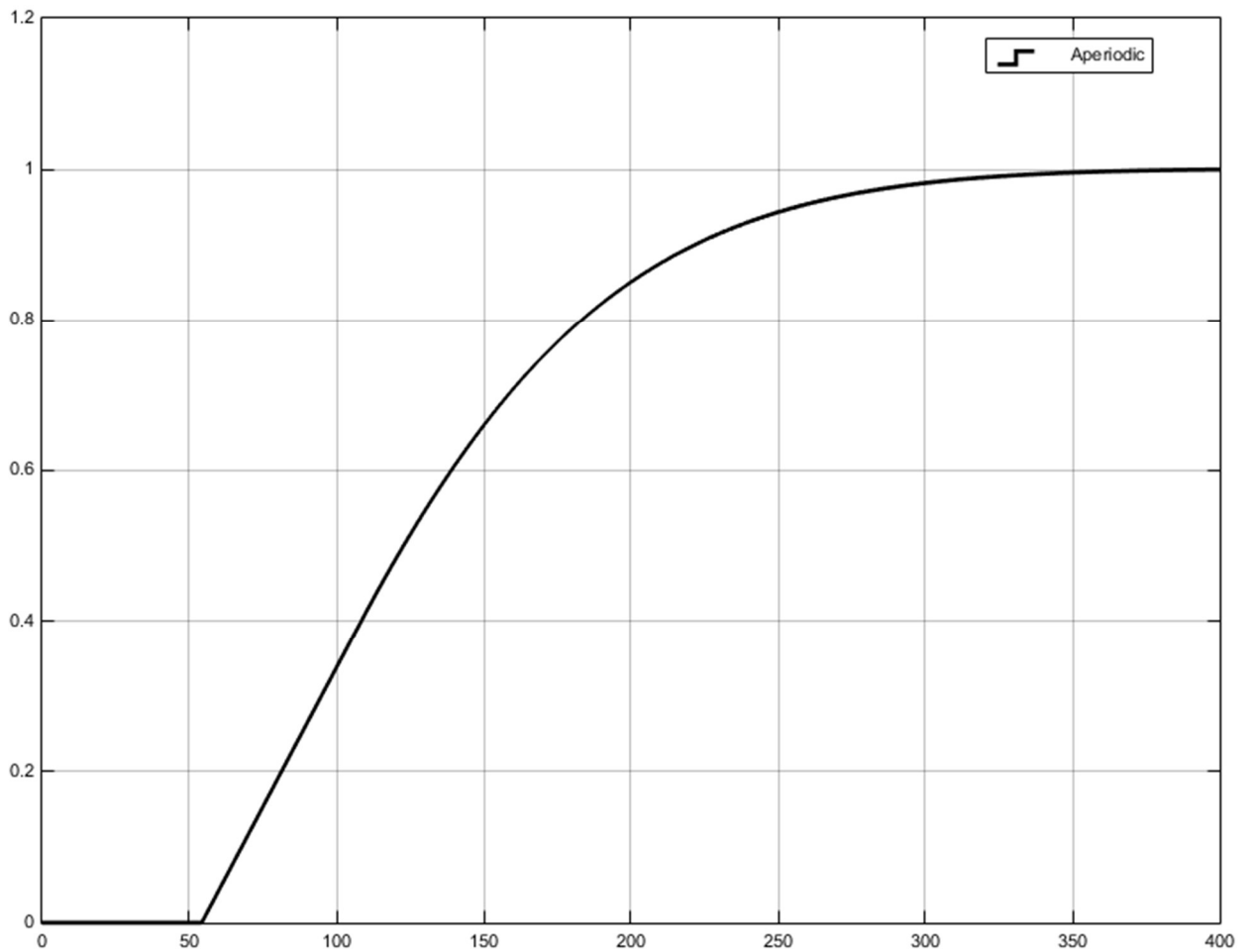


Рис. 3.8. Перехідний процес для заморозки яблук на 1°C за параметрами отриманими за інженерним аперіодичним методом

Складено порівняльну структуру в середовищі розробки, яка дала можливість порівняти перехідні процеси, які були отримані виходячи із двох методів розрахунку регулятора (рис. 3.9).

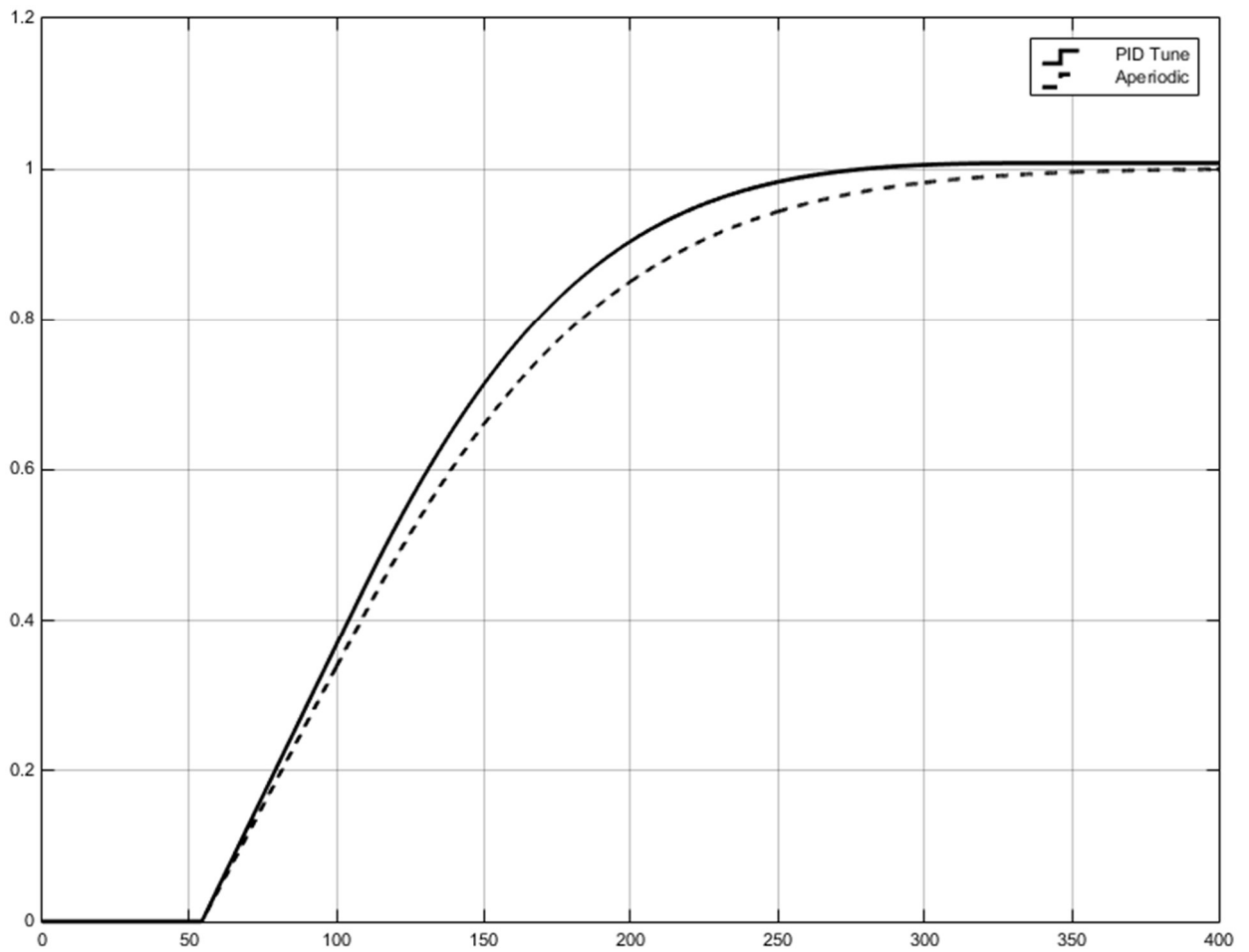


Рис. 3.9. Перехідні процеси з використанням різних методів розрахунку коефіцієнта підсилення П- регулятора

Наведемо порівняльну таблицю інтегральних показників якості (табл. 3.1):

Таблиця 3.1. Інтегральні показники якості та час перехідних процесів

 t_{nn} досліджуваних графіків

Критерій якості		Аперіодичний метод
$I_{лін}$		
$I_{лін}^{абс}$		
$I_{лін}^{кв}$		
$I_{лін}^{час}$		
$I_{лін}^{швид}$		
t_{nn} , сек		

Виходячи з отриманих перехідних процесів та показників якості, я зробив висновок, що регулятор, коефіцієнт підсилення якого розрахований за допомогою можливостей Matlab/Simulink є оптимальним, зважаючи на час перехідного процесу, оскільки визначним критерієм якісної заморозки є час за який продукт охолоджується до уставленої температури.

Тому регулятор керуючої дії, який застосовується в системі управління з об'єктом, який відповідає за процес заморозки м'яса свинини буде розрахований за допомогою автоматичного налаштування блоку PID Controller.

3.3.2. Розрахунок параметрів регулятора для процесу заморозки м'яса свинини

У якості передаточної функції для другої варіації об'єкту керування використаємо апроксимовану модель камери шокової заморозки (3.2). Створена структурна схема зображена на рис. 3.10.

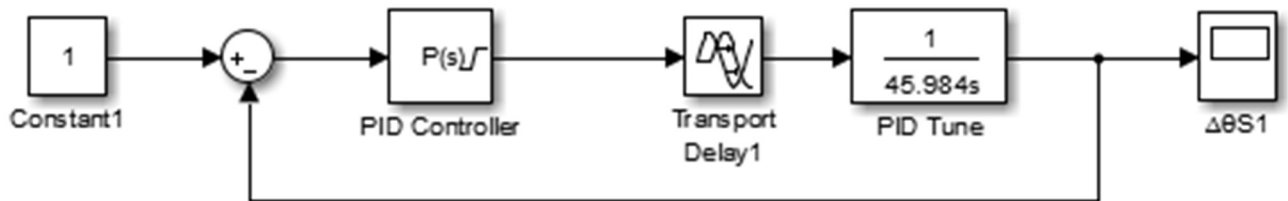


Рис. 3.10. Структурна схема автоматизації

Дослідивши поведінку системи при різних коефіцієнтах підсилення, я знайшов оптимальний перехідний процес з точки зору швидкості перехідного процесу та результатів перерегулювання.

$$K_n = 0,386 ;$$

На основі даних отриманих з дослідження оптимального значення параметра регулятора було побудовано перехідний процес системи.

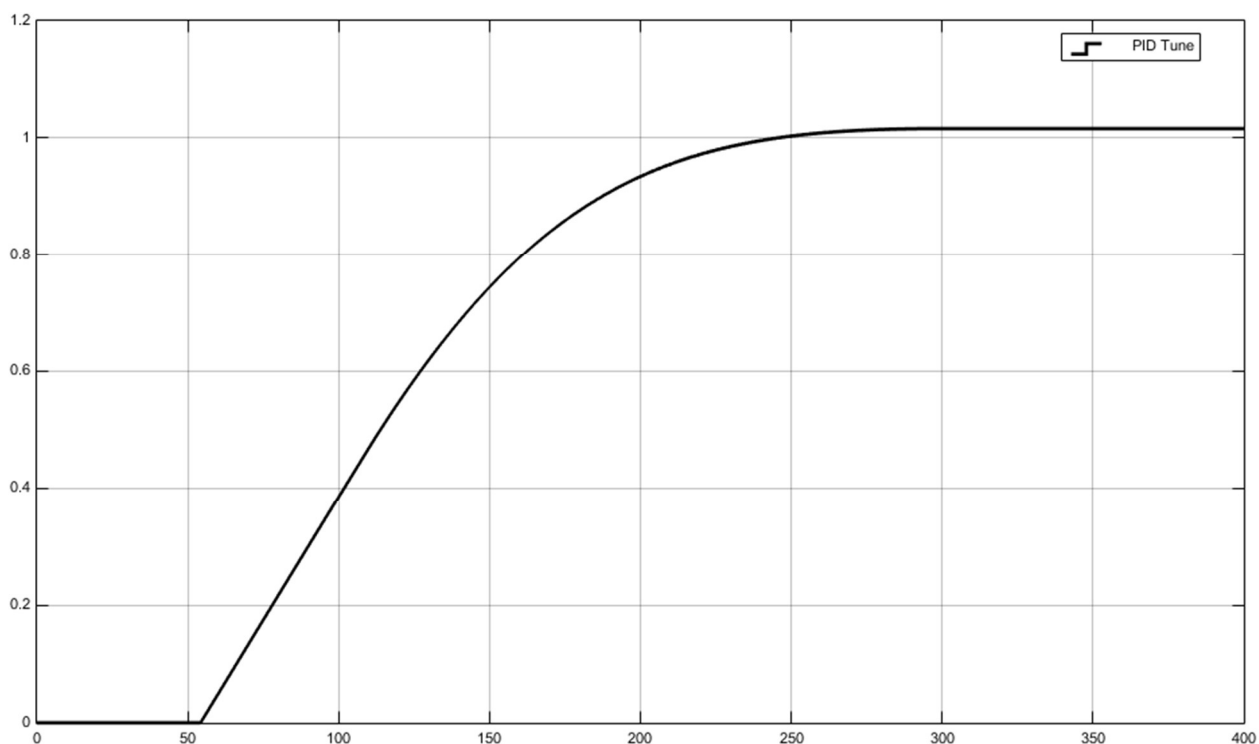


Рис. 3.11. Перехідний процес для заморозки свинини на 1°C за параметрами автоматичного розрахунку оптимального значення регулятора в середовищі Matlab/Simulink

Таблиця 3.2. Інтегральні показники якості та час перехідного процесу t_{nn} досліджуваного графіку

Критерій якості	
$I_{лін}$	
$I_{лін}^{abs}$	
$I_{лін}^{кв}$	
$I_{лін}^{час}$	
$I_{лін}^{швид}$	
t_{nn} , сек	

Аналіз отриманих результатів підтвердив правильність розрахунку математичної моделі, та правильності побудови схеми регулювання. Час перехідного процесу зміни температури м'яса свинини менший за час перехідного процесу, що позначає процес заморозки яблук. Це пояснюється тим, що теплоємність яблука більша, тому системі потрібно більше витратити енергії на зміну температури яблук, в порівнянні з м'ясом свинини, теплоємність якої має менше значення.

Спробуємо використати коефіцієнт підсилення розрахований для заморозки яблук в системі, що відповідає за процес заморозки м'яса свинини. Таким чином ми отримаємо відповідь на питання, чи потребує система керування адаптивності до продукту заморозки, чи одноразово розрахований коефіцієнт може виступати параметром регулятора при будь-якому продукті заморозки. Графік перехідного процесу щодо описаної процедури наведений на рис. 3.12.

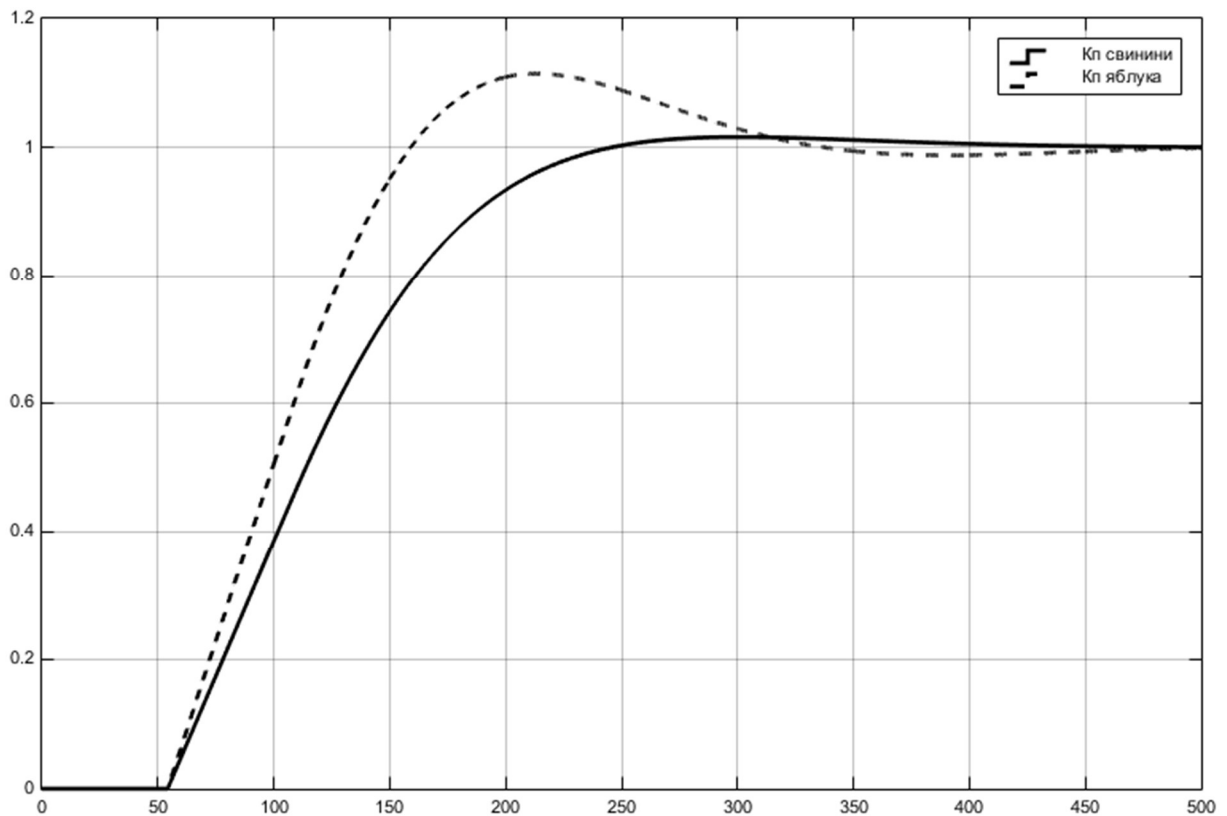


Рис. 3.12. Перехідний процес, при використанні коефіцієнту підсилення розрахованого для заморозки яблука, до об'єкту, з заморозкою м'яса свинини

Дослідивши отриманий перехідний процес, я зробив висновок, що при використанні коефіцієнту підсилення розрахованого для заморозки яблука, до об'єкту, з заморозкою м'яса свинини, результати роботи системи не відповідають поставленому завданню. Якщо дивитись на процес з точки зору технології заморозки - то охолодження продукту втратило точність відповідності кінцевої температури до вимог технологічного процесу. Якщо м'ясо потрібно охолоджувати до -18°C - то при даній організації системи керування результат швидкісної заморозки набуває непередбачуваних наслідків, що негативно впливає на якість кінцевої продукції і перевикористання ресурсів необхідних для процесу заморозки.

4. РОЗРОБЛЕНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ЩОДО АВТОМАТИЗАЦІЇ КАМЕРИ ШОВОКОЇ ЗАМОРОЗКИ

4.1. Опис технічних рішень до автоматизації камери швидкісної заморозки продуктів харчування

Об'єктом керування та в цілому автоматизації є камера швидкісної заморозки продуктів харчування, основною задачею камери є відносно швидке заморожування продуктів харчування, а також відповідність температури вихідної продукції до необхідної температури по технології заморожування. Функціональна схема якої зображена на рис. 4.1.

Створена мною концепція організації технологічного процесу камери шокової заморозки призвела до розробки функціональної схеми, яка має в загальному 6 контурів управління температурами, з них 3 контури забезпечують необхідну температуру повітря, яке виходить після охолоджувача, інші три приводять температуру підлоги всередині камери швидкісної заморозки до температури відморожування палетів від підлоги.

Розглянемо контур керування температурою припливного повітря до камери. Контур керування складається з наступних елементів розташованих одне за одним: охолоджувач (теплообмінний апарат), фільтр (грубої очистки), вентилятор (центробіжний, каналний). Охолоджувач- виступає теплообмінником, всередині якого зустрічаються 2 потоки: холодоносій (фреон) та повітря. Відбувається теплообмін між холодоагентом, і потоком повітря. Фільтр виконує роль очисника повітря, яке відпрацьоване, від дрібних шматків фруктів, льоду і тому подібних непередбачуваних елементів. Без фільтрації потрапляння таких частин до вентиляційної системи може вивести вентилятор із ладу, та зупинити роботу технологічного обладнання, що слугує причиною значних збитків компанії виробника заморожуваних продуктів. Повітря, яке пройшло вентсистемою і уже перепрацьоване, всмоктується назад до системи, фільтрується та наганяється на охолодження.

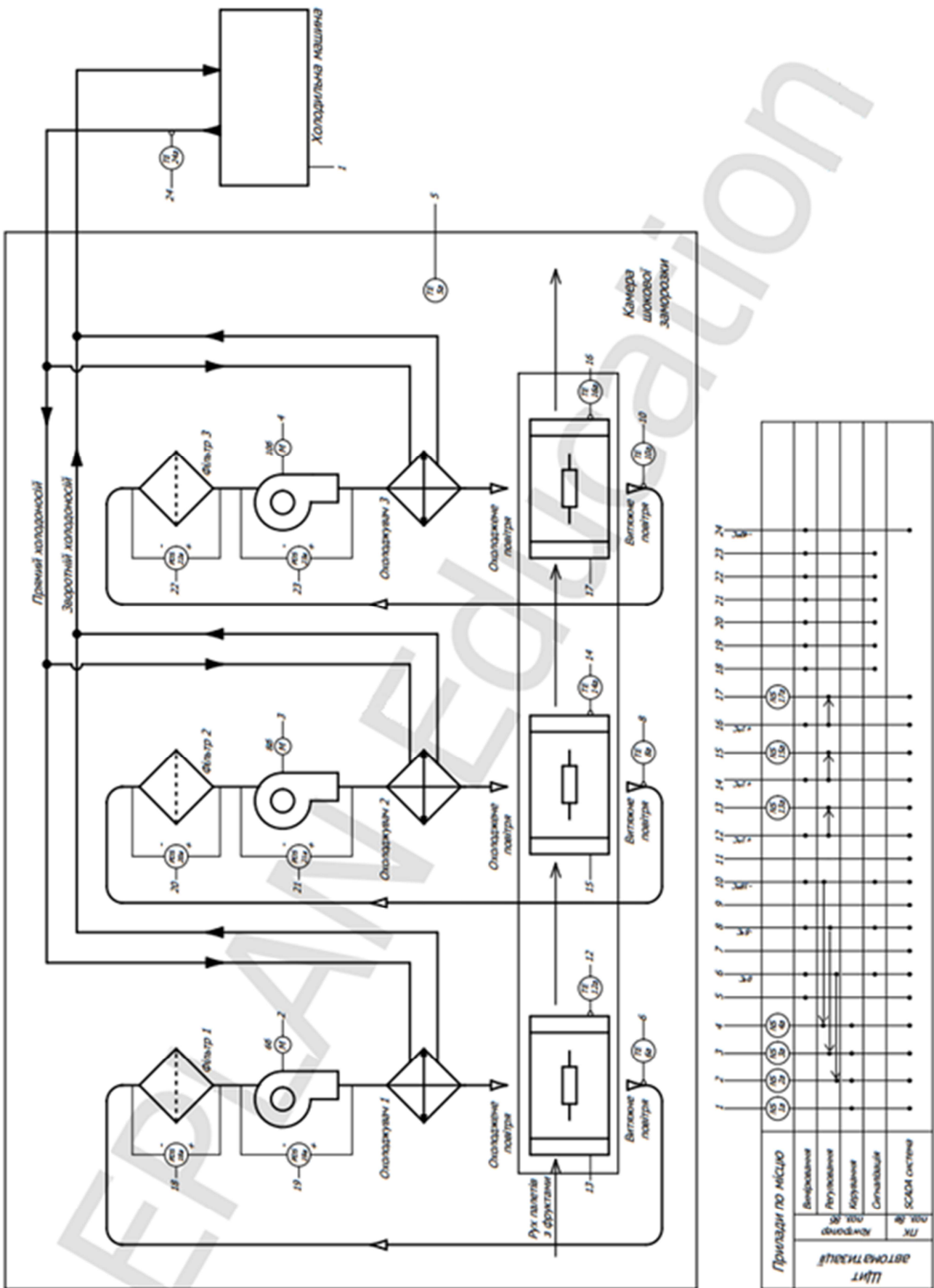


Рис. 4.1. Розроблена функціональна схема об'єкту керування

Керування температурою припливного повітря здійснюється непрямым чином, тобто за допомогою впливу на частотний привід (6б,8б,10б) двигуна нагнітаючого вентилятору. Оскільки ми не можемо керувати зміною витрати холодоносія, ми керуємо зміною витрати повітря, яке проходить через охолоджувач і переймає холод від холодоагенту. Температура холодоносія завжди незмінна -40°C , для точності технологічного процесу вона вимірюється датчиком температури (24а), оскільки, якщо в системі станеться витік фреону, тиск буде не достатнім для підтримки температури, і система керування дізнається про таку проблему, окрім сигналів аварії із самої холодильної машини. Постійна температури підтримується за допомогою окремого технологічного процесу який реалізується всередині контуру керування компресорно- конденсаторним блоком, що не є об'єктом дослідження даної магістерської дисертації. На роботу холодильної машини впливає магнітний пускач (1а), який дає сигнал на включення системи, і підтримку необхідних параметрів холодоносія. Для забезпечення якісного керування системою автоматизації, у витяжних каналах розташовані група датчиків температури (6а,8а,10а), саме за допомогою цих датчиків існує можливість непрямої оцінки поточної температури продуктів харчування. Оскільки вимірювання температури продуктів напряду є непотрібним ускладненням системи керування, тому що це ускладнення не надає великого приросту до точності керування.

При розробці подібних камер шокової заморозки проєктні організації часто не приділяють потрібної уваги проблемі, з якою зіштовхуються замовники на реальних об'єктах. Це проблема примерзання палетів з продуктами до поверхні підлоги в процесі роботи камери шокової заморозки. Таким чином подальше пересування продукту стає неможливим до повної зупинки и розморозки системи. Передбачаючи таку можливість і ймовірні збитки компанії, в поверхню підлоги, в шар бетону, вмонтована система кабельного обігріву, яка працює за релейною логікою, але рішення про включення приймає контролер. На систему подається живлення через

магнітні пускачі (13а,15а,17а). Прийняття рішення про роботу, тобто включення системи обігріву приймається на основі показів датчиків (12а,14а,16а), які також вмонтовані в поверхневий шар підлоги.

Для забезпечення можливості розробки даної системи автоматизації мною було підібрано технічне обладнання, розглянемо основні його елементи:

1. Контролер SE, M172P Blind 42 Вх/Вих, TM172PBG42RI (рис. 4.2), який виступає процесорним пристроєм для розрахунку керуючої дії та прийому сигналів від датчиків.



Рис. 4.2. Контролер SE M172P Blind

2. Панель оператора SE HMIDT351 + HMIG5U2 (рис. 4.3.), яка слугує пристроєм для відображення людино- машинного інтерфейсу, і в сумі з нею підібрано універсальний процесорний пристрій.



Рис. 4.3. Панель оператора SE HMIDT351

3. Датчики температуры SE з уніфікованим сигналом (4-20)мА, з номенклатурою моделі: STD400-60 -50/50 (рис. 4.4.).



Рис. 4.4. Датчики температуры STD400-60 -50/50

Привід асинхронного двигуна із частотним перетворювачем, виробництва компанії Danfoss: FC-051 (аналогове керування 0...10 В) (рис. 4.5.).



Рис. 4.5. Частотний перетворювач Danfoss FC-051

5. Гріючий мат Elektra MD, для відпрацювання ситуації примерзання палетів до рухливих поверхностей (рис. 4.6.).



Рис. 4.6. Гріючий мат Elektra MD

4.2. Створена програма адаптивного керування камерою шоквої заморозки на основі контролера SE Modicon M172

Для розробки програмного забезпечення системи автоматизації камери шоквої заморозки, для реалізації логіки роботи технологічного процесу я обрав контролер від компанії Schneider Electric Modicon M172. Контролер створений для розробки систем автоматизації для систем опалення, гарячого водопостачання, реалізації систем кондиціонування та вентиляції. Контролер широкоживаний в промисловості, оскільки має необхідний і достатній функціонал, програмну підтримку, яка постійно оновлюється, зручну модульну архітектуру організації розширення кількості входів – виходів контролера, декілька виходів RS485 та Ethernet, що робить безпроблемним вивід контролера та в цілому системи автоматизації на верхній рівень. Можливості контролера повністю покривають потреби поставленого завдання. Контролер кріпиться на Din-рейку, що є невід’ємним атрибутом зручності його розташування в середині щита автоматизації. А зовнішній вигляд контролера дозволяє по волі замовника виносити контролер на лицьову панель щита.

Сайт SE одразу пропонує завантажити середовище програмування, на яке розрахований контролер, тут використовується: Schneider Electric EcoStruxure™ Machine Expert – HVAC. Середовище програмування має інтуїтивний дизайн, що не стане проблемою для новачка, а якщо вивести можливості програмування на професійний рівень – то відкриваються можливості з якими програміст зможе зручно, швидко і якісно розробляти ПО для систем автоматизації. ПО є достатнє для якісної побудови процесу роботи технологічного обладнання камери швидкісної заморозки продуктів.

Для виконання даного пункту магістерської дисертації, а, тобто, розробки програмного забезпечення для АСУ, я обрав найважливіший, головний контур керування для даної системи. Головним контуром автоматизації є контур керування температурою вхідного повітря, що є непрямим показником температури продукту заморозки, вплив відбувається за допомогою зміни витрати повітря, що проходить через охолоджувач.

Можливий варіант керування описаним вище контуром розглянуто у цьому пункті. Для реалізації ПО я використав 2 промислові мови програмування: Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST)-графічна мова програмування, та мова, що використовує програмний код для організації роботи, відповідно.

Результатом роботи став розроблений блок управління потужністю вентилятора, що зображений на рис. 4.7.

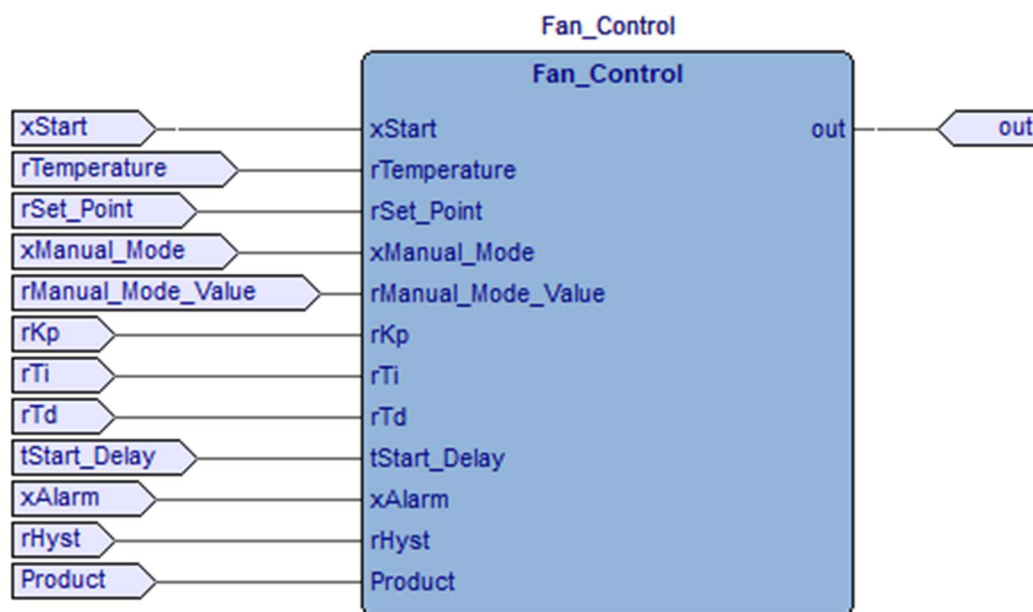


Рис. 4.7. Функціональний блок контуру керування потужністю вентилятора

Блок виконує функцію керування частотним перетворювачем, що видає керуючу дію на асинхронний двигун вентилятора припливного повітря в системі охолодження. Блок на виході задає відсоток роботи вентилятора, яке необхідне і достатнє для того щоб вихідна температура відповідала поставленому завданню, відповідно до конкретного етапу заморозки. Яких в системі 3. Повітря охолоджується холодоносієм, за допомогою теплообмінного апарату.

Мнемо-код блоку Fan_Control зображений на рис. 4.2.

На вхід до блоку Fan_Control приходять такі змінні: xStart- сигнал на початок роботи ПІД регулятора, що видає положення заслінки, rSet_Point- поточна уставка температури, rTemperature- поточна температура продуктів, сигнал потрапляє з датчика температури на вході повітропроводу відпрацьованого повітря, xManual_Mode- сигнал на переключення системи до ручного режиму управління, tStart_Delay- затримка на включення ПІД регулятора, для коректної послідовності включення приладів автоматизації.

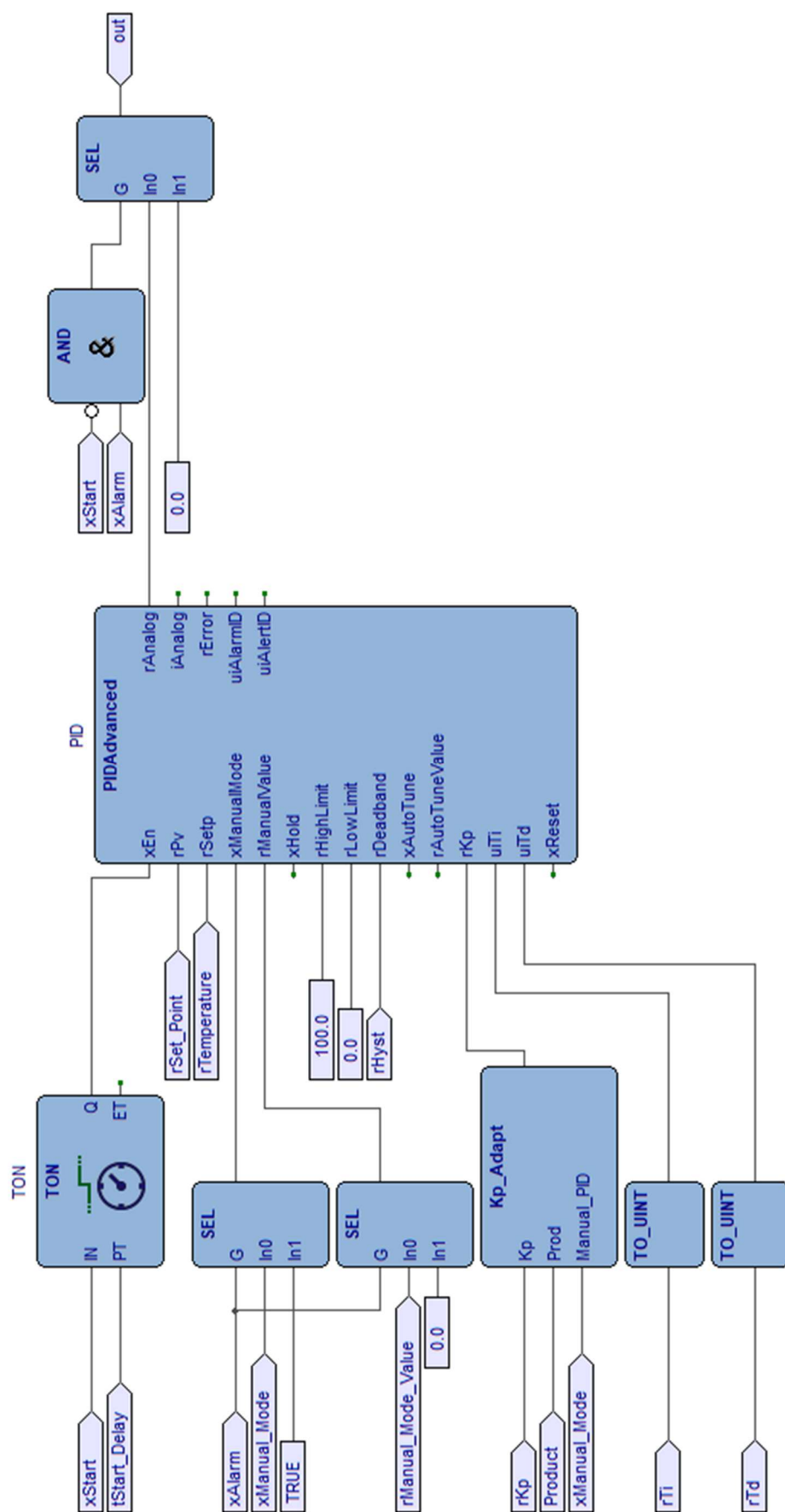


Рис. 4.8. Зміст блоку Fan_Control

Змінні rKp , rTi , rTd – параметри налаштування ПД регулятора, $xAlarm$ - сигнал сповіщення про аварію або тривогу, $rHyst$ - змінна, якою задається зона гістерезису, змінна $Product$ - позначає який продукт в даний момент поступає на заморозку.

Розглянемо основні, по важливості реалізації, частини програмного забезпечення:

Розуміючи організацію роботи технологічного обладнання, була реалізована затримка в часі на включення ПД- регулятора, а в моєму випадку П- регулятора. Виконання частини коду показано на рис. 4.9.

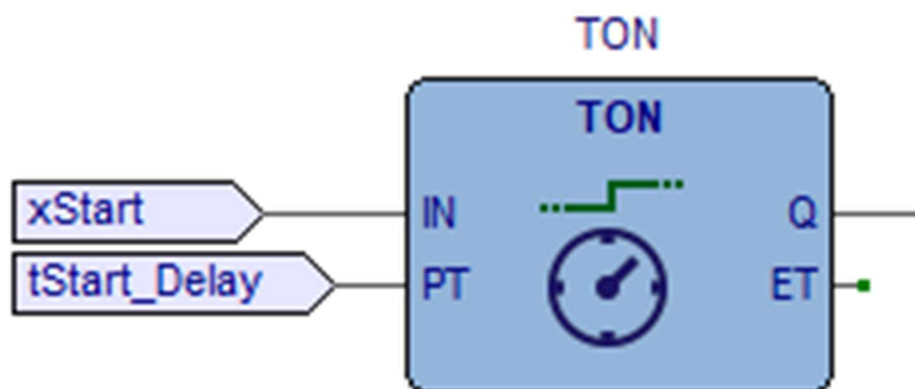


Рис. 4.9. Реалізація затримки в часі на включення П- регулятора

Далі описана частина програми, яка зображена на рисунку 4.10. Відпрацьовано вплив аварії роботи системи на роботу регулятора. Це може бути і неможливість підтримки необхідного значення температури холодоагенту, і недостатній перепад тиску на вентиляторі, або завищений перепад тиску на фільтрі (не критична аварія, але має бути оброблена). Аварія впливає на можливість запуску системи у ручному режимі, і вводу даних у ньому. Якщо система переходить в аварійний стан- то для такого випадку реалізований перехід системи до ручного режиму роботи.

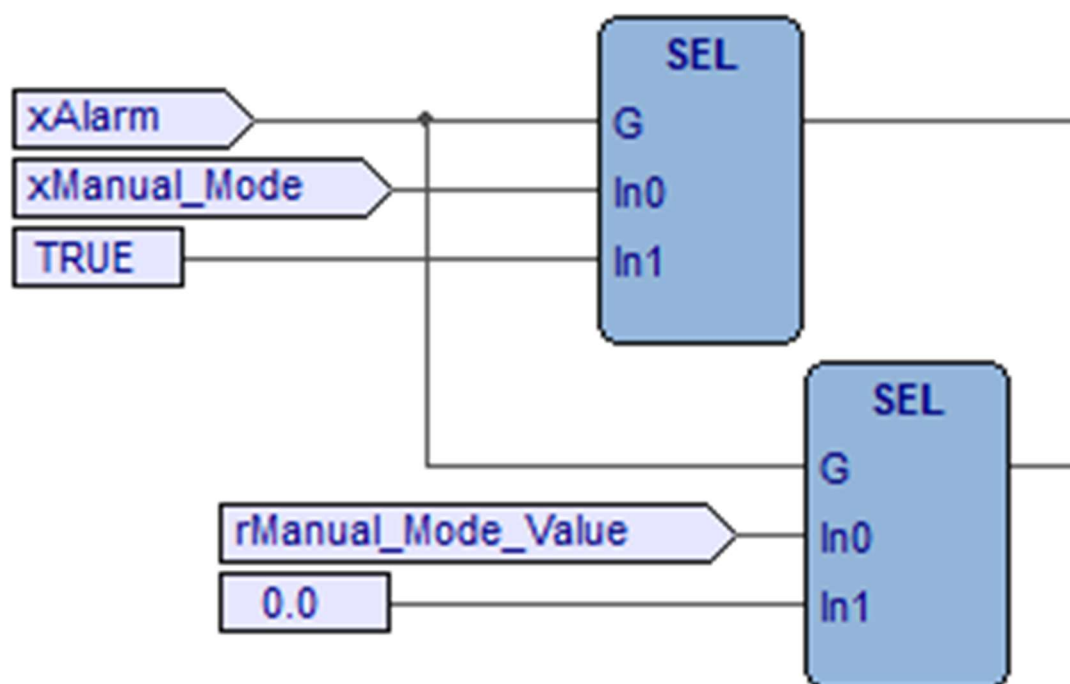


Рис. 4.10. Включення ручного режиму

Одна із особливостей роботи ПІД регулятора, яку необхідно розглянути, це те, що він зберігає останнє розраховане значення свого виходу. І стає дуже важливим обробити цей момент. У розробленому мною ПО, якщо при вимкненій системі станеться аварія, вихідне значення регулятора системи автоматично встановлюється на нульове положення. Частина програми, що реалізує цю логіку зображена на рисунку 4.11. Якщо аварії немає- то регулятор просто передає розраховане значення.

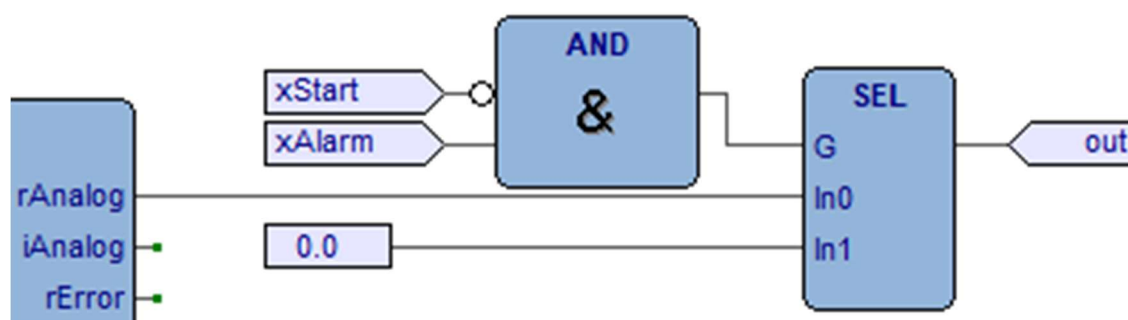


Рис. 4.11. Контроль вихідного значення регулятора

На рис. 4.12. розглянуто реалізацію роботи блоку адаптивного керування, система, що має декілька об'єктів керування, має потребу в перерахунку керуючої дії, що доказано в розділі 3. Таким чином блок Kp_Adapt вибирає значення Kp в залежності від значення, яке передано в змінну Product із системи верхнього рівня.

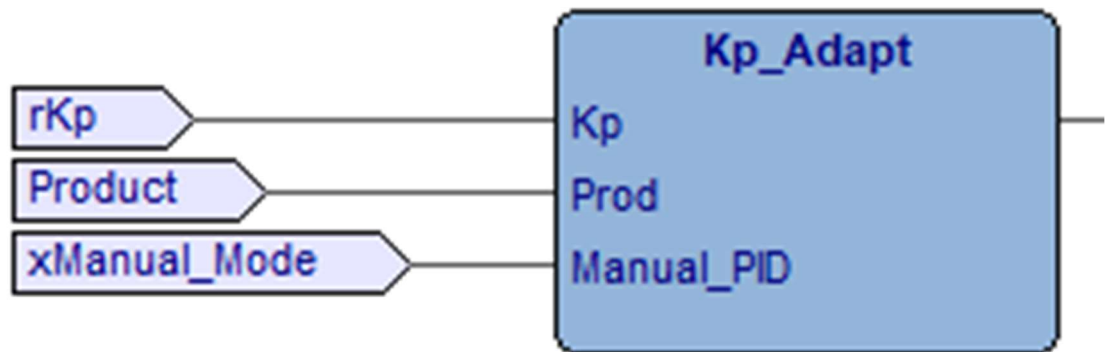


Рис. 4.12. Блок алгоритму адаптації роботи камери шокової заморозки до відповідного продукту

Код блоку Kp_Adapt:

```

IF Manual_PID THEN
    Kp_Adapt := Kp;
ELSE
    CASE Prod OF
        1: Kp_Adapt = 0.5068; // Apples
        2: Kp_Adapt = 0.386;  // Meat
    ELSE
        Kp_Adapt = 0.4;
    END_CASE;
END_IF;
  
```

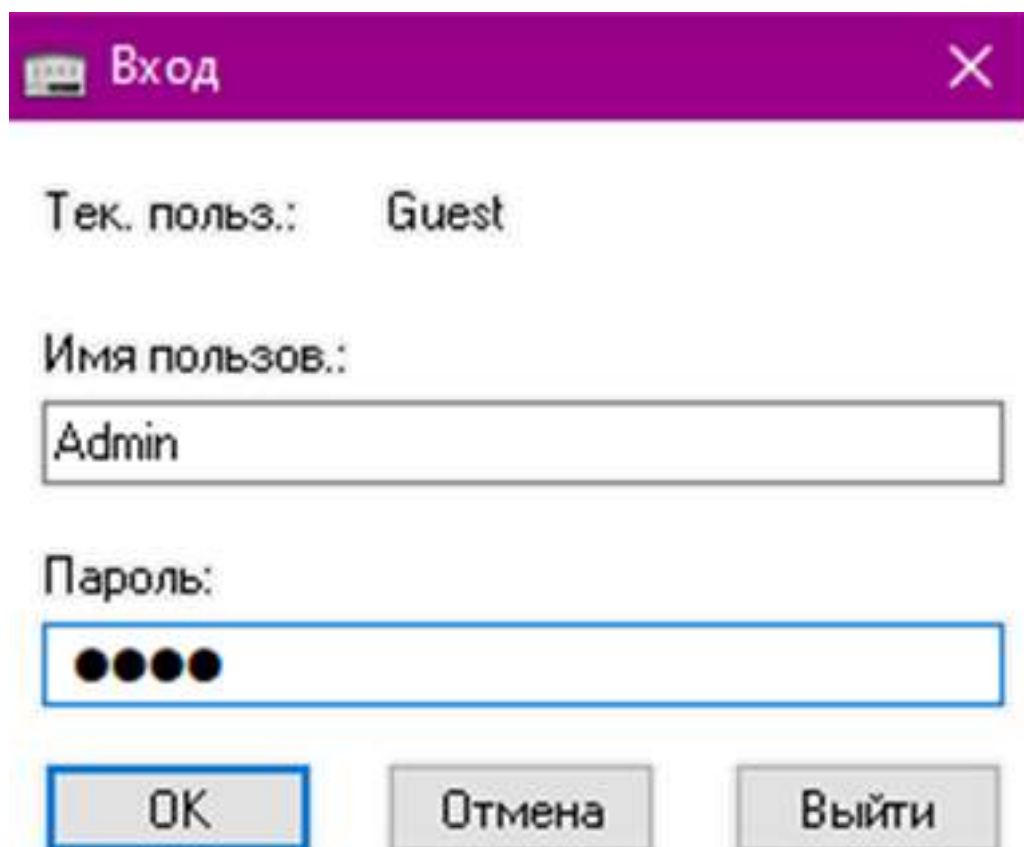
4.3. Розроблена SCADA- система для моніторингу і взаємодії з камерою шоквої заморозки продуктів

Розробка системи візуалізації та керування технологічними процесами, що називається диспетчеризацією, є потужним доповненням до автоматичної системи керування, та з часом стала невід'ємною частиною великих об'єктів керування. Оскільки це значно спрощує збір даних з агрегатів систем, і слугує інструментом легкої зміни завдання на відпрацювання, наприклад. У даному випадку розроблена система диспетчеризації у комплексі автоматизації камери швидкісної заморозки продуктів харчування. Керуючись моїм вибором технічного обладнання для автоматизації, а саме контролер та панель оператора від компанії Schneider Electric, при виборі Scada- системи я вирішив використовувати систему диспетчеризації виробництва компанії Schneider Electric, щоб не відступати від логічної організації людино- машинного інтерфейсу. У якості програмного забезпечення для контролеру сайт Schneider Electric пропонує Schneider Electric EcoStruxure Machine SCADA Expert 2020 SP1.

Далі розглянуто результати виконання роботи над Scada- системою камери шоквої заморозки.

При новому заході в систему користувач здобуває статус гостя, йому не доступний пункт керування ручним режимом, але доступне спостереження за зміною технологічних параметрів, статус роботи обладнання, або зміною відпрацювання регулятора над відсотком потужності вентилятору системи охолодження.

Якщо людина має достатню кваліфікації і документально підтверджену довіру від замовника, або власника об'єкту, тобто йому відомі логін і пароль адміністратора системи – то після вводу значень, стаються доступні дії в ручному режимі. Користувач здобуває статус Admin (далі «Адмін»). Відповідне вікно вводу даних показано на рис. 4.5.



Вход

Тек. польз.: Guest

Имя пользов.:
Admin

Пароль:
●●●●

OK Отмена Выйти

Рис. 4.5. Вікно авторизації користувача

Користувач зі статусом Адмін, матиме можливості зображені на рис. 4.6. І відкриється початкове меню.



Рис. 4.6. Початкове меню програми

У початковому меню Адмін може перейти до: вікна керування ручним режимом, мнемо- схеми, до вікна аварій та тривоги, також до вікна трендів.

Розроблене вікно що стосується мнемо- схеми відображено на рисунку 4.7. У можливості вікна мнемо- схеми, для адміністратора системи, входить, перш за все, можливість дозволу на подачу живлення до системи, таким чином, живлення усіх приладів, за рахунок яких реалізована автоматизація камери об'єкту керування.

Варто зазначити, що тут зображені всі датчики, а також покази їхніх вимірювань, також відсоток роботи двигуна вентилятору від максимальної потужності чи стан пристроїв автоматизації, завдяки яким відбувається керування об'єктом.

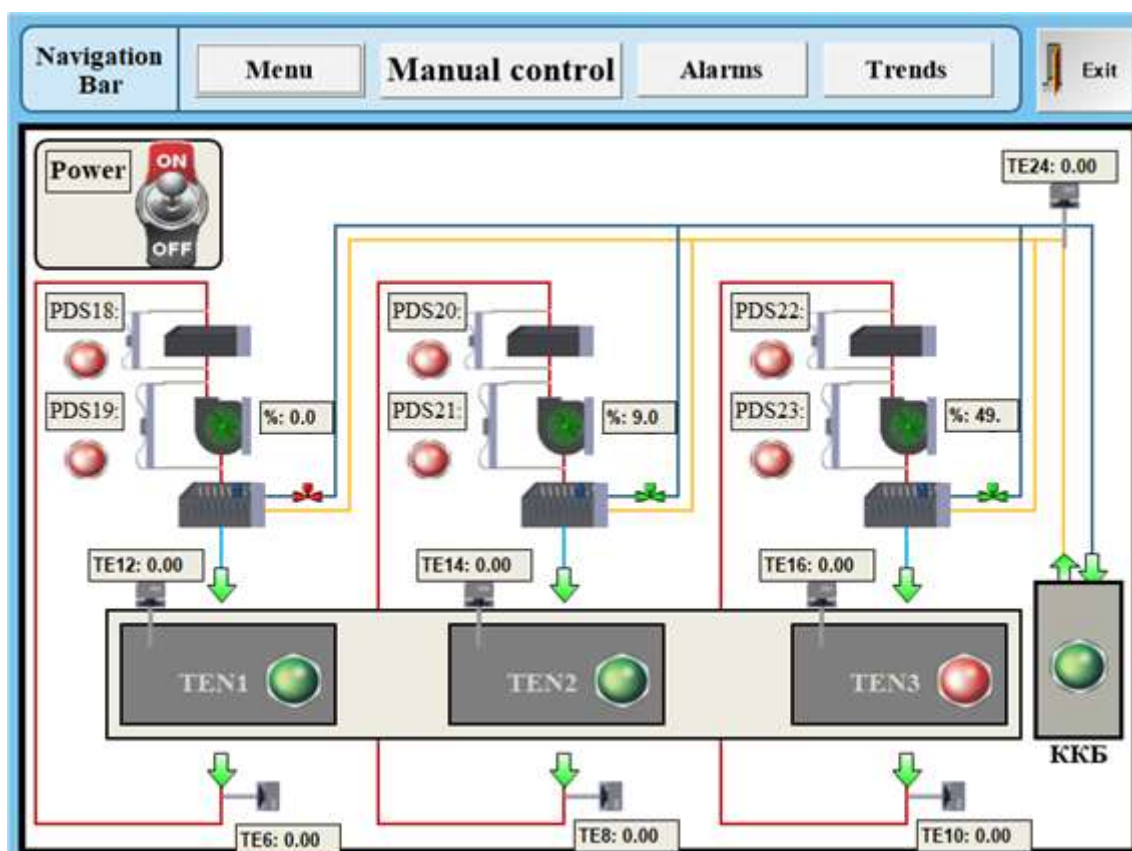


Рис. 4.7. Вікно мнemo-схеми

У верхній частині вікон, розташовані меню навігації, з яких можна перейти до інших можливостей системи диспетчеризації.

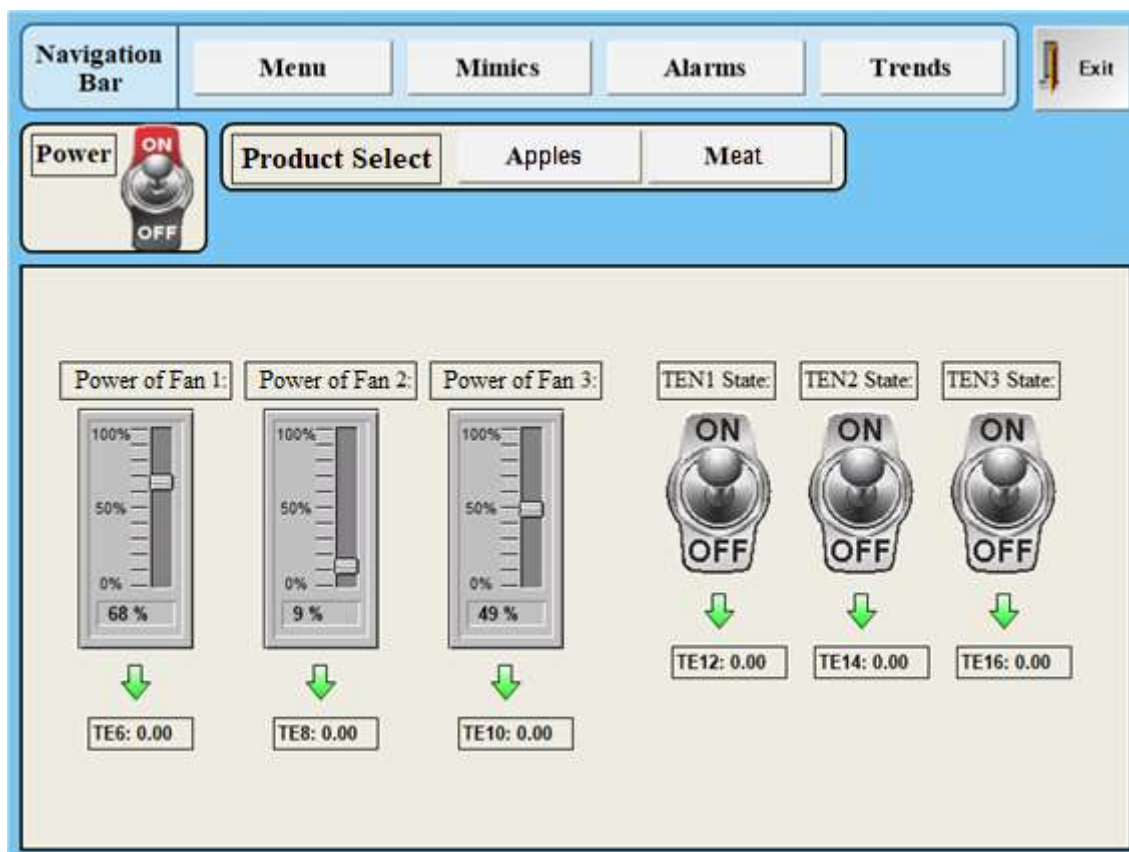


Рис. 4.8. Вікно ручного керування

За допомогою вікна ручного керування системою (рис. 4.8.), користувач зі статусом «Адмін» може впливати на положення повзунка, що задає відсоток потужності роботи вентиляторів припливного повітря. Сам відсоток, у свою чергу керує витратою повітря. Також є можливість ввімкнення і вимкнення системи, вмикати і вимикати підігрів підлоги для кожної зони, не залежно від автоматичного розрахунку.

Важливою частиною системи візуалізації є вибір продукту замороження, це значення передається в програму ПЛК і відбувається відпрацювання блоку адаптації процесу регулюючої дії до впливу на температуру припливного повітря, та безпосередньо на об'єкт заморозки.

Рисунок 4.9. зображає вікно аварій і тривоги, які можуть прослідковуватися, як у реальному часі, так і у вигляді таблиці архіву.

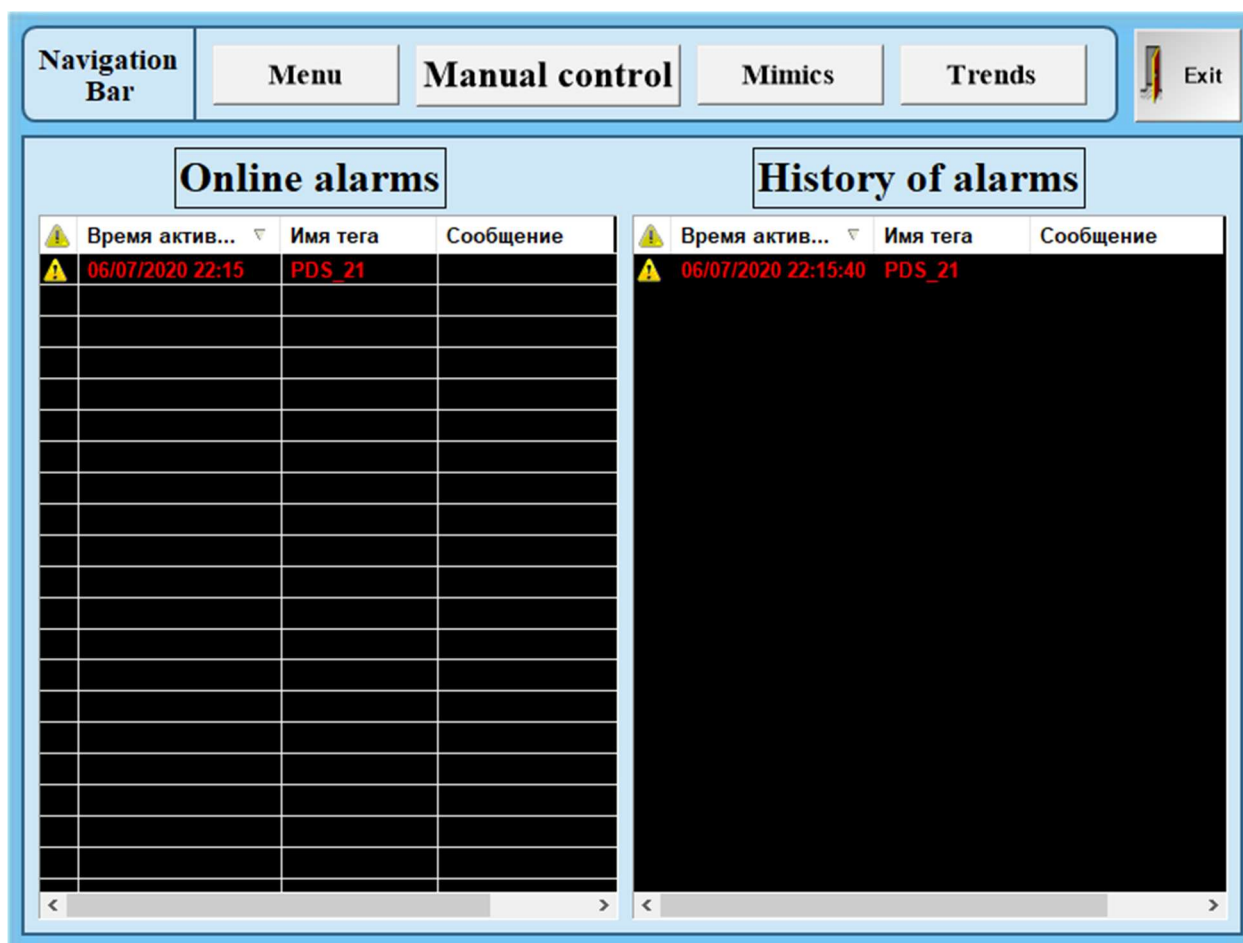


Рис. 4.9. Вікно аварій і тривоги

У розробленому людино- машинному інтерфейсі передбачено вікно трендів, на рисунку 4.10. Це по суті своїй графіки зміни параметрів, зміни кривих, що зображуються у реальному часі, які відображають процеси роботи обладнання та вплив на температури, що мають безпосереднє відношення до процесу автоматизації.

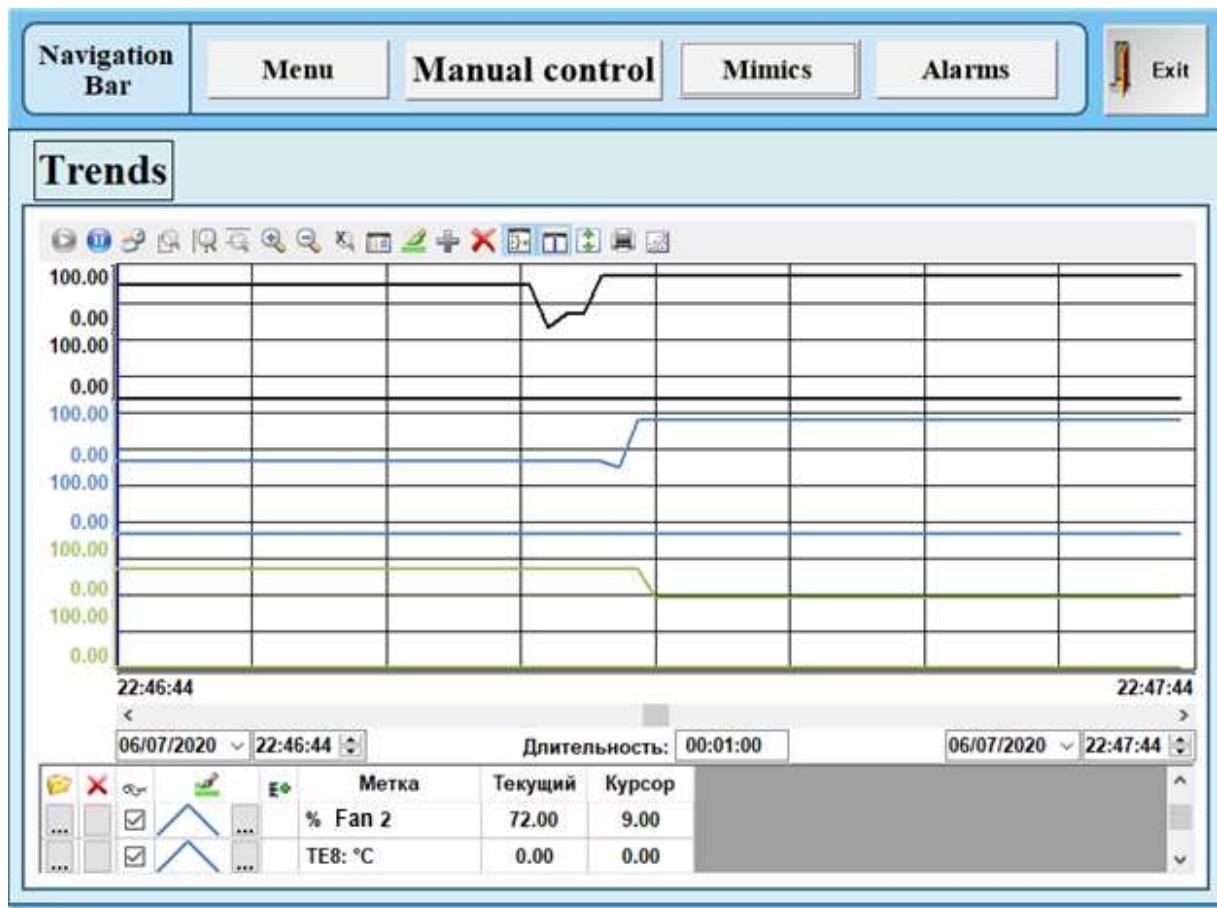


Рис. 4.10. Вікно трендів

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КАМЕРОЮ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Розробка стартап-проєкту була виконана посилаючись на методичні рекомендації, що описані за посиланням [15].

5.1. Опис ідеї розробки стартап-проєкту

Стартапом можна назвати проєкт, що тільки запускається. Він повинен просувати інноваційну ідею або містити вдосконалену модель старої. Завдяки такій особливості, багато стартап-проєктів можуть змагатися з великими компаніями, які діють за напрацьованою схемою і не вводять інновації. Важлива відмінність стартапу від простої бізнес ідеї це цінність та затребуваність бізнес-ідеї. Будь-який бізнес-план містить ідею. Питання в тому, чи цікава цільова аудиторія. Так ось, ідея в основі стартапу має бути цінною та перспективною. Тому стандартні ідеї для бізнесу, яких повно в Інтернеті у відкритому доступі, явно не підходять для стартапу.

Зміст розробленої ідеї її застосування та основні джерела прибутку, що отримає користувач від застосування наведено у таблиці 5.1.

Табл. 5.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розроблення адаптивної системи керування камерою шоккової заморозки продуктів харчування	Створення системи автоматизації та повноцінна заміна вже існуючим системам автоматизації	Отримання системи автоматизації з сучасним обладнанням
	Часткове оновлення системи автоматизації, що включає як засоби автоматизації, так і	Заміна застарілих засобів автоматизації на більш сучасні, розробка системи моніторингу

Продовження таблиці 5.1.

	систему людино-машинного інтерфейсу	розробка системи моніторингу
	Часткове оновлення системи автоматизації, що включає лише систему моніторингу	Розроблення системи НМІ для віддаленого керування установками

Мною був проведений аналіз потенційних переваг розробленої ідеї у порівнянні з існуючими ідеями конкурентів, результати у таблиці 5.2.

Табл. 5.2. Визначення слабких, нейтральних та сильних характеристик ідеї

Техніко-економічні характеристики ідеї	Концепції конкурентів			W (слабк а сторон а)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильн а сторон а)
	Мій проєкт	Mincold	FastCold			
Віддалене керування системою	Наявне	Наявне	Наявне			+
Надійність обладнання	Обладнання з високим ступенем надійності	Обладнання з середнім ступенем надійності	Обладнання з середнім ступенем надійності			+
Ціна	Середня ціна	Ціна вище середньої	Ціна вище середньої	—		

5.2. Технологічний аудит проєкту

Визначення технологічної здійсненності ідеї розробленого проєкту. Результати приведено у таблиці 5.3.

Табл. 5.3 Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології і реалізація	Наявність технологій	Доступність технологій
Автоматичне керування системою вентиляції	Програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики температури, тиску, витрати	Технологія наявна	Технологія знаходяться у широкому доступі
Система моніторингу роботи вентиляції	SCADA-система	Технологія наявна	Технологія знаходяться у широкому доступі
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: для реалізації автоматичного керування застосовуватимуться програмовані логічні контролери (ПЛК) та датчики. Для реалізації системи моніторингу використовуватиметься SCADA-система.			

Досліджуючи результати складеної таблиці, мною зроблений висновок, що ідея проєкту є технологічно здійсненною.

5.3. Аналіз можливостей стартап-проєкту

Були досліджені ринкові можливості галузі, які можливі до використання в процесі впровадження проєкту, також досліджені ринкові загрози, що можуть стати чинниками до перешкоди реалізації проєкту. Дані занесено до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців, од	4
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Відсутні
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	40%

З даних, що наведені в таблиці зроблено висновок, що галузь є привабливою для входження, за попередньою оцінкою, оскільки кількість гравців, що складають конкуренцію мала, динаміка ринку має зростаючу тенденцію, а середня рентабельність перевищує банківський відсоток на вкладення.

Визначення потенційних груп клієнтів та формування вимог до проєкту наведені у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Наявність диспетчеризації системи	Склади, які потребують якісну систему вентиляції	Різні вимоги до надійності, вартості	Необхідність доступної інформації про поточний стан системи охолодження у віддаленому форматі

Досліджено фактори, які можуть перешкоджати ринковому впровадженню проєкту, та позитивні фактори, які сприяють. Дані наведені у таблиці 5.6 та 5.7, відповідно.

Таблиця 5.6. Фактори загрози

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Нерозуміння клієнтами важливості віддаленого керування	Клієнти можуть не розуміти важливості впровадження віддаленого керування для систем автоматичного керування	Доносити важливість до клієнтів

Таблиця 5.7. Фактори можливостей впровадження

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Надійність системи	Система автоматичного керування створена з використанням засобів контролю, керування та безпеки з високим ступенем надійності	Пропонувати впровадження даного проєкту з високими вимогами до надійності

Проведено аналіз пропозицій, щоб визначити загальну характеристику конкуренції галузі. Дані наведено у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції – чиста конкуренція	Немає високого порогу для входу	Участь в тендерах, презентація продукту на тематичних виставках
Рівень конкурентної боротьби – національний	Розгортання проекту потребує фізичної присутності більшої частини команди, що ускладняється при роботі з іноземними клієнтами	Просування товару по всій країні
Конкуренція за галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Проекти з інших галузей не підходять для задоволення вимог клієнтів	Розповідати про свої переваги перед конкурентом у даній галузі
Конкуренція за видами товарів – товаро-видова	Конкуренція з проектами, що пропонують автоматичне керування	Використовувати надійне обладнання, яке зарекомендує себе в довгостроковій перспективі
Конкуренція за видами конкурентних переваг – цінова	Конкуренція залежить від ціни	Оптимізація собівартості товару, що дає суттєвий вигрaш у ціні у великих об'ємах закупівель
Конкуренція за інтенсивністю - марочна	Пропонуються схожі функції	Надання функцій, які не надають конкуренти, оптимізація функцій, що мають конкуренти

Для позначення детальнішого аналізу конкуренції проведено аналіз галузі за моделлю М. Портера. Результати представлені таблицею 5.9.

Проаналізувавши отримані результати мною зроблено висновок, що керуючись конкурентною ситуацією на ринку, проєкт відповідає вимогам до конкурентоспроможності, тобто, у даного проєкту є шанси для роботи на ринку. Для збільшення конкурентоспроможності необхідно брати участь у тендерах, та впроваджувати алгоритми оптимізації вартості продукту.

Таблиця 5.9. Аналіз умов конкуренції галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Midcold, FastCold	Низький поріг для входження в галузь	Встановлення ціни, кількості товару	Контроль якості	Відсутні
Висновки	Середня інтенсивність конкурентів	Немає серйозних перешкод для виходу на ринок, немає інформації про потенційних конкурентів	Постачальники диктують ціну та кількість товару	Клієнти диктують вимоги згідно умов експлуатації	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники відсутні

Наведемо перелік факторів конкурентоспроможності. Визначений перелік показано у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор Конкуренто- спроможності	Обґрунтування
Ціна	У конкурентів вища ціна
Надійне обладнання	У даному проєкті використовується обладнання з високим ступенем надійності, що є перевагою у порівнянні з конкурентами

Результати аналізу щодо визначення сильних і слабких сторін проєкту наведені у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проєкту

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів- конкурентів у порівнянні з даним стартапом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	20	+						
2	Інформаційно-керуюча система	19		+					
3	Надійне обладнання	18			+				

Фінальним критерієм оцінки ринку, та успішної реалізації проєкту, є проведення SWOT-аналізу, тобто розробки матриці, з аналізом сильних та слабких сторін розробленого стартапу, загроз проєкту та можливостей на основі розглянутих раніше таблиць порівняння та оцінки.

Таблиця 5.12. SWOT – аналіз розробленого стартап-проєкту

Сильні сторони: Ціна Надійне обладнання	Слабкі сторони: Відсутні
Можливості: Зростання ринку Поступове розуміння необхідності систем віддаленого керування	Загрози: Створення конкурентами схожих проєктів

На основі таблиці із SWOT-аналізом можемо розробити альтернативні варіанти поведінки на ринку для успішного впровадження розробленого стартап-проєкту на ринок та значення оптимального часу ринкової реалізації проєктних рішень зважаючи на результати досліджень проєктів конкурентів. Розроблені дані з альтернативних варіантів наведені у таблиці 5.13.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Терміни реалізації
1	Орієнтація даного проєкту на ринок державних підприємств великих міст	55%	5 міс.
2	Орієнтація даного проєкту та ринок приватних підприємств великих міст	75%	3 міс.
3	Орієнтація даного проєкту на ринок державних підприємств середніх та малих міст	65%	4 міс.
4	Орієнтація даного проєкту та ринок приватних підприємств середніх та малих міст	55%	5 міс.

Відповідно до таблиці вище, варто сприймати цільовою аудиторією проєкту з автоматизації камери шокової заморозки продуктів харчування ринок приватних підприємств великих міст, і орієнтувати розвиток проєкту

на дану частину ринку. Ймовірність отримання ресурсів вища за інші ринки, і терміни реалізації мають найменший порядок в порівнянні з іншими альтернативними варіантами.

5.4. Розроблення стратегії впровадження і поширення проєкту

Перш за все, в межах задачі поширення проєкту, необхідно визначити стратегію охоплення ринку та описати цільову аудиторію кінцевих споживачів. Досліджені результати розглянуті в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в мережах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Власники великої мережі підприємств	Потребують недовгих переговорів	Вище середнього	Нижче середньої	Нескладно
Власники локального підприємства	Потребують переговорів	Середній	Низька	Нескладно
Які цільові групи обрано: Власники великих та локальних підприємств				

Розглядаючи цільові групи, для охоплення ринку, зазвичай, обирається стратегія диференційованого маркетингу, тому, що проводиться робота не з одним сегментом цільової групи. Також слід помітити, що програма ринкового впливу розробляється окремо для кожної частини групи.

Занесемо стратегію розвитку до таблиці 5.15., для роботи в обраних частинах ринку. А також помістимо винесені результати стратегії конкурентної поведінки до таблиці 5.16.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Орієнтація даного проекту та ринок приватних підприємств великих міст	Стратегія диференційованого маркетингу	Приватні підприємства великих міст мають більшу потребу у віддаленому моніторингу системи та високі вимоги до надійності	Стратегія диференціації

На основі потреб і вимог споживачів розроблено стратегію позиціонування проекту на ринку, та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16), які складається з формування ринкової позиції, за яким споживачі мають впізнати торгівельну марку, або розроблений проєкт. Результати дослідження наведені у таблиці 5.17.

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першо-прохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Компанія буде шукати нових споживачів	Якщо у конкурентів з'являться «проривні» характеристики, то компанія намагатиметься їх копіювати	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту
Ні	Компанія буде шукати нових споживачів	Якщо у конкурентів з'являться «проривні» характеристики, то компанія намагатиметься їх копіювати	Стратегія заняття конкурентної ніші

5.5. Розробка маркетингової частини стартап-проекту

Для початку, сформуємо концепцію маркетингу по збуту товару, яку отримуватиме кінцевий споживач. Попередні підсумки аналізу конкурентоспроможності товару наведені у таблиці 5.18.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Ціна	Менша ціна системи	У конкурентів ціна вища
2	Надійність обладнання	У системі використовується обладнання з високим ступенем надійності	Обладнання має вищу надійність у порівнянні з конкурентами

Наступним кроком необхідно розрахувати цінові межі, якими будемо оперувати при встановленні ціни на потенційний товар. Товар потенційний оскільки остаточні ціни визначаються уже під час фінансово-економічного аналізу проекту. Аналіз провівся експертним методом, та результати занесені до таблиці 5.19.

Таблиця 5.19. Визначення меж встановлення ціни

Рівень ціни на товари-замінники	Рівень-цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Нижня та верхня межа встановлення ціни на товар
50000-150000 грн.	75000-200000 грн.	10000-75000 грн.	250000-750000 грн

Далі проведено оцінку оптимальної системи збуту. Результати занесені до таблиці 5.20.

Таблиця 5.20. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля через тендери	Дотримання термінів та норм встановлення системи	Живе спілкування	Проводити збут власноруч через тендери

Заключаючим етапом необхідна була розробка концепція маркетингових комунікацій, що і було зроблено. Концепція опирається на раніше обрану модель позиціонування і поведінки клієнтів. Результати наведені у таблиці 5.21.

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Влаштування тендеру для отримання оптимального продукту	Телефон, електронна пошта, веб-сайти	Система автоматичного керування та віддаленого керування системою охолодження	Донести до клієнта вигідність пропозиції через низьку ціну	Демонстрація можливостей

Таким чином, у розглянутому розділі я провів технологічний аудит ідеї розробленого проєкту. Результатом аналізу стало те, що розроблена система: по-перше, технологічно здійснювана, по-друге, розрахований проєкт має суттєві переваги перед конкурентними пропозиціями, і тому має великі шанси до успішної реалізації на ринку України.

Цільовою аудиторією в більшості стали власники великих приватних підприємств, та локальних підприємств у великих містах, якщо опиратись на покази таблиці з ринкової стратегії проєкту. Серед можливих варіантів стратегії для охоплення ринку, вибрано до впровадження стратегію диференційованого маркетингу. А стратегія зайняття конкурентної ніші допоможе в конкурентній боротьбі на ринку збуту.

Для успішного просування ідеї проєкту розглянута концепція реклами, яка на мій погляд, має найбільші шанси впливу на цільову аудиторію. Особливістю такої реклами є донесення до кінцевого клієнта переваги впровадження розглянутої технології, переваги віддаленого керування та якісного керування процесами заморозки використовуючи якісні компоненти з довговічними характеристиками зношуваності.

Розроблена маркетингова програма дала відповідь на питання встановлення цін на розроблений проєкт. Найефективнішим методом збуду вибрано просування проєкту через тендери.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської дисертації я дослідив і розглянув особливості до підходу автоматизації технологічного процесу заморозки продуктів харчування, на основі використання даних про камери швидкісної заморозки продуктів флюїдного виконання, та розглянув оптимальне рішення з питання автоматизації об'єкта управління.

Я розглянув існуючу установку, як об'єкт автоматизації, і провів процес вдосконалення, оскільки на реальному об'єкті замовники зіштовхуються з рядом проблем, такими як:

1. Примерзання рухливих частин палетів з продуктами до поверхні підлоги.
2. Неконтрольований процес заморозки, що дає на виході температуру продукту, яка не відповідає технології виробництва замороженої продукції.
3. Неконтрольований час заморозки, що надає сильний вплив на якість вихідної продукції.
4. Неможливість використання існуючої камери шокової заморозки до іншого типу продукту, тобто, відсутність адаптації до типу продукту.

Розглянуті вище проблеми були виправлені, і таким чином, в процес автоматизації були впроваджені інноваційні зміни у підході до заморожування продуктів харчування.

Я розглянув необхідні особливості технологічного процесу та навів достатні дані для розуміння підходу до автоматизації камери, в ході розробки використані знання щодо методів керування та вимірювання важливих технологічних параметрів. У ході роботи, була розроблена математичну модель динамічного режиму зі сторони процесу заморозки для камери швидкісної заморозки продуктів. Математична модель була вирішена за допомогою можливостей середовища розробки Matlab/Simulink. Що в подальшому дало можливість до спрощення моделі об'єкту, та його передаточної функції, методом апроксимації об'єкту. В

подальшому апроксимована передатна функція об'єкту дала змогу до комфортного проведення подальших розрахунків та побудов перехідних процесів об'єктів. Регулятор розрахований із точки зору адаптивності системи керування до типу заморожуваної продукції. Були наведені відповідні розрахунки і дослідження перехідних процесів систем з використанням різних типів заморожуваної продукції.

У ході роботи над дисертацією, я розробив програмне забезпечення, яке розглянуте пояснювальній записці. Розроблене ПО забезпечує необхідну роботу найважливішого контуру в рамках об'єкту автоматизації. Розглянутий автоматичний і ручний режим, і переключення між ними. Створений блок адаптації, і алгоритм перерахунку коефіцієнта підсилення регулятора. Також, я розробив систему диспетчеризації і моніторингу, що має також можливості керування основними технологічними процесами камери швидкісної заморозки продуктів. Розглянутий процес вибору продукту заморожування, для подальшого використання отриманого значення в процесі адаптації роботи системи.

Система автоматичного управління була досліджена зі сторони маркетингового планування, підходу до розробки стартап- проєкту, можливостей поведінки цільової аудиторії і позиціонування проєкту на ринку. Результати аналізу дали висновок, що проєкт має великі шанси на успішну реалізацію, в порівнянні з уже існуючими лідерами ринку.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.Н. Буянов, И.В. Буянова МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЗОННОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

2. И.И. ПЕТУХОВ, канд. техн. наук, В.Н. СЫРЫЙ, аспирант, А.Ю. ЛИСИЦА, аспирант - МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ЯГОД

3. Пехович А. И., Жидких В. М. Расчёты теплового режима твёрдых тел. Изд. 2-е перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1976. – 352 с.

4. Постольски Я., Груда З. Замораживание пищевых продуктов. Пер. с польского. – М.: Пищевая пром-сть, 1978. – 607 с

5. Куцакова В. Е. О времени замораживания пищевых продуктов / В. Е. Куцакова, С. В. Фролов, М. И. Яковлева, Н. А. Третьяков // Холодильная техника. – 1997. – №2. – с. 16-17.

6. А.Г. Александров // Оптимальные и адаптивные системы, 2003.

7. Е.Л. Еремин, Д.А. Теличенко, Благовещенск 2009. АДАПТИВНОЕ И РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

[электронный ресурс] — Режим доступа:

Г

[электронный ресурс] — Режим доступа:

Промышленные морозильные камеры [электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.tixi.ru/catalog/promyshlennye-kamery/promyshlennaya->

Синтез адаптивной системы управления [электронный ресурс] — Режим доступа:

С

Т

а

р

13. Голінко І. М. Динамічна модель тепломасообміну для водяного охолоджувача промислового кондиціонера / І. М. Голінко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –2014, № 6. –С. 27–34.

14. Голінко І. М., Галицька І.Є. Динамічна модель теплообміну для водяного калорифера у просторі станів // Інформаційні системи, механіка та керування. Київ – 2016. № 15, – С. 83–92.

15. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей за заг. ред. О.А. Гавриша. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.

16. Погребецький М.С. «Автоматизована система керування камерою шокової заморозки »: дипломна робота на здобуття ступені бакалавра: Київ, 2020. — 78 с.

17. Погребецький М.С., Голінко І.М. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ: тези XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів 2020 року. У 2 т. – К. : 7 КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т. 2 – 51 с.

Погребецький М.С., ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КАМЕРИ ШОКОВОЇ ЗАМОРОЗКИ ФРУКТІВ: тези XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, м. Київ, 20-23 квітня 2021 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – Т. 2 – 34 с.