

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми «Енергетичне
машинобудування»

Омельченко О.В.

« ____ » _____ 2022__ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Холодильні машини і установки»
на тему:

«ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ
КАМЕР ПРОМИСЛОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА З ВИКОРИСТАННЯМ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

Виконав здобувач
вищої освіти

4 курсу групи ЕМБ-18
Расчехмаров Іван Валерійович

_____ (підпис)

Керівник

д.т.н., професор Хорольський В.П.

_____ (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Кривий Ріг

2022 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Електрична інженерія

Освітня програма: Холодильні машини і
установки

ЗАТВЕРДЖУЮ:

**Гарант освітньої програми
«Енергетичне машинобудування»**

Омельченко О.В.

« » 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Расчихмарову Івану Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Оптимізація системи холодозабезпечення
холодильних камер промислового холодильника з використанням
інтелектуальних технологій»

Керівник роботи професор кафедри, д.т.н., проф. Хорольський В.П.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-
Барановського від «19» листопада 2021 р. № 416-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «7» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей
на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Холодильнці смарт-підприємства з виробництва холоду для заморожування та охолодження продуктів харчування.
3. Технологічні процеси та обладнання для заморожування м'ясних продуктів харчування.
4. Нейроуправління процесами заморожування продукції в холодильних камерах.
5. Висновки.
6. Список використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 1. Компонувальна схема гвинтової компресорної установки.
 2. Система комп'ютерного зору зображення геометрії тіла ВРХ та зображення стану випарника.
 3. Схема узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери.
6. Дата видачі завдання « 2 лютого __ » _____ 20 21 __ р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	15.03.22
2	Холодильнці смарт-підприємства з виробництва холоду для заморожування та охолодження продуктів харчування.	До 15.03.22
3	Технологічні процеси та обладнання для заморожування м'ясних продуктів харчування.	До 15.04.22
4	Нейроуправління процесами заморожування продукції в холодильних камерах.	До 15.05.22
5	Висновки по роботі	До 1.06.22
6	Оформлення роботи і подання до захисту	До 8.06.22

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Расчехмаров І.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Хорольський В.П.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить
сторінок 69, 16 рис, 5 табл

На тему: « Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер
промислового холодильника з використанням інтелектуальних
технологій»

Об'єкт дослідження – холодильні машини, процес їх керування та діагностика автоматизованими способами геометрії заморожуваного продукту з метою підвищення енергоефективності.

Мета роботи – підвищення якості нейрокерування компресорними холодильними установками та оцінки геометрії м'яса туши великої рогатої худоби.

Методи дослідження – технічної діагностики, системного аналізу, математичного моделювання, ситуаційного управління, збору та обробки знань, теорії прийняття рішень, у тому числі з використанням засобів штучного інтелекту.

Основні результати, наукова новизна:

– представлено математичну модель для створення енергетично ефективних холодильних установок.

– на підставі проведених теоретичних досліджень розроблено метод оцінки геометрії тіла великої рогатої худоби в холодильних камерах великої вантажомісткості промислових холодильників.

– Розроблено алгоритм узагальненого функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери.

Наукова новизна очікуваних результатів полягає в розробці інтелектуальної системи керування енергоефективною холодильною установкою із застосуванням елементів автоматизації.

Ключові слова:

ОХОЛОДЖЕННЯ, ЗАМОРОЖУВАННЯ, ПРОМИСЛОВИЙ
ХОЛОДИЛЬНИК, КОМПРЕСОР, ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, НЕЙРОНЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ
ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ.

Зміст

Вступ	3
РОЗДІЛ 1. ХОЛОДИЛЬНІ СМАРТ-ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДУ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	4
1.1 Промисловий холодильник як об'єкт холодозабезпечення холодильних камер	5
1.2 Заморожування м'яса у напівтушах	6
1.3 Робочий процес компресорної установки	9
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	13
2.1 Компресорні агрегати гвинтового типу для заморожування м'ясних продуктів харчування	14
2.2 Методи моніторингу оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів промислових холодильників	18
2.3 Вибір оптимального енергетичного обладнання для охолодження смарт-продуктів харчування	20
РОЗДІЛ 3 НЕЙРОУПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕРАХ	25
3.1 Інтелектуальні системи управління	26
3.2 Система інтелектуального контролю геометрії заморожуваних продуктів комплексів	34
3.3 Інтелектуальна система комп'ютерного зору геометрії туші ВРХ та управління процесом заморожування	46
ВИСНОВКИ	46
Список використаної літератури	48
Додатки	51

ВСТУП

Об'єкт дослідження—холодильні машини, процес їх керування та діагностика автоматизованими способами геометрії заморожуваного продукту з метою підвищення енергоефективності.

Мета роботи— підвищення якості нейрокерування компресорними холодильними установками та оцінки геометрії м'яса туши великої рогатої худоби.

Методи дослідження —технічної діагностики, системного аналізу, математичного моделювання, ситуаційного управління, збору та обробки знань, теорії прийняття рішень, у тому числі з використанням засобів штучного інтелекту.

Основні результати, наукова новизна:

— представлено математичну модель для створення енергетично ефективних холодильних установок.

— на підставі проведених теоретичних досліджень розроблено метод оцінки геометрії тіла великої рогатої худоби в холодильних камерах великої вантажомісткості промислових холодильників.

— Розроблено алгоритм узагальненого функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери.

Наукова новизна очікуваних результатів полягає в розробці інтелектуальної системи керування енергоефективною холодильною установкою із застосуванням елементів автоматизації.

Основним завданням підприємств з виробництва холоду для переробної та харчової галузей України в стратегічному періоді до 2035 року є підвищення конкурентоспроможності смарт-продукції до вимог світового ринку харчування та зменшення питомих енерговитрат на 25-35% від рівня 2013 року [1].

Високий рівень енерговитрат на виробництво однієї тони продукції підприємств харчової галузі стимулює їх енергоменеджмент до корпоративної реструктуризації процесів обліку та оптимізації споживання електрики, газу, води, пари, дизельного палива, оливи та інших матеріалів [2].

З метою зменшення собівартості продукції та підвищення її якості до рівня європейських стандартів на підприємствах харчової промисловості розроблені методи управління виробництвом охолодженої і замороженої продукції харчування в умовах ринкових тарифів на електроенергію [3]

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Расчехмаров			Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Хорольський						
Н. Контр.		Омельченко				ДонНУЕТ		
Затверд.		Омельченко				Кафедра ЗІДО		

Отже, зниження енергетичних витрат на ці виробничі процеси є актуальним завданням енергоменеджменту до 2035 року. Це можна досягти впровадженням на підприємствах з виробництва холоду автоматизованих систем управління електроспоживанням холодильних машин та промислових холодильників. Робота таких систем повинна бути узгодженою з оптимізацією технологічних процесів виробництва холоду – холодопостачання N холодильних камер [4] та енергетичних параметрів синхронних та асинхронних двигунів поршневих і гвинтових компресорів холодильних машин.

Таким чином, задача подальшого удосконалення принципів інтелектуального управління процесами холодозабезпечення потужних промислових холодильників зі заморожуванням смарт-продуктів харчування та системами нейро-нечіткого контролю параметрів туші великої рогатої худоби є актуальною та своєчасною.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ХОЛОДИЛЬНІ СМАРТ-ПІДПРИЄМСТВА З ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДУ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

1.1 Промисловий холодильник як об'єкт холодозабезпечення холодильних камер

Сучасний високоавтоматизований та роботизований смарт-холодильник – це промислове підприємство, яке призначене для охолодження, заморожування і зберігання продуктів харчування, управління яким виконується з використанням інтелектуальних технологій за критерієм мінімізації енергозатрат. Більшість великих промислових холодильників використовують багатокамерну систему збереження продуктів харчування, для забезпечення холодом яких використовується декілька десятків компресорів (інколи різних типів) з синхронними та асинхронними електроприводами. Промислові смарт-холодильники великої продуктивності мають характерні ознаки, серед них головними є:

1. У їх холодильних камерах (контейнерах або приміщеннях) зберігаються і обробляються цінні і дуже часто швидкопсувні продукти, які потребують для свого збереження підтримування температури нижче температури зовнішнього навколишнього середовища і визначеної відносної вологості, а в деяких випадках – циркуляції повітря і визначеного обміну повітря абр також визначеного складу газового середовища (наприклад, при зберіганні фруктів у середовищі з підвищеним вмістом двоокису вуглецю або іншого газу).

2. Тепло і волога зовнішнього повітря бажають проникнути в холодильник, що вимагає створення спеціальних конструкцій (холодильних камер або контейнерів) огороження для зменшення проникнення теплоти і вологи до приміщення.

3. Великий об'єм вантажів, що переміщуються, і необхідність їх швидкого розвантаження вимагає широкого використання робототехнологічних комплексів, автоматизованого диспетчерського керування з використанням інтелектуальних технологій контролю якості продукції.

4. Холодильні підприємства віднесені до енергоємних з високим рівнем санітарних вимог, а отже енергозабезпечення повинно бути віднесено до першої категорії енергопостачання.

5. З метою побудови інформаційних систем керування холодильними підприємствами необхідно побудувати базу прецедентів і базу знань:

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>						
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ		
Затверд.		<i>Омельченко</i>				Кафедра ЗІДО		

по-перше, на основі моніторингу технологічних ситуацій заморожування (охолодження) продуктів харчування та діагностики режимів роботи холодильного обладнання розробити математичні моделі температурних потоків повітря в холодильних камерах;

по-друге, розробити експертну модель оптимального мікроклімату холодильної камери для зберігання продуктів харчування з різними робочими характеристиками заморожування (охолодження) тощо;

по-третє, оцінити енергетичні та технологічні режими роботи холодильних машин з очікуваним потенціалом енергозбереження, в яких працюють:

- 1) поршневі компресори з синхронними двигунами;
- 2) багатоступеневі компресорні холодильні машини з синхронними двигунами;
- 3) багатоступеневі компресорні холодильні машини з асинхронними двигунами і системами тиристорного частотного керування швидкістю за схемою АД-ТПЧ;
- 4) гвинтові компресорні установки з системами ступеневого розподіленого керування компресором і автоматизованого управління холодопродуктивністю з оцінкою тиску всмоктування й активної та реактивної потужностей, що дозволяє досягти за рахунок покращення ЖЦК і стабілізації тиску всмоктування зниження енергозатрат до 15%;
- 5) групи поршневих компресорів при роботі на холодильні камери із мінімумом споживання електроенергії;

по-четверте, розробити способи керування оптимальною траєкторією процесу охолодження та заморожування харчових продуктів в умовах розпізнавання геометричних параметрів туші великої рогатої худоби ; розробити систему автоматичного контролю стану заморожування випарника та алгоритм нейронечіткого розпізнавання і ударного впливу ультразвукових коливань на поверхню випарника

по-п'яте, розробити інтелектуальну систему автоматизованого управління холодозабезпеченням холодильних камер зі змінною структурою холодопродуктивності багатоступеневих компресорних холодильних машин.

1.2 Заморожування м'яса у напівтушах

Замороженим вважається м'ясо, середня температура якого на 10°C нижча за криоскопічну. Така температура для свіжого м'яса від -0,8 до -1,2 °C, крові -0,55 °C. У процесі заморожування близько 85% вологи перетворюється на лід. Льодоутворення вважається закінченим, якщо у центрі продукту досягається температура -4..-5°C, що відповідає середній температурі м'яса - 10..-15°C. М'ясо заморожують після попереднього охолодження (двофазний спосіб) та у парному вигляді (однофазний).

Зниження температури продукту від 0 до -5 °C становить власне процес заморожування. Зниження температури до 0 °C прийнято називати охолодженням, а від -5 °C і нижче - доморожуванням.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо початкова температура продукту вище 0°C , тривалість заморожування збільшується приблизно 1% за кожен градус. При доведенні температури в центрі стегна напівтуші до -10°C тривалість заморожування зростає в порівнянні з часом, необхідним для заморожування до -5°C , приблизно на 18%, до -12°C - на 22%, до -14°C - на 27%, до -16°C - на 33% і до -18°C - на 40%.



Рисунок 1.1

Заморожування м'яса у напівтушах

Інтенсифікація заморожування м'яса, отже, і збільшення продуктивності камер можуть бути досягнуті зниженням температури повітря або збільшення швидкості його руху. Зниження температури повітря в морозильній камері з природним рухом повітря з -15 до -25°C скорочує час заморожування приблизно в 2 рази, а при зниженні температури до -35°C - в 3 рази.

Якщо в діючій камері однофазного заморожування з тихим охолодженням температура повітря не може бути знижена, заморожування інтенсифікують збільшенням швидкості руху повітря біля стегон напівтуш м'яса. При температурі, наприклад, -15°C зі збільшення швидкості повітря до 2 або 3 м/с заморожування прискориться відповідно в 1,5 і 1,9 рази, а при -35°C - в 1,25 і 1,65 рази.

Збільшення швидкості руху повітря за більш низьких температур (-35°C), в такий спосіб, менш значно впливає тривалість заморожування, ніж при -15°C . У всіх випадках найбільша ефективність досягається зі збільшенням швидкості руху повітря до 3 м/с.

Вирішуючи питання інтенсифікації роботи морозильних камер, слід пов'язувати роботу інтенсифікованих камер та цеху первинної переробки худоби (ЦППХ). Камери бажано проектувати так, щоб їх оборотність була

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ		Арк.
							9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

кратною робочим змінам за 16, 24, 32, 40 год. Тоді вони будуть використані максимально. Оборотність, не кратна 8 год, викликає простої камер. Доцільно встановлювати морозильні камери однофазного заморожування безперервної дії, де розвантаження та завантаження їх м'ясом синхронно пов'язані з роботою головного конвеєра ЦППХ. М'ясо має завантажуватися рівномірно та безперервно. Одночасно через другі двері камери також рівномірно та безперервно проводиться вивантаження замороженого м'яса. Якщо такі камери охолоджувати приладами, які можуть тривалий час працювати без зупинки, а завантаження та вивантаження м'яса проводити за допомогою конвеєрів, то цикл оборотності морозилок дорівнюватиме тривалості заморожування м'яса, що значно покращує техніко-економічні показники їх роботи.

На яловичих напівтушах перед заморожуванням роблять надріз між 11-12 ребрами до хребтів. Після заморожування напівтуш при знятті їх з підвісних шляхів по зробленому надрізу розрубують напівтуші на чвертини і перевозять в камеру зберігання. М'ясо молодих тварин заморожують у вигляді цілих поздовжніх напівтуш (без надрізу між ребрами).

Середня температура повітря в морозильній камері за цикл її обороту має наближатися до паспортної. У морозильних камерах циклічної дії температура повітря перед початком робіт і наприкінці процесу заморожування повинна бути на 3-5°C нижче за паспортну; у камерах, що завантажуються безперервно, на рівні паспортної, а перед початком роботи - на 2-3°C нижче за паспортну.

Завантаження парних напівтуш в морозильну камеру проводять безперервно - потоком у міру їх надходження з ЦППХ і синхронно з роботою його головного конвеєра або циклічно невеликими партіями по 10-15 напівтуш.

Парне м'ясо при безперервному завантаженні спочатку розміщують на першому підвісному шляху камери, потім - на другому, третьому тощо або в іншому строгому порядку. На кожному шляху розміщують напівтуші приблизно однакових вагових категорій.

Прилади охолодження морозильних камер повинні працювати на повну потужність безперервно як у процесі заморожування, так і при завантаженні-розвантаженні камер, щоб заморожування м'яса почалося відразу після його надходження в морозильну камеру. До початку роботи ранкової зміни повинна бути вільною та підготовленою до завантаження м'ясом або частина шляхів, якщо морозильна камера має змінну або велику ємність, або одна з морозильних камер на напівзмінну або меншу ємність.

Заморожування м'яса вважається закінченим, коли температура в товщі м'язів стегна досягає -8 ° С, а на поверхні буде близькою до температури повітря в морозильній камері.

Оборотність морозильних камер (включаючи заморожування, вантажні

									ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
										10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

роботи та підготовку камер до подальшої роботи) пов'язується з графіком роботи цеху первинної переробки худоби. Вивантаження м'яса з камер проводять негайно після його заморожування і в тій же послідовності, що і завантаження.

При однофазному способі заморожування проти двофазного продуктивність праці вантажників підвищується вдвічі, виробничі площі скорочуються на 40%, усушка м'яса знижується більш як удвічі.

Втрати маси м'яса, замороженого однофазним або двофазним способом, тим менше, що швидше завершується процес заморожування. Так, наприклад, при однофазному способі заморожування та тривалості його 36 год середня усушка яловичого м'яса становить близько 1,82%, 24 год – 1,6% та 20 год – 1,2%.

Інтенсифікація заморожування супроводжується збільшенням перепаду температури між поверхнею та внутрішніми шарами напівтуші.

Порівняно зі звичайно прийнятою кінцевою температурою центру стегна -8°C заморожування до -5°C дозволяє скоротити тривалість процесу на 20-30%, знизити усихання м'яса на 16-20% і зменшити відводиться тепло на 6-7%. Паспортною тривалістю заморожування м'яса вважається час, необхідний зниження температури в товщі м'яса до -8°C , при однофазному заморожуванні від $+35^{\circ}\text{C}$, а при двофазному - від $+4^{\circ}\text{C}$, без урахування часу на завантажувально-розвантажувальні роботи.

При надходженні на холодильник з іншого підприємства м'яса і субпродуктів усіх видів і категорій у тушах, напівтушах, четвертинах і блоках застосовуються такі норми усушки на їх доморожування: для частково розтанутих з температурою продукту вище -8°C , 0,25% до маси м'ясопродуктів, що надійшли; для м'ясопродуктів з температурою -8°C і нижче при зберіганні їх в камерах з температурою -15°C або нижче, 0,1% до маси м'ясопродуктів, що надійшли.

1.3 Робочий процес компресорної установки.

На початковому етапі повітря, попередньо проходячи через повітряний фільтр, надходить через вікно всмоктування гвинтового компресора першого ступеня на гвинтову пару. При скоєнні обертального руху гвинтів із боку виходу зубів із зачеплення починають утворюватися западини між зубами. При повністю звільненні на протилежному торці гвинта від зубів порожнини матимуть максимальної величини об'єм. У міру проходження зуба веденого гвинта у западину ведучого, що займає повітря, його обсяг зменшується, відбувається процес інтенсивного стиснення в парній ділянці. Процес стиснення відбувається до того часу, поки ця парна область не підійде до краю вікна нагнітання. Далі відбувається процес виштовхування повітря через нагнітаюче вікно, стиснене повітря виходить з першої щаблі компресорної установки і потрапляє в проміжний теплообмінник. Там повітря охолоджується до певної температури і надходить через вікно

											ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
												11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

всмоктування на другий ступінь гвинтової компресорної установки. Після процесу стиснення в другому ступені, стиснене повітря надходить у маслобак, де відбувається його відділення від крапель олії, що вийшли разом із повітрям під час процесів стиснення. Масло, зважаючи на свою більшу масу і щільність, стікає на дно маслобака, потім за допомогою системи трубчастих з'єднань надходить у масляні фільтри і через масляний насос подається назад до ступенів компресорної установки. Очищене від масла повітря проходить у другий теплообмінник, де охолоджується до заданої температури, і надходить у повітряний ресивер для накопичення. Далі стиснене повітря переходить у розпорядження для технологічних потреб.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

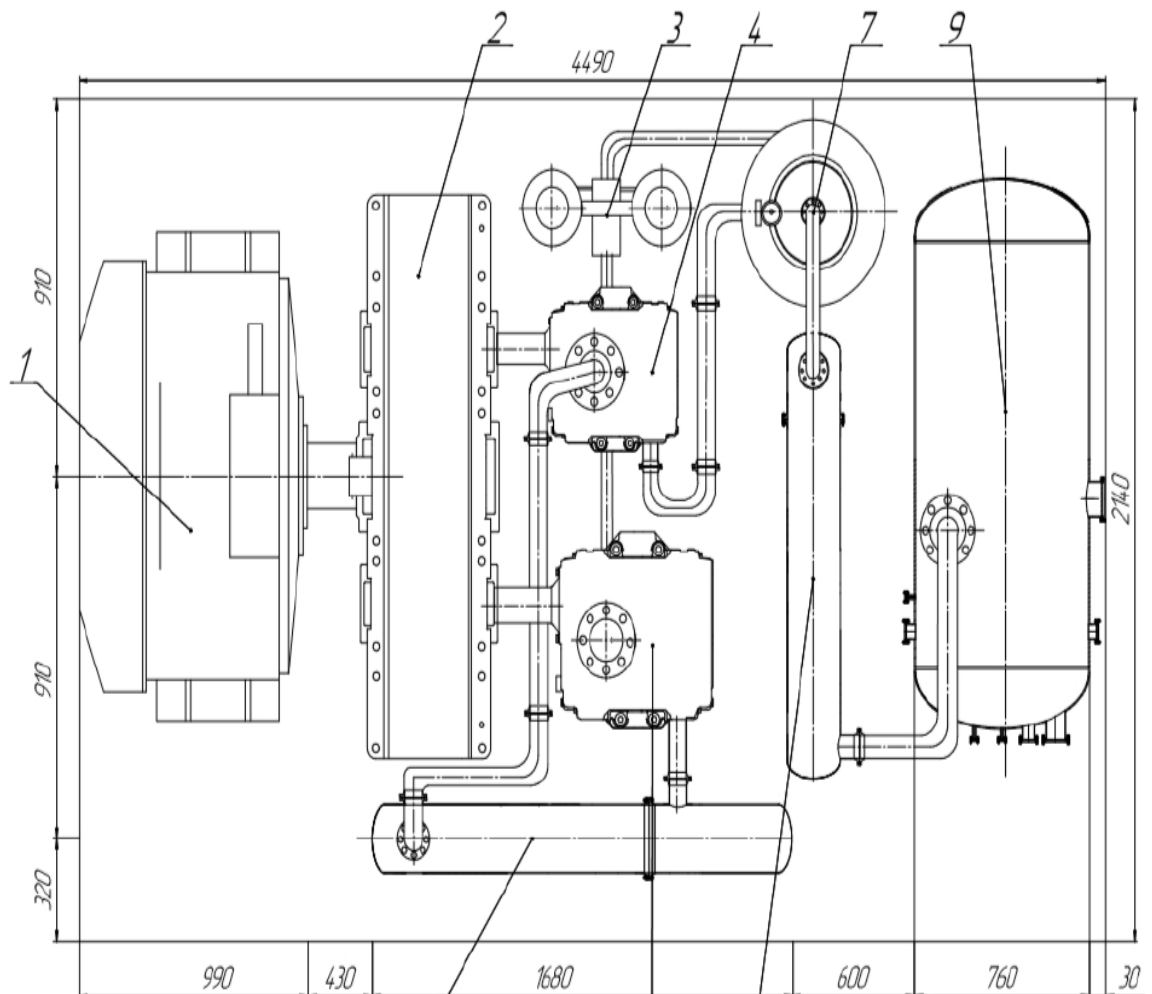


Рисунок 1.2 Компонувальна схема гвинтової компресорної установки

Таблиця 1.1 Специфікація елементів комплектування гвинтової компресорної установки

Номер	Ознака
1	Електродвигун
2	Редуктор
3	Масляний насос із фільтрами
4	Гвинтовий компресор 2 ступені
5	Проміжний теплообмінник
6	Гвинтовий компресор 1 ступеня
7	Маслобак
8	Теплообмінник після другого ступеня
9	Повітряний ресивер

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки до розділу 1

Визначено, що інтегральним показником енергоефективності камер є споживання холоду за одиницю часу на тонну продукції. Споживання електроенергії на вироблення холоду залежить від температурних режимів в камерах. Відповідно до відомих термодинамічних характеристик холодильних машин зі зниженням температури в камерах, питомі витрати електроенергії на вироблення холоду зростають. Запропоновано для використання шокову заморозку, як оптимальне енергетичне обладнання для виробництва заморожуваних смарт-продуктів харчування.

Проведено аналіз та вибір оптимального обладнання за критерієм енергоефективності для виробництва заморожуваних смарт-продуктів харчування.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАМОРОЖУВАННЯ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

2.1 Компресорні агрегати гвинтового типу для заморожування м'ясних продуктів харчування

Кожна із стадій заморожування представлена у вигляді гвинтового компресора, який складається з наступних основних деталей: корпусу компресора, гвинтової пари роторів, підшипників, ущільнень.

Гвинтова пара представлена у вигляді циліндричних косозубих великомодульних шестерень із зубами еліптичного профілю з чотирма зубами на провідному роторі та шістьма на веденому.

При скоєнні обертального руху гвинтів, що окреслюють циліндричні поверхні, вершини зубів теоретично повинні створювати з корпусом безсоромне сполучення.

При скоєнні обертального руху гвинтів між ними допускається невеликі проміжки, безпечні для обертання гвинтів.

У цій компресорній установці, маслозаповнювання до неї забезпечено підведенням олії через герметичний отвір у корпусі. Масло подається до насаджених на вали підшипників та гвинтів.

У кожному ступені компресорної установки застосовані підшипники кочення. У цьому випадку радіальні навантаження сприймаються радіально-упорними кульковими підшипниками, а осьові навантаження – здвоєними роликовими.

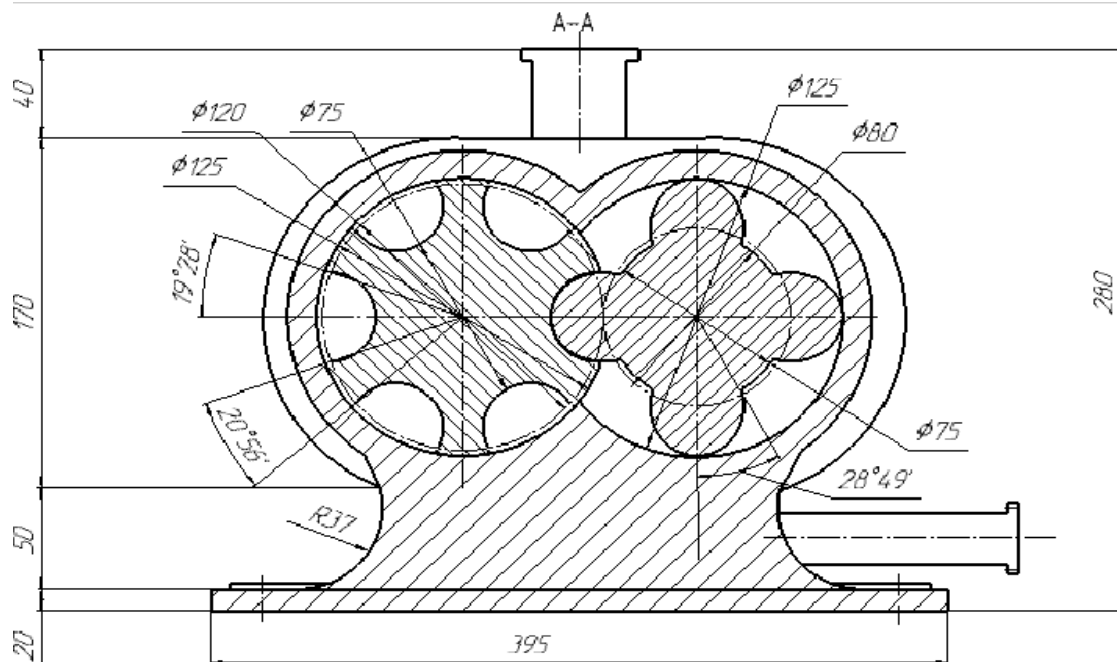


Рисунок 2.1 Поперечний розріз гвинтового компресора 1 ступеня

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ		
Затверд.		<i>Омельченко</i>			Кафедра ЗІДО		
					Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій		

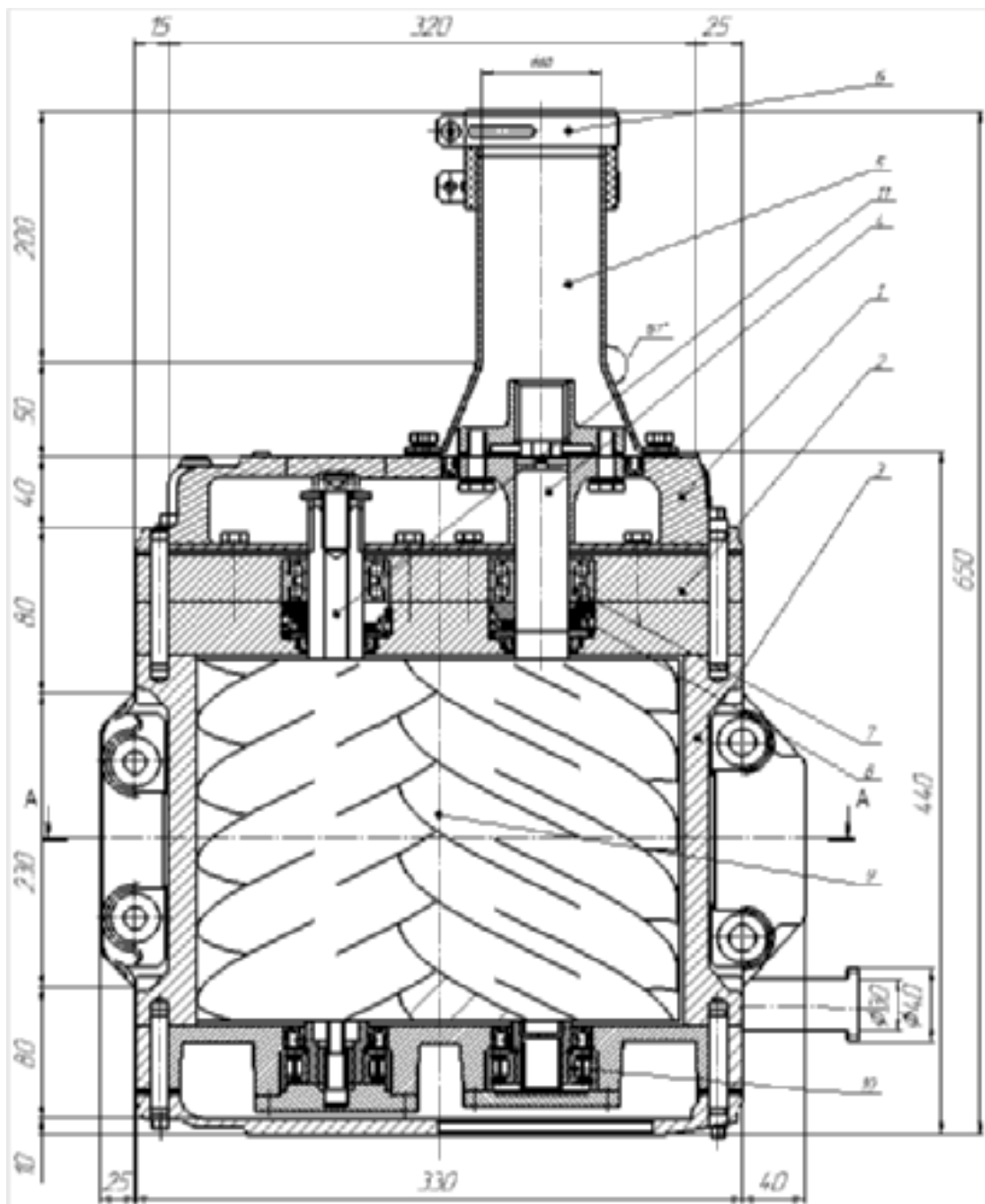


Рисунок 2.2 Поздовжній розріз гвинтового компресора 1 ступеня.

Умовні позначення наведені у таблиці:

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.1 Специфікація елементів гвинтового компресора

Номер	Ознака
1	Провідний гвинт
2	Ведений гвинт
3	Корпус
4	Вал ведучий
5	Вал ведений
6	Малий корпус
7	Хомут
8	Гумове кільце
9	Захисний кожух
10	Штифт
11	Подвійний роликівий підшипник
12	Кульковий підшипник
13	Торцеві ущільнення

Тепловий розрахунок холодильного гвинтового компресора:

Приклад теплового розрахунку холодильного гвинтового маслозаповненого компресора для холодильної машини з регенеративним теплообмінником.

Вихідні дані

Холодопродуктивність Q_0 , кВт: 450

Температура, $^{\circ}\text{C}$:

кипіння t_0 : -15

конденсації t_k : 30

Робоча речовина: R22

Масло: ХС-40

Згідно з відомими з теорії холодильних гвинтових компресорних машин (ВМК) рекомендаціям температура робочої речовини (робочої суміші хладон масло) на всмоктуванні в компресор дорівнює $t_1 = 0 \dots 10^{\circ}\text{C}$. Приймаємо температуру робочої речовини на всмоктуванні компресора (і на виході з теплообмінника) $t_1 = 0^{\circ}\text{C}$. Температура пари, що виходить із випарника $t_a = -15^{\circ}\text{C}$. (Рис. 1).

Нехтуючи тепловими втратами в теплообміннику, з умов рівності різниці ентальпій $h_1 - h_a = h_3 - h_4$ знайдемо ентальпію в точці 4:

$$h_4 = h_3 - (h_1 - h_a) = 536,5 - (709,6 - 698,4) = 525,3 \text{ кДж/кг.}$$

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри робочої речовини у вузлових точках теоретичного циклу для заданих умов наведені в табл. 1 . Питома масова холодопродуктивність:
 $q_0 = h_a - h_5 = 698,4 - 525,3 = 173,1$ кДж/кг.

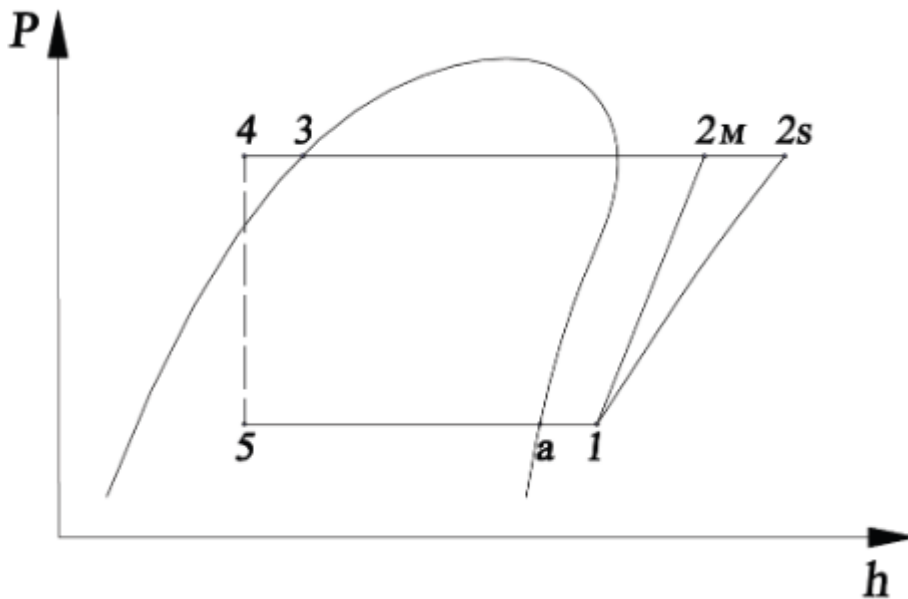


Рисунок 2.3 Теоретичний цикл одноступінчастої парової холодильної машини з гвинтовим маслозаповненим компресором

Параметр	Вузлові точки						
	a	1	2s	2m	3	4	5
p , МПа	0,297	0,297	1,191	1,191	1,191	1,191	0,297
t , °С	- 15	0	69,1	60	30	22	- 15
h , кДж/кг	698,4	709,6	747,3	739,6	536,5	525,3	525,3
v , м ³ /кг	—	0,083	—	—	—	—	—

Таблиця 2.2 Параметри вузлових точок циклу

Маса робочої речовини, що циркулює в холодильній машині:

$$G_a = Q_0 / q_0 = 450 / 173,1 = 2,60 \text{ кг/с.}$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_D = G_a \cdot v_1 = 2,6 \cdot 0,083 = 0,216 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Зовнішній ступінь підвищення тиску:

$$\pi_H = p_K / p_0 = 1,191 / 0,297 = 4,0.$$

У типорозмірному ряді вітчизняних холодильних ВКМ прийнято три значення геометричного ступеня стиснення: для високотемпературних та стискаючих компресорів $\varepsilon_r = 2,6$ при $\pi_H \leq 4,0$; для середньотемпературних $\varepsilon_r = 4,0$ при $\pi_H \leq 8$; для низькотемпературних $\varepsilon_r = 5,0$ при $\pi_H > 8$. Вибираємо геометричну міру стиснення $\varepsilon_r = 2,6$.

Теоретична об'ємна продуктивність компресора:

$$V_T = V_D / \eta = 0,216 / 0,9 = 0,239 \text{ м}^3/\text{с.}$$

						ДонНУЕТ.142 –емб18.2022.ПЗ	Арк.
							18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де коефіцієнт подачі ВМК $\lambda = 0,9$ знаходимо за рисунком 2 для прийнятої марки впорскуваної олії та геометричного ступеня стиснення $\varepsilon_r = 2,6$.

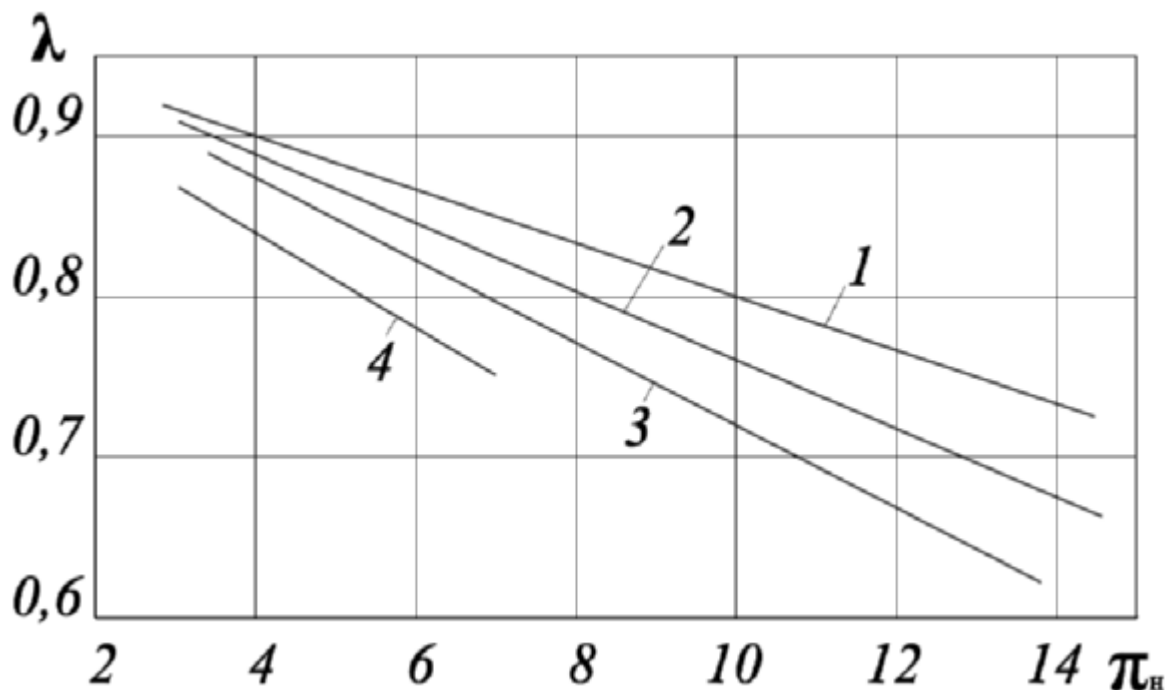


Рисунок 2.4 Залежність коефіцієнта подачі ВМК λ від зовнішнього ступеня підвищення тиску π_n

2.2 Методи моніторингу оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів промислових холодильників

З метою побудови оптимальної траєкторії процесу охолодження та заморожування харчових продуктів в умовах обмеженості параметрів енергосистеми розробимо алгоритм та систему моніторингу компресорних холодильних машин.

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність N багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних камер промислового холодильника. Типова система моніторингу складається із каналів розповсюдження, системи моніторингу, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування, трактів розпізнавання, аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак, блоку прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережевих інтерфейсів (Internet/Intranet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

У той же час пропонуємо проєкт системи моніторингу промислового холодильника з блоком прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних, які зберігаються в інформаційній системі, БЗ, БД і які визначають технічний стан об'єкту моніторингу.

Отже, рекомендуємо на кожному промисловому холодильнику впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання. Основу такої системи моніторингу і диспетчеризації холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників складуть контроль параметрів вібрацій, температури ХМ, температури в холодильних камерах і якості продукції відповідно до стандартів країн ЄС.

Температура і частота вібрацій можуть вказати ОПП на ознаки виходу із ладу обладнання ХМ-холодопостачання-холодильних камер промислового холодильника. Тому в АСУТП промислового холодильника необхідно проектувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих систем інтелектуального керування, ІоТ та системи обладнання датчиків і станцій LoRaWAN [12,13].

Контроль вібрації підшипників компресорів ХМ та якості мастила для них дозволяють зменшити кількість аварійних ситуацій. Якщо підшипники недостатньо змазані, через тертя компресор нагрівається і починає більше вібрувати, що призводить до аварійних ситуацій та непланових ремонтів обладнання. Промислові системи контролю LoRaWAN з датчиками температури, вібрацій, тиску дозволяють контролювати:

- температурні режими роботи ХМ, тиск і температуру робочої речовини, яка направляється в конденсатор КД, де конденсується за рахунок відведення теплоти в навколишнє середовище;
- температурні режими і тиск робочої речовини у випарнику та питому масову холодопродуктивність;
- температурні режими роботи електроприводу компресорних машин та насосів (температуру нагріву обмоток електродвигунів та їх підшипників);
- якість заморожування продукції та її температуру.

Відзначимо, що LoRaWAN – це протокол передачі даних, використання якого є раціональним в умовах вимірювання вібрацій, температури, тиску робочої речовини холодильного обладнання з розумними датчиками одержання інформації про стан навколишнього середовища, яка не займає великий об'єм даних. В якості датчика температури та вібрацій пропонуємо використовувати Netvox R718E.

Маючи оптимальні та критичні значення температури та частоти вібрації, а також тиску й холодопродуктивності холодильного обладнання з використанням ІоТ, проектуємо бездротову систему діагностики холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника. Серцем будь-якого проекту Інтернету-речей (ІоТ) є його софтверна складова. Для проекту системи моніторингу обладнання холодильних машин – це LoRaWANNetwork Server, яка забезпечує спілкування між собою датчиків, актуаторів і базових станцій.

LNS також передає інформацію до ChirpStackLoRaWAN application-server (LAS), який відповідає за бізнес-логіку. Зв'язка LNS-LAS, як правило

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працює за MQTT протоколом, забезпечуючи таким чином універсальність обміну інформації з датчиками й системами контролю та ОПП.

Для передачі інформації з LAS ThingsBoard PE далі в SCADA з підтримкою OPC UA (наприклад, Siemens Win CC SchneiderElectricEcoStruxure або Open SCADA) використовується механізм інтеграції, який забезпечує різноспрямований обмін інформації OPC UA Server- LAS в мережі ІоТ холодозабезпечення промислового холодильника. LaRaWAN-мережа дозволяє також підключати датчики руху, контролю відчинення дверей тамбурів і холодильних камер, а головне, контролювати за допомогою датчиків струму витрати електрики на кожній стадії виробництва холоду та холодопостачання. Використання в системі моніторингу технологій ІоТ дозволяє ОПП постійно отримувати інформацію про стан компресорного обладнання і холодозабезпечення холодильних камер, збільшити горизонт прогнозування відмов обладнання. В системі діагностики ХМ передбачено використання штучного інтелекту з метою обробки масиву даних і розпізнавання та прогнозування АРМ-холодильщика аварійних ситуацій, аварій тощо. Економічний принцип роботи датчиків дозволяє експлуатувати систему збору даних без технічного обслуговування впродовж тривалого часу, оптимізуючи параметри холодопостачання та забезпечуючи високу надійність обладнання, а, отже, якість продукції охолодження-заморожування.

2.3 Вибір оптимального енергетичного обладнання для охолодження смарт-продуктів харчування

Холодильні камери промислових холодильників для заморожування м'яса тварин великої рогатої худоби (ВРХ)

розраховані на тривалу експлуатацію та високих навантажень. Кожен вид обладнання підтримує закладену амплітуду низьких температур і виконує покладені на нього функції.

Холодильники будь-яких конфігурацій створені для того, щоб забезпечувати температурні умови від 0°C до + 6°C (іноді до + 10°C), в той час як промислові морозильники гарантують -18°C (деякі навіть до -48°C) при зовнішній температурі повітря до + 43°C.

Для різноманітних продуктів харчування використовують різне холодильне обладнання зважаючи на різні характеристики вхідних продуктів, яким потрібні відповідні умови охолодження. Заморожування – зниження температури нижче точки замерзання м'яса харчових продуктів, так званої криоскопічної точки. Майже вся рідина, що знаходиться в продукті, замерзає, тому припиняється діяльність мікрофлори і ферментів. Заморожені продукти можуть зберігатися тривалий час за умови підтримки стабільно низької температури. Криоскопічна точка визначається кількістю розчинених у клітинному соку речовин. Для м'яса вона лежить в межах від +0,6 до +1,2 °С, для молока становить +0,55 °С, для яєць -0,5 °С, риби – від -0,6 до -2 °С.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продукти заморожуються в морозильних камерах, де температура становить від -30 до -40 °С. Для продуктів, які планується зберігати протягом нетривалого часу, температура може бути на рівні від -8 до -12 °С. Тривале зберігання заморожених продуктів вимагає температури не вище -18 °С.

При виборі обладнання для заморожування смарт-продуктів на сьогоднішній день використовується безліч різних способів підвищення енергоефективності холодильних установок. Розглянемо лише деякі з них, які надають найбільший вплив на ефективність роботи і не потребують значних витрат коштів, такі як:

- використання частотних перетворювачів обертання двигунів компресорів;
- установка системи управління вентиляторами конденсатора;
- застосування більш ефективних холодоагентів;
- врахування географічного розташування при виборі холодильної установки;
- раціональне використання тепла, що віддається холодильним обладнанням;
- оснащення кожної конкретної холодильної установки або холодильного комплексу власною системою автоматизації;
- використання енергоефективних компресорів;
- застосування плавного регулювання продуктивності компресорів;
- оптимізація роботи обладнання при мінімальному навантаженні;
- застосування агрегатів з двоступінчастим стисненням.

Для тривалого холодного зберігання харчових смарт-продуктів застосовується заморожування. Зараз в замороженому вигляді реалізуються не тільки такі продукти, як морозиво, м'ясо, риба, морепродукти, овочеві асорті, але і досить велика кількість кулінарних продуктів, починаючи від кондитерських виробів, зокрема, тортів, тістечок і бісквітів, і закінчуючи піцою та хлібом. Споживання заморожених продуктів постійно зростає в усьому світі. У розвинених країнах, наприклад, у Франції, за останні 10-15 років воно збільшилося в 10-15 разів, досягнувши рівня 35-40 кг на душу населення за рік.

Для заморожування існує багато способів, машин та апаратів, але з великим відривом випереджає один енергоефективний спосіб, який має ряд переваг. Шокове заморожування дозволило вирішити питання зі зберіганням в промислових масштабах продуктів харчування, напівфабрикатів, м'яса, риби, овочів і фруктів.

Сьогодні найбільш поширеним способом зберігання харчових продуктів є розміщення в холодильних камерах. Численні експерименти підтверджують вплив тривалості заморожування на величину кристалів льоду, на структуру і склад ферментів продукту. Шокове заморожування – це швидке охолодження в спеціальних приміщеннях (рис. 2.5) при температурі близько -35 °С.

									ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
										22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд камер шоквої заморозки боксового типу

Апарат шоквої заморозки представляє собою пристрій, за допомогою якого можна охолодити (до $+ 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) або заморозити (до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче) великий обсяг продукції за період часу до 90 хвилин.

Незважаючи на велику різноманітність обладнання для шоквої заморозки, визначальною характеристикою машини є її конструктивна схема – бокс, тунельна камера або установка спірального типу.

Камери шоквої заморозки бокси за своєю конструкцією близькі до однокамерних побутових холодильників і холодильників випарного типу. Випарник розташовується вгорі або збоку камери і генерує теплопередачею холодне повітря, що опускається донизу.

Камери шоквої заморозки крім своєї високої продуктивності цікаві значною адаптивністю. За рахунок великого діапазону можливих графіків охолодження одну і ту ж лінію можна налаштувати як на заморозку м'ясних продуктів, так і на обробку рослинних продуктів.

З економічної точки зору, організація морозильного виробництва із застосуванням камер шоквої заморозки, одна з найбільш доцільних. Така технологія використовується при роботі з продуктами середнього і великого розміру. Тунельні камери передбачають безперервне використання їх протягом значних періодів (до декількох діб). Тому, корпуси і двигуни силових агрегатів винесені назовні за межі камери, що полегшує доступ до них технічних служб. Іноді компресори та вентилятори дублюються для можливості ремонту без зупинки лінії.

Спіральні камери (рисунок 2.6) оснащуються циліндричними камерами, розташованими вертикально. У середині циліндрів монтуються конвеєри спіральної форми. На відміну від тунельної шоквої заморозки, фізичні параметри обробки в спіральних камерах постійні на всіх ділянках конвеєра – від завантаження до вивантаження продукції.

										ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
											23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд спіральної камери шокової заморозки
Сучасні машини цього типу оснащені системами антизаморожування і оперативного очищення, що дозволяє збільшувати цикл безперервної роботи до 14 діб.

Енергоефективність можна визначити як можливість отримання більшої віддачі від роботи обладнання при менших енерговитратах.

Можна виділити такі способи підвищення енергоефективності системи холодопостачання:

- застосування сучасного енергоефективного обладнання, в тому числі з маркуванням відповідності ERP (Ecodesign 2009/125 / EC);
- застосування технології для зміни температури кипіння холодоагенту VRT;
- застосування чілерів з удосконаленими конструкціями компресорів, переважно безмасляного типу;
- застосування мікроканальних теплообмінників;
- застосування VVR технології змінного ступеня стиснення холодоагенту;
- застосування IDV технології з проміжним випускним клапаном;
- застосування VPF систем зі змінною витратою води на випарнику;
- застосування систем з розширеними опціями обладнання холодильних машин (функціями фрікулінга, часткової та повної рекуперації скидного тепла, тощо);
- удосконалення принципів схем холодопостачання будівель (рівні резервування, відмова від проміжного гліколевого контуру, зрошувані градирні, рекуперація тепла / холоду тощо);
- оптимізація алгоритмів управління обладнанням (вибір параметрів регулювання, змінну витрату холодоносія тощо);

					ДонНУЕТ.142 –емб18.2022.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зниження встановленої потужності системи холодопостачання завдяки коректному обліку сезонної динаміки зміни зовнішнього клімату і акумулюючої здатності конструкцій будівлі;
- застосування вдосконалених систем акумуляції холоду (технології «Cristopia» та ін.);
- зниження потреби в холоді центральних кондиціонерів застосуванням непрямого випарного охолодження і систем утилізації холоду в роторних абсорбційних теплообмінниках;
- рекуперація тепла конденсатора холодильної машини, що може бути виконана шляхом додаткового опціонального оснащення. Рекуперація може бути реалізована при різних схемах холодильного центру (повітряохолоджуючий конденсатор, водоохолоджуючий конденсатор, проміжний теплообмінник та ін.).

Висновки до розділу 2

Доведено, що перспективні системи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпечення холодильних камер K_1, K_2, \dots, K_N промислових холодильників необхідно проектувати з урахуванням інтелектуальних технологій управління процесом охолодження-заморожування продуктів харчування. Розроблено багаторівневу систему автоматизації сучасного промислового холодильника з АРМ оператора-холодильщика, АРМ диспетчера, інформаційною системою моніторингу стану обладнання, програмного забезпечення, системою інтелектуальних датчиків, яка в режимі реального часу і візуалізації з центром інтелектуального управління забезпечує оптимальні режими холодопостачання холодильних камер з метою збереження корисних властивостей смарт-продуктів харчування, збільшення термінів їх придатності та мінімізації енергетичних витрат.

										Арк.
										25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

РОЗДІЛ 3

НЕЙРОУПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ХОЛОДИЛЬНИХ КАМЕРАХ

3.1 Інтелектуальні системи управління

Четверта промислова революція, яку називають «Індустрія 4.0» тісно пов'язана зі створенням цифрових виробництв, які забезпечують кардинальне підвищення продуктивності та якості харчової продукції. Цифрові технології проєкту «Індустрії 4.0» використовують Промисловий Інтернет речей (IIoT), технології великих даних й хмарних обчислень, методи штучного інтелекту.

Методи штучного інтелекту [13,15,16,17,18,19,20,24,25,26] знаходять використання в системах управління складними технологічними процесами виробництва продукції та її зберігання.

Основними завданнями таких систем є збереження корисних властивостей продуктів, збільшення термінів їх зберігання та мінімізація енергетичних витрат. Збереження продуктів харчування в холодильних камерах промислових холодильників є одним із важливих етапів технологічного процесу забезпечення населення продуктами здорового харчування. Тому автоматизація цих процесів є актуальною проблемою цифрового інтелектуального управління промисловими холодильниками.

Сьогодні математичним забезпеченням автоматизації технологічних процесів холодозабезпечення підприємств-холодильників у харчовій промисловості в науковому плані займаються такі вчені: І.Г. Чумак, В.І. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський [5], С.М. Василенко, В.І. Павелко, А.В. Форсюк, М.М. Масліков [4], О.С. Тітлов, С.Ф. Горикін [6], П.І. Дячек[7] та інші.

Активні дослідження щодо використання інтелектуальних систем керування холодильними установками проведені українськими вченими, якими спроектовані сучасні системи автоматизованого управління процесами холодопостачання за критерієм мінімізації енергоспоживання холодильними машинами [8,9,10,23].

Утім методи штучного інтелекту досі не використовувались в системах холодозабезпечення промислових холодильників з N видами продукції із-за складності рішення задачі та вимагають проведення додаткових досліджень в наведеній сфері.

Такі методи базуються на автоматизації управлінських функцій оператора-холодильщика і дозволяють забезпечити технології заморожування продуктів харчування з мінімізацією втрат їх якості.

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>						
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ		
Затверд.		<i>Омельченко</i>				Кафедра ЗІДО		

Ідея використання інтелектуалізації в системі управління процесами холодопостачання, керування процесами охолодження та заморожування продуктів харчування полягає у створенні об'єднаної інформаційним процесом сукупності технічних засобів, програмного забезпечення, автоматизованих робочих місць операторів-технологів, алгоритмів керування, баз даних, правил і знань та управлінні траєкторією виробництва холоду в реальному масштабі часу за допомогою ЕОМ.

Такі системи не лише оптимізують режими роботи холодильних машин та режимів холодопостачання, але і за рахунок використання мікропроцесорних систем керування (нижній рівень), АРМ АСУТП холодильної ланки (середній рівень), ситуаційних центрів інтелектуального управління (ЦУ) (верхній рівень) та програмного забезпечення (ПЗ), БЗ, БП, БОД, алгоритмів нечіткого керування з нечіткими регуляторами з інтелектуальними пристроями вимірювання та інтелектуальними виконавчими механізмами, відпрацьовують операції пуску-зупинки холодильних машин (ХМ), контролю, сигналізації, розпізнавання технологічних ситуацій, аварій та аварійних ситуацій, а, отже, мінімізують затрати енергії та вплив на навколишнє середовище у виробництві холоду. Інтелектуальна система управління промисловим холодильником наведена на рисунку 3.1.

Якщо для виробництва холоду проєктанти використовують парокompресійні холодильні машини, то інженерне обладнання повинно включати наступні локальні системи керування:

- системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора або групи компресорів;
- систему автоматичного керування роботою випарника і конденсатора;
- система пуску компресора (компресорів);
- захист від перегріву і перевантаження компресора і обладнання ХМ;
- захист від низького тиску в системі;
- комплект апаратури для вимірювання параметрів: комплект манометрів, термометрів для візуального контролю тиску і температури в компресорі та апаратах холодильної машини; вимірювальні вікна для візуального контролю рівня холодильного агента у випарнику та конденсаторі;
- систему перевірки напрямку обертання ротора компресора;
- систему контролю і регулювання параметрів змащування компресора;
- систему контролю і керування режимом роботи вентиляторів повітряного або водяного насосів конденсаторів;
- захист від швидкого повторного включення компресора при циклічному режимі його роботи;

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- систему підігріву картера компресора в зимовий період;
- систему захисту випарника від заморожування і прогрівання його при замерзанні;
- мікропроцесорні системи автоматизації і контролю роботи компресора та обладнання ХМ, у тому числі регулювання за допомогою терморегулюючого вентиля ступеня перегріву холодоагенту після випарника;
- систему контролю стану і ступеня очищення холодоагенту;
- сучасні системи сигналізації про відключення та включення компресора (компресорів), про виникнення високого або низького тиску, про роботу вентиляторів (насосів) конденсатора, випадкової затримки включення компресора, стан контурів тощо;
- дисплей для візуалізації режимів роботи компресорів холодильних машин, ПЗ для графічного забезпечення інформацією ОПР та АРМ технолога-оператора;
- систему контролю параметрів гідromодуля, забезпечення циркуляцією води або холодоносія через випарник і подачі їх споживачу холоду;
- засоби контролю параметрів і регулювання температури холодоносія на виході із випарника;
- реле контролю величини потоку холодоносія через випарник (з метою запобігання його замерзанню);
- система автоматизації лінії упорскування рідкого холодоагенту для охолодження гвинтового компресора мокрого стиснення і т.п.

Кожний із перерахованих вище елементів інтелектуальної системи керування нижнього рівня має свої динамічні та статичні робочі характеристики, які потрібно враховувати при проєктуванні адаптивних нечітких регуляторів [11], задіяних на нижньому рівні керування холодильними машинами (компресорами, конденсаторами, випарниками).

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

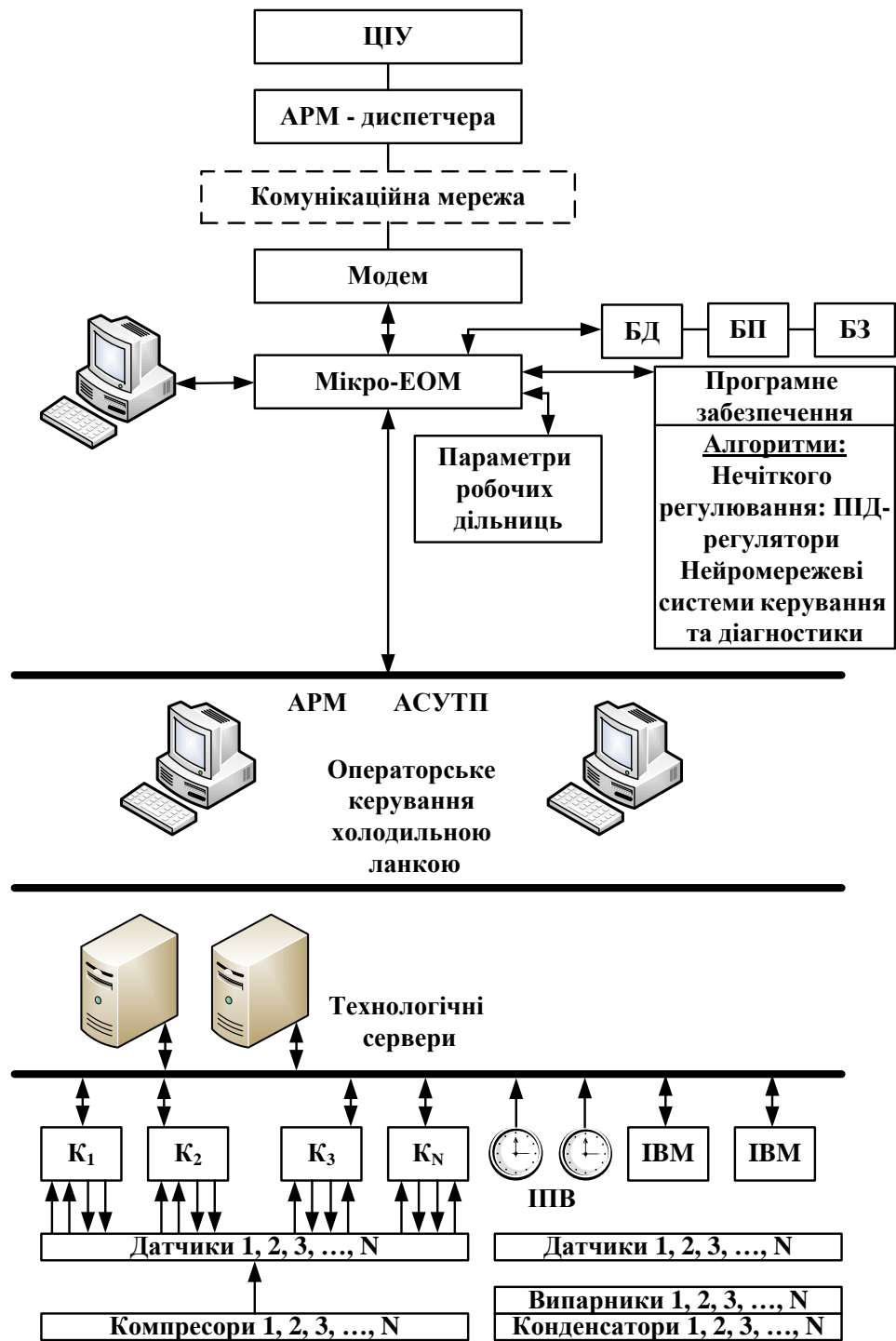


Рисунок 3.1 – Загальна функціональна схема автоматизації сучасного промислового холодильника (холодинної ланки): ЦІУ – центр інтелектуального управління; ІВМ – інтелектуальні виконавчі механізми; ІПВ – інтелектуальні пристрої вимірювання

Схема автоматизованої системи холодопостачання представлена на рисунку 3.1.

Якщо внаслідок діючих зовнішніх і внутрішніх факторів в охолоджуваному приміщенні (контейнері), яке будемо вважати об'єктом регулювання, надійшла додаткова кількість теплоти Q , то температура

повітря в ньому підвищиться.

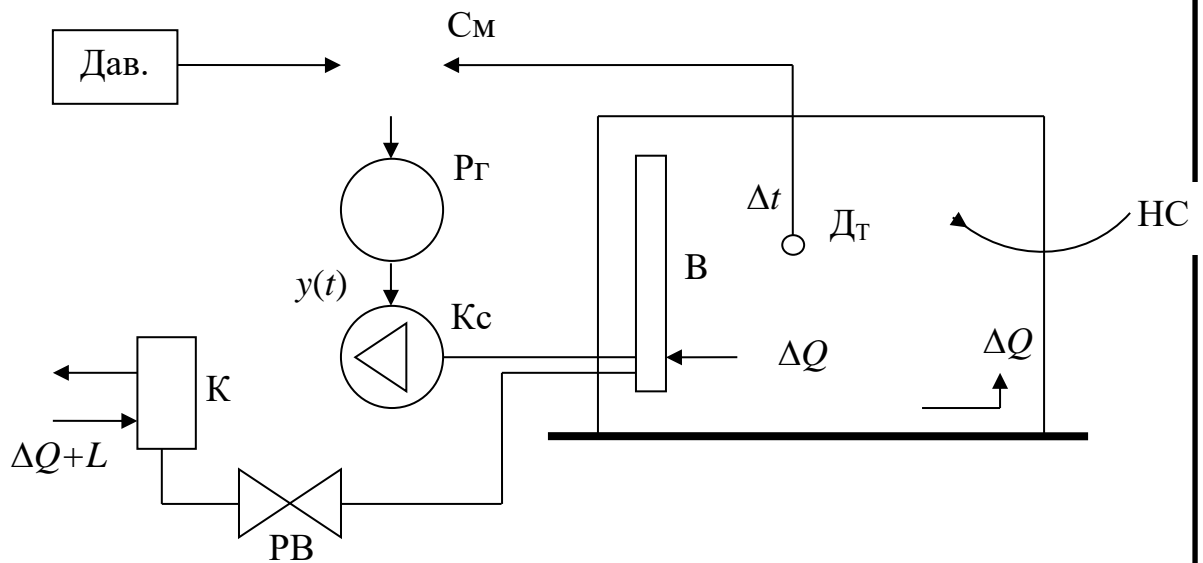


Рисунок 3.2– Схема автоматизованої системи холодопостачання:
Кс – компресор; К – конденсатор; В – випарник; РВ – регулюючий
вентиль;

ДТ – датчик температури; Рг – регулятор; См – суматор; Дав. –
давальник (задавальник); НС – навколишнє середовище

Зміну температури T (збурення для системи автоматичного регулювання) в часі буде зафіксоване датчиком $ДТ$. Сигнал датчика надходить на суматор $См$, який порівнює значення температури в приміщенні зі заданим значенням. У випадку підвищення температури в приміщенні від заданого значення різниця сигналу від давальника і датчика буде, наприклад позитивною, при зниженні – від’ємною. У випадку неузгодження сигнал надходить на регулятор $Рг$, який формує регулювальний вплив. Регулювальний вплив $y(t)$ прикладається до холодовиробничого комплексу, який збільшує чи зменшує подачу холодоагенту (або холодоносіїв) в прилади охолодження. В результаті цього із приміщення при збільшенні T виноситься надлишкове тепло, а температура повітряного середовища буде зменшуватись. Зміна температури

в контрольованому приміщенні знову вимірюється датчиком, сигнал про нове відхилення (неузгодженість) або у ситуації відсутності знову надходить в контур автоматичного регулювання.

Система автоматичного регулювання характеризується безперервним односпрямованим переміщенням сигналу в контурі та корекцією прийнятого рішення щодо результатів впливу на ОР керованого впливу. Повернення інформації в САР щодо прийняття ранішнього рішення за величиною і напрямом дії регулюючого впливу називається зворотним зв'язком (ЗЗ). Зворотний зв'язок в САР холодопостачання значно підвищує точність керування холодопродуктивністю.

У процесі проєктування розподілених нечітких АСУТП виробництва холоду необхідно за допомогою ситуаційного центру інтелектуального управління забезпечити холодопостачання на різних рівнях виробничих ситуацій, а саме:

ситуація 1 рівня характеризується керуванням лише одним компресором, при цьому забезпечуються функції керування, контролю за безпекою, регулювання холодопродуктивності і втручання ДП-холодильщика у випадку аварійної ситуації (аварії);

ситуація 2 рівня полягає у керуванні двома компресорами, при цьому до попередніх функцій додається керування узгодженою роботою компресорів;

ситуація 3 рівня полягає у керуванні машинною залогою, до набору функцій ситуації 2 додаються ще керування та нагляд за роботою насосів для холодильного агента, регулювання сепараторів рідини та теплообмінників;

ситуація 4 рівня представляє собою управління всією ХМ, включаючи контури охолодження, що створює додаткові функції (розморожування випарників, контроль за температурою, тиском і т.п., а також захист ХМ від аварійних ситуацій).

В умовах інтелектуального керування виробничими ситуаціями 1-4 рівнів ОПР підприємства-холодильника приймає рішення щодо оптимізації режимів холодопостачання охолоджуваних камер для зберігання харчових продуктів підприємства. У цьому випадку в роботу включається центр інтелектуального управління (ЦІУ) підприємства-холодильника (рисунок 3.1).

Основними функціями ЦІУ є наступне:

- керування обладнанням у відповідності з денним графіком з цифровим доступом і оперативним програмним забезпеченням (ОПЗ);
- управління енергією;
- захист обладнання, інформації й персоналу за допомогою спеціального обладнання від кібератак, контроль доступу до інформації;

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

– діалог людина/машина на зрозумілій мові з візуалізацією й запитом, що забезпечує виведення на друкувальний пристрій або монітор параметрів, значень, показників вимірювальних датчиків, сигналів про негаразди, час роботи, положення ВМ регулювання або керування, схем, значень перевищення граничних рівнів;

– можливість впливу на ВМ за допомогою центрального пульта (ЦП), а також різних погодинних, спеціалізованих, автоматичних, математичних або реагуючих на збурення програм;

– збереження інформації для оброблення або архівування;

– оброблення в інформаційному режимі будь-яких значень, які можуть бути представлені у формі графіків або іншої інформації, а також функцій керування та розрахунку стосовно цих величин.

Завдяки ЦПУ та інформаційного забезпечення технічного персоналу відомостями про аномалії в роботі систем холодопостачання, визначення місць їх виникнення, в ОПР є можливість своєчасного прийняття рішень. Крім цього ЦПУ, що працює в режимі авторегулювання і автопідлаштування дозволяє у сполученні з раціональним централізованим керуванням компресорними установками ХМ значною мірою економити енергію в результаті підвищення ефективності, оптимізації часу роботи ХМ. Все це забезпечує більш тривалий термін експлуатації обладнання та більш швидко окупність ХМ.

Відзначимо, що завдяки ЦПУ топ-менеджери холодильного підприємства одержують інформацію в режимі реального часу, що дозволяє організувати роботу ХМ в оптимальному режимі за рахунок адаптивних нечітких систем керування компресорами, конденсаторами та випарниками. Тобто забезпечити траєкторією виробництва холоду за рахунок роботи автоматизованих пристроїв та забезпечити всі експлуатаційні якості ХМ. Завдяки ЦПУ ОПР одержують інформацію про кількісні параметри споживаної енергії, про обладнання, що потребує обслуговування, і, головним чином, про необхідність його модернізації. Звідси слідує, що ситуаційний центр інтелектуального управління дозволяє за рахунок систем MES, ERP керувати оперативним і стратегічним плануванням підприємства-холодильника [11,13,19,20].

Звернемося знову до рисунку 3.2. Уявимо собі холодильну камеру ХМ, в якій є випарник. Якщо терморегулюючий клапан встановлений вірно, то температура в камері досягає номінального значення. Але із-за впливу навколишнього середовища, наприклад, після багаторазового або тривалого відкривання дверей камери, температура внутрішнього повітря змінюється і встановити її номінальне значення можливо лише за допомогою терморегулюючого клапана. Значна кількість збурень (відкривання дверей, надходження продуктів з більш високою температурою, ніж в контейнері (складському приміщенні), збільшення притоку свіжого повітря і т.п.) призводить до змін заданої температури.

Вищеперелічені збурення можуть бути скомпенсовані за допомогою

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адаптивних нечітких систем керування ХМ і АРМ оператора-холодильщика, пов'язаного з системами моніторингу стану обладнання та навколишнього середовища.

В якості АРМ-оператора найчастіше використовуються промислові персональні комп'ютери, які мають підвищені показники захисту обладнання від шкідливих впливів навколишнього середовища-вологи, пилу і температури. У нашому випадку – SIMATIC Panel PC [12]. Даний комп'ютер SIMATIC S7 слугує для позиціонування підрахунку подій, масштабування і керування ІВМ холодильних машин та систем холодопостачання.

Рішення задач диспетчерського керування промисловими холодильниками можливо за допомогою програмних продуктів PI System компанії OSIsoft, лінійки програмного забезпечення GE Digital, програмного продукту HIDRA компанії MPDV.

АРМ АСУТП промислового холодильника одержує інформацію від підсистеми моніторингу стану обладнання робочих дільниць. Підсистема призначена для забезпечення візуалізації і контролю стану технологічного обладнання в режимі 24/7 (24 години на добу, 7 днів на тиждень), тобто цілодобово і безперервно. Система дає можливість реалізувати презентацію з різним ступенем деталізації: від відображення на єдиній схемі групи дільниць з розподіленням обладнання (холодильних камер і систем холодопостачання) до візуалізації з точністю до окремого елемента або конкретної дільниці (компресорні станції). АРМ-диспетчера промислового холодильника обладнане відео-стіною. Вона розміщується в приміщенні диспетчерського пункту промислового холодильника. Відео-стіна представляє собою набір встановлених рідино-кристалічних (РК) панелей, кожна із яких має діагональ 40 дюймів і роздільною здатністю не гірше 1366 на 766 пікселів.

Управлінська Мікро-ЕОМ побудована на базі персонального комп'ютера промислового виконання, який підключено до сервера-джерела бази даних системи технічного моніторингу і керування холодильним обладнанням промислового холодильника великої потужності [23].

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Система інтелектуального контролю геометрії заморожуваних продуктів

У системах керування холодозабезпеченням холодильних камер для заморожування туш великої рогатої худоби (ВРХ) з оптимальними температурними режимами -40 C і менше та підтримання вологісного режиму необхідно автоматично в темпі з процесом контролювати їх важливі параметри, [22,23].

В розробленій в ДОННУЕТ імені Михайла Туган Барановського інтелектуальній платформі “Їжа” моніторинг параметрів керування холодильними установками виконано за допомогою датчиків температури і вологи повітря в холодильних камерах. Це дозволяє оператору за допомогою програмного інтерфейсу та візуалізації параметрів оптимізувати витрати енергії та скоротити викиди CO_2 [13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23].

Концепція збільшення ефективності, надійності та підвищення безпечності заморожування продукції харчування вимагає від дослідників нових проєктних рішень щодо контролю параметрів геометрії заморожуваного продукту великої рогатої худоби (ВРХ).

У сучасних системах автоматизованого управління широко використовуються способи і пристрої визначення розмірів предметів охолодження, наприклад оптико-телевізійні або радіолокаційні [24]. Суттєвою ознакою цих способів і пристроїв є те, що виконується аналіз одержаної інформації відповідно до розроблених алгоритмів розпізнавання образів [25] та надаються висновки про координати об'єкту досліджень. Серед недоліків цього методу необхідно відмітити недостатню точність визначення геометрії об'єкту за рахунок низької завадостійкості, обмеженої можливості фільтрації завад, та неможливості швидкої адаптації при зміні параметрів холодильної камери і виду заморожуваного продукту.

Тому створення способу керування рухомим об'єктом (геометрії туші ВРХ) в просторі холодильної камери з покращенням функціональними можливостями, за рахунок точності швидкодії визначення параметрів координат туші ВРХ і, як наслідок, підвищення оперативності виконання задачі оптимізації втрати споживчих характеристик продуктів харчування є важливим атрибутом проєктних рішень.

Іншим важливим аспектом роботи є створення автоматичної системи візуалізації технічного стану випарника холодильної камери (обмерзання випарника) та формування команд щодо адаптивного керування процесом відтаювання випарника. На рисунку 3.3 наведено блок-схему системи керування матричним сенсором оцінки розмірів туші ВРХ

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

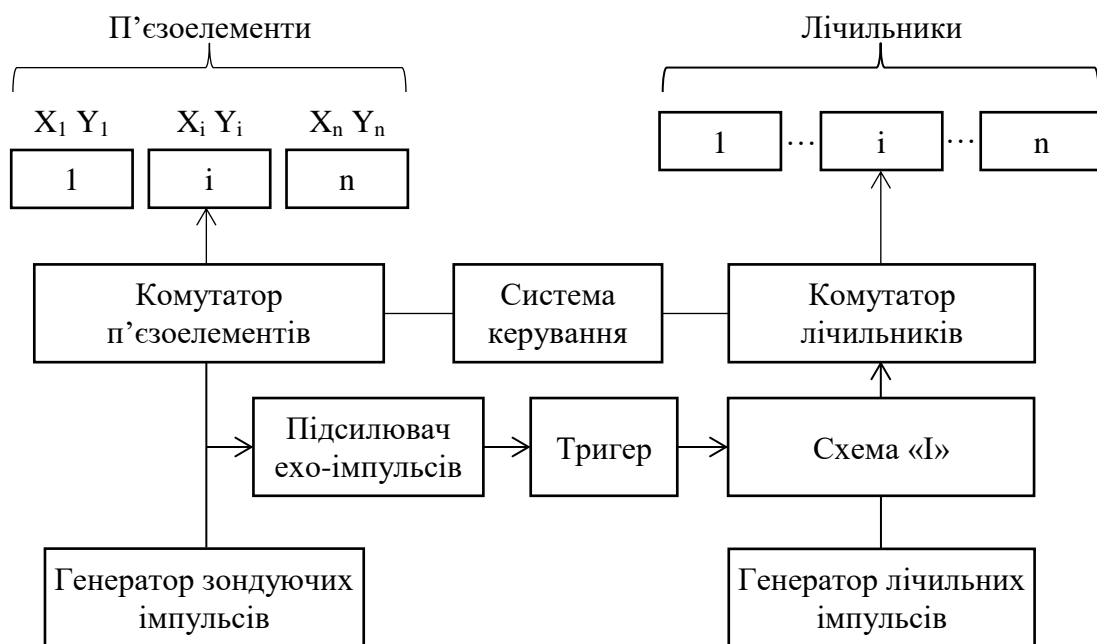


Рисунок 3.3 Блок схема системи керування матричним сенсором

Для рішення цих інноваційних завдань будемо використовувати інтегровані методи нечіткої оцінки геометрії туші, її кольору з використанням як матричних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, так і системи з відеокамерами комп'ютерного зору [24,26,27]. Такий підхід формування інтегрального зображення туші ВРХ за допомогою нейро-мережових технологій дозволяє: а) одержати інтегральні інформаційні параметри зображень туші ВРХ при формуванні сигналів з ультразвукових чутливих елементів та б) система дозволяє визначити геометрію, топологію і колір туші ВРХ для порівняльних сигналів зображення і зміни положення туші, її кольору тощо. в) система визначає геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перетину контурів, геометричного центру і елемента зображень, постійно аналізуємих ділянок холодильної камери. При цьому перехід до типу зображення виконується на основі обчислення адаптивного коефіцієнту (експертно- тестового зображення) і того дійсного зображення туші ВРХ , яка є в холодильній камері. г) система може розпізнавати ділянку території за допомогою нейромережових технологій, що дозволяє оператору-технологу (холодильщику) аналізувати кількість туш ВРХ та можливість додаткового завантаження холодильної камери.

Розпочнемо синтез системи з вивчення принципу дії інтегрованих датчиків контролю геометрії тіла ВРХ. У системі, як уже вказано, використано також матричний сенсор з ультразвуковим чутливим елементом..

Відеокамери В1, В2, В3 — призначені для відображення розмірів туші та стану обмерзання випарника. Інтелектуальний блок оброблення відеозображень перетворює зображення туші від відеокамери в бінарну матрицю. Блок діагностики обмерзання випарника — система візуалізації оцінки стану намерзання льоду на поверхню випарника.

Блок нейромережового розпізнавання зображень туші окремими вхідними пристроями приєднаний до деяких виходів інтелектуального блоку оброблення зображення туші, схеми порівняння, пам'яті еталонів. Блоки підключення відеокамер ВК1,ВК2,ВК3 та МС1,МС2 зображень виконані у вигляді багатоканального мультиплексора. Визначення геометрії туші в статті виконано за рахунок оцінки зображень різних розмірностей і кольору та обчислення параметрів туші.:

Як правило матричний сенсор утворює з'єднання двопозиційних, або пропорційних датчиків, які розташовані на прямокутній решітці.

Положення кожного датчика визначається його адресою, тобто номерами строчки і стовбців, на пересіченні яких знаходиться.

Сукупність адресів з діючих датчиків (які мають стан "1") несуть інформацію про форму, положення і орієнтацію об'єкту, з яким контактує датчик. Якщо в якості об'єкту досліджень обрати форму і геометрію великої рогатої худоби (ВРХ), тоді в якості сенсорів ми можемо використати

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матричні сенсори, дія яких основана на п'єзоєфекті [26,27]. У цих датчиках в основному використовуються гнучкі полімерні п'єзоплівки. Схема матричного датчика на основі п'єзоелектричної плівки (полівінілфториду) представлена на рисунку 3.4.

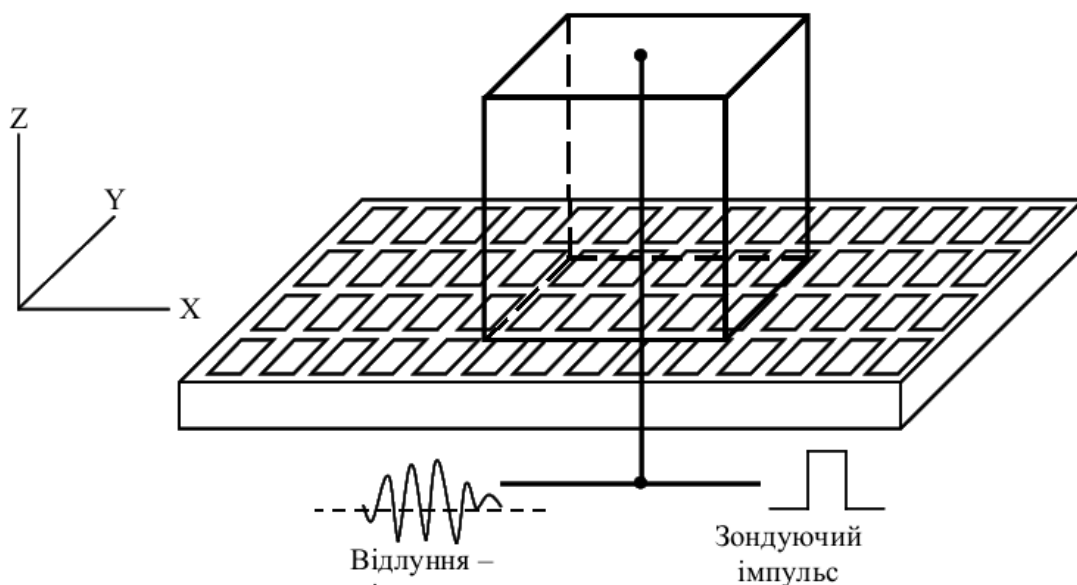


Рисунок 3.4 Матричний сектор з ультразвуковими чутливими елементами

Мініютизація електричних елементів і нові технології їх виготовлення дозволили створити багатошарові інтегровані структури, які об'єднуються в одному модулі. Чутливий елемент і електронні пристрої повинні виконувати первинне оброблення сигналів.

Типовим прикладом є багатошарова матриця, яка представлена на рис 3.4 з п'єзотричним ефектом. Коли в процесі прикладення високочастотної змінної напруги п'єзокристал починає генерувати ультразвукові коливання, то в результаті обчислень можливо отримати інформацію про розміри об'єкта досліджень. Отже одним із варіантів датчика геометрії буде пристрій, який реалізує ехо-імпульсний метод ультразвукової локації - геометрії тушки ВРХ. Ультразвукові перетворювачі утворюють

інформаційну поверхню, на яку може реагувати система керування холодозабезпечення ХК промислового холодильника. Об'єкт-ВРХ може перекривати деяке число перетворювачів. Знаючи адресу перекритих перетворювачів, можливо одержати інформацію про площину і геометрію ВРХ(об'єкта) [26,29]. Сенсор дозволяє також визначати і третю координату — висоту об'єкту в точці по заданому адресу. Для цього на ультразвукові перетворювачі послідовно надходять зондуєчі імпульси — короткі імпульси (<1 мкс) великої амплітуди (100-150В). Збуджені цими імпульсами перетворювачі надсилають ультразвукову хвилю. Хвиля розповсюджується

через повітря в тіло ВРХ і, досягнувши перелому у вигляді межі між двох середовищ (наприклад, поверхня об'єкту), відіб'ється від нього.

Відбиті ультразвукові коливання будуть прийняті тим же перетворювачем, що приводить до появи ехо-імпульсів на його виході. При відомій швидкості розповсюдження ультразвукових коливань в матеріалі об'єкта (v), його висота (z) в даній точці визначаються співвідношенням $z = tv/2$, де t – інтервал часу між подачею зонduючого імпульса і появи ехо-імпульса. Зонduючі імпульси від генератора надходять послідовно на п'єзодатчики через комутатор. Одночасно зонduючий імпульс надходить на тригер, формуючи на виході сигнал підвищеного рівня ехо-сигнал після підсилення також надходить на тригер, скидуючи цей сигнал. Таким чином, довгота вихідного сигналу тригера пропорційна висоті z -об'єкта в точці за адресою X, Y ; що визначається комутатором [24,26]. Для перетворення цієї довготи в цифровий код, імпульс тригера відкриває ключ, через який на вхід відповідного лічильника надходить сигнал, який підключає комутатор. Від високочастотного генератора надходять лічильні імпульси, накопичене число яких до появи ехо-імпульсів пропорційно висоті об'єкту.

Перетворювачі та лічильники підключаються на період, який визначає максимально допустиму висоту об'єкта. У відсутності ехо-імпульсу (об'єкта в даній точці не має) лічильники переповнюються. Сигнал переповнення використовується для скиду лічильника і для комутації наступних сигналів датчика і лічильника. Із блока 4×4 ультразвукових елементів створено матричний датчик, який має 1024 елементів, утворюючих чутливу поверхню 160×160 мм². Сенсор дозволяє функціонувати на високих частотах зонduючих імпульсів (10^6 - 10^9 Гц), що визначає його швидкодію.

3.3 Інтелектуальна система комп'ютерного зору геометрії туші ВРХ та управління процесом заморожування.

На рисунку 3.5 наведено систему інтелектуального керування завантаженням холодильної камери та комп'ютерного геометрії туші м'яса ВРХ. В системі використано Банки експертного зображення ВРХ, та експертну систему і алгоритм розпізнавання обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

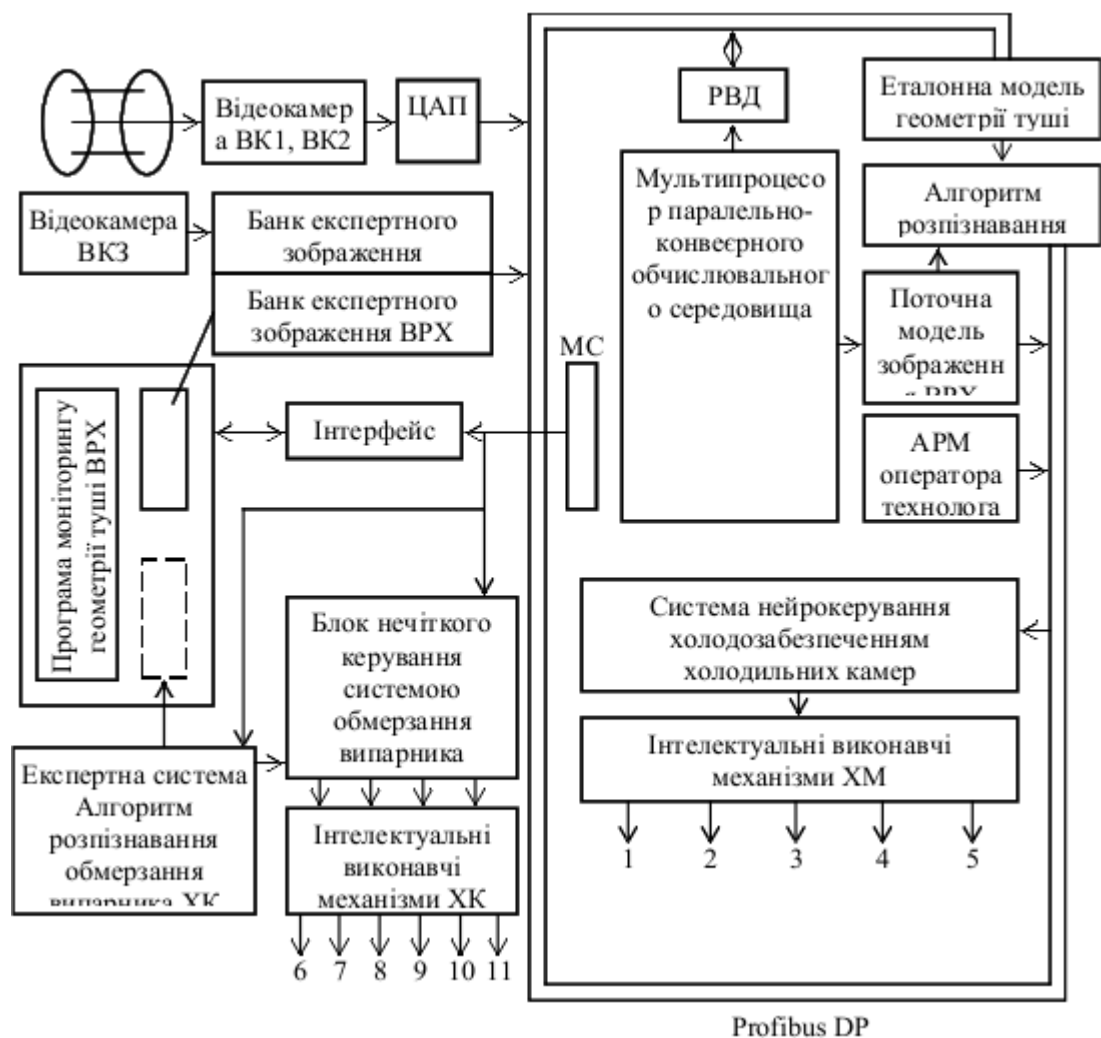


Рисунок 3.5 Система комп'ютерного зору зображення геометрії тіла ВРХ та зображення стану випарника з системами нейрокерування РВД – реєстр вхідних даних з еталонними моделями

У системі комп'ютерного зору геометрії туші ВРХ також використано: відеокамери ВК1, ВК2 та систему сенсорів МС, реєстри вхідних даних (РВД), цифро-аналогові перетворювачі ЦАП-АЩ, мультипроцесор паралельно-конвеєрного обчислювального середовища, алгоритм розпізнавання еталонних і реальних (поточних) моделей зображення туші ВРХ.

Система нейрокерування холодозабезпеченням дозволяє оператору-технологу автоматично керувати інтелектуальними виконавчими механізмами 1,2,3,4,5.

А саме: 1 — холодопродуктивності поршневого компресора із синхронним двигуном першого каскаду; 2 — холодопродуктивності гвинтового компресора із електроприводом АД-ТПЧ; 3 — керування процесом конденсації в системі холодопостачання; 4 — керування витратами холодоагенту; 5 — керування параметрами енергозабезпечення холодильних машин.

Система дозволяє також розпізнавати на основі нечітких моделей процес обмерзання випарника холодильної камери промислового холодильника та надавати команди інтелектуальним виконавчим механізмам 6,7,8,9,10,11.

Серед них: 6 — сигнал-команда щодо зміни продуктивності АД-ТПЧ вентилятора В1, 7- сигнал щодо зміни параметрів вентилятора В2, 8 — зміни режимів роботи тиску холодоагенту у випарнику, 9 — управління параметрами мікроклімату в холодильній камері, 10 — керування тривалістю заморожування м'яса туші ВРХ, 11 — керування процесом диспергування (обмерзання).

Перейдемо до технології контролю геометрії заморожуваного продукту в холодильній камері з відеокамерами ВК1, ВК2 і системами цифро-аналогового перетворювання сигналів (ЦАП) і виведення інформації на монітор оператору-технологу.

У системі керування процесами заморожування та оцінки геометрії тіла ВРХ використано метод нейро-керування з еталонною моделлю (Model Reference Adaptive Control, Neural Adaptive Control) [19,24,25,27,28].

Запропонований підхід до побудови системи керування та контролю параметрів геометрії туші ВРХ дозволяє підвищити якість перехідного процесу часу заморожування, а також мінімізувати втрати якості продукту. Створено банк експертних зображень, який має еталон зображення багатьох ВРХ, і за допомогою алгоритму розпізнавання в системі повинен бути ідентифікований образ геометрії ВРХ у вигляді експертного розміру R [4]. Так як цифрове зображення представляє собою матрицю чорно-білого зображення туші ВРХ шкала градації сірого кольору має довжину від 0 (чорний колір) до 255 (білий колір). Таким чином, на вхід НМ можна подати

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення кожного пікселя цифрового зображення ВРХ у вигляді інформаційної матриці векторів. Допустимо, що система тренерована розпізнавати 10 зображень ВРХ. Отже, вихідний шар нейронної мережі

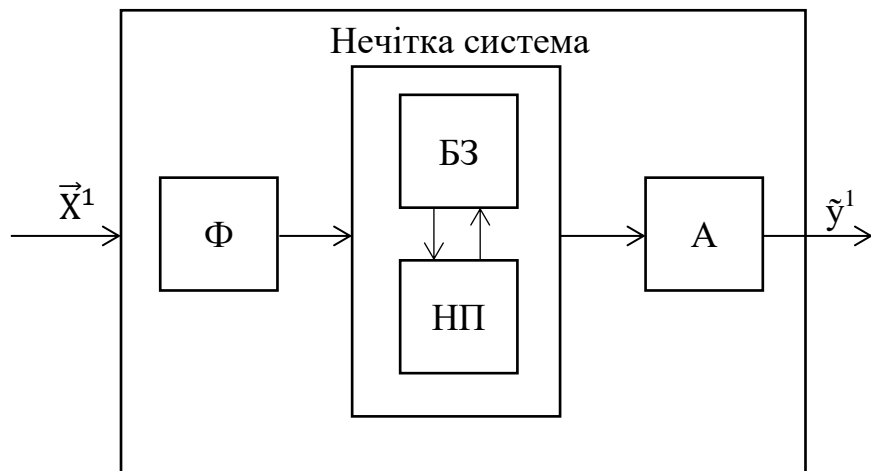


Рисунок 3.6 Схема нечіткої системи розпізнавання з нечітким виведенням сигналів-команд

Ф – фазифікатор, БЗ – база знань, НП – нечіткий процесор, А - аналізатор

повинен мати 10 нейронів, кожен з яких “навчений розпізнавати” відповідно тіло ВРХ. Якщо на виході будь-якого нейрона сигнал є максимальним по відношенню до іншого, то тоді цей нейрон є “головним” у системі розпізнавання. Оскільки він зв’язаний з образом визначеного тіла ВРХ із цієї десятки, то ідентифікаційною буде та форма ВРХ, якій відповідає даний нейрон. Відмітимо, що у випадку використання комбінації сигналів з відеокамер ВК1, ВК2, і матричних сенсорів з ультразвуковими чутливими елементами, покращено рівень ідентифікації трьохвимірного простору туші ВРХ за рахунок мультипроцесора та алгоритмів паралельно-конвеєрного обчислювального середовища [24,25,26]. Оптимізація параметрів холодозабезпечення холодильних камер ПРХ для виконання операції заморожування м’яса в системі, забезпечено також за допомогою нечітких систем розпізнавання образів [25,28]. Нечіткі системи успішно зарекомендували себе для рішення подібних задач керування складними

технологічними процесами заморожування хліба, інших продуктів харчування для людей, що мешкають на територіях, що працюють на підприємствах з техногенним забрудненнями [13,17,18,22,23,29].

Побудуємо нечітку систему, яка спроектована на правилах з лінгвістичними змінними, схема якої представлена на рисунку 3.6, на вхід системи подається m -мірний вектор X . Для кожної компоненти вектора x , $i=1, \dots, m$ в блоці “Ф-фазифікатор” побудований синглітон - одноточкова нечітка множина [24,25].

На другому етапі виконується оброблення даних за допомогою механізму нечіткого виведення, який складається із бази знань (БЗ) і

						ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
							41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

нечіткого процесора (НП). База знань будується за допомогою нечітких портретів, одержаних на етапі аналізу виборки прецедентів [24,25]. Слід відмітити, що стандартний для системи даного типу блок “дефазифікації” відсутній і замінено “аналізатором — А”, в якому побудована модифікована нечітка множина Y . Розглянемо спосіб формування бази знань. Кожне її правило відповідає нечіткому портрету, наприклад “обмерз випарник” або портрету “обмерзання випарника

Кількість нечітких предикатів у полі “ЯКЩО” правила відповідає m інформативним правилам. У полі “ТО” нечітка множина Y є монотонною функцією, що використовується в алгоритмі нечіткого виведення Цукамото [24,25,28].

Прийняття рішень виконується на основі механізму нечіткого виведення. Слід відмітити, що в якості операції “І” на етапі агрегування використана m -місцева логарифмічна функція:

Як було відмічено раніше, в системі використано блок “аналізатор — А”, який працює по наступному принципу. На вхід “аналізатора” надходить нечітка дискретна множина X , де кожний елемент несе інформацію про відповідний образ “обмерзання випарника”. Таким чином, алгоритм розпізнавання дозволяє на основі “банку експертного зображення випарника” через інтерфейс надавати “оператору-технологу” інформацію про можливі ситуативні рішення щодо керування процесом відтавання випарника. Отже, використовуючи алгоритм розпізнавання стану випарника та пристрої контролю процесу обмерзання, що базується на використанні штучних нейронних мереж [24,25,26,28]. автори наукової роботи запропонували спосіб і систему автоматизованого керування процесом замерзання (див. рис. 3.3). В цьому способі керування важливу роль відіграє “Блок адаптивного керування системою обмерзання випарника” та інтелектуальні виконавчі механізми 6,7,8,9,10,11. Останні керують вентиляторами випарника B_1, B_2 , клапанами тиску всмоктування, та ультразвуковим деспергатором розморожування випарника (виконавчий механізм 11).

На рисунку 3.7 наведено блок-схему узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильних камер ПРХ

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

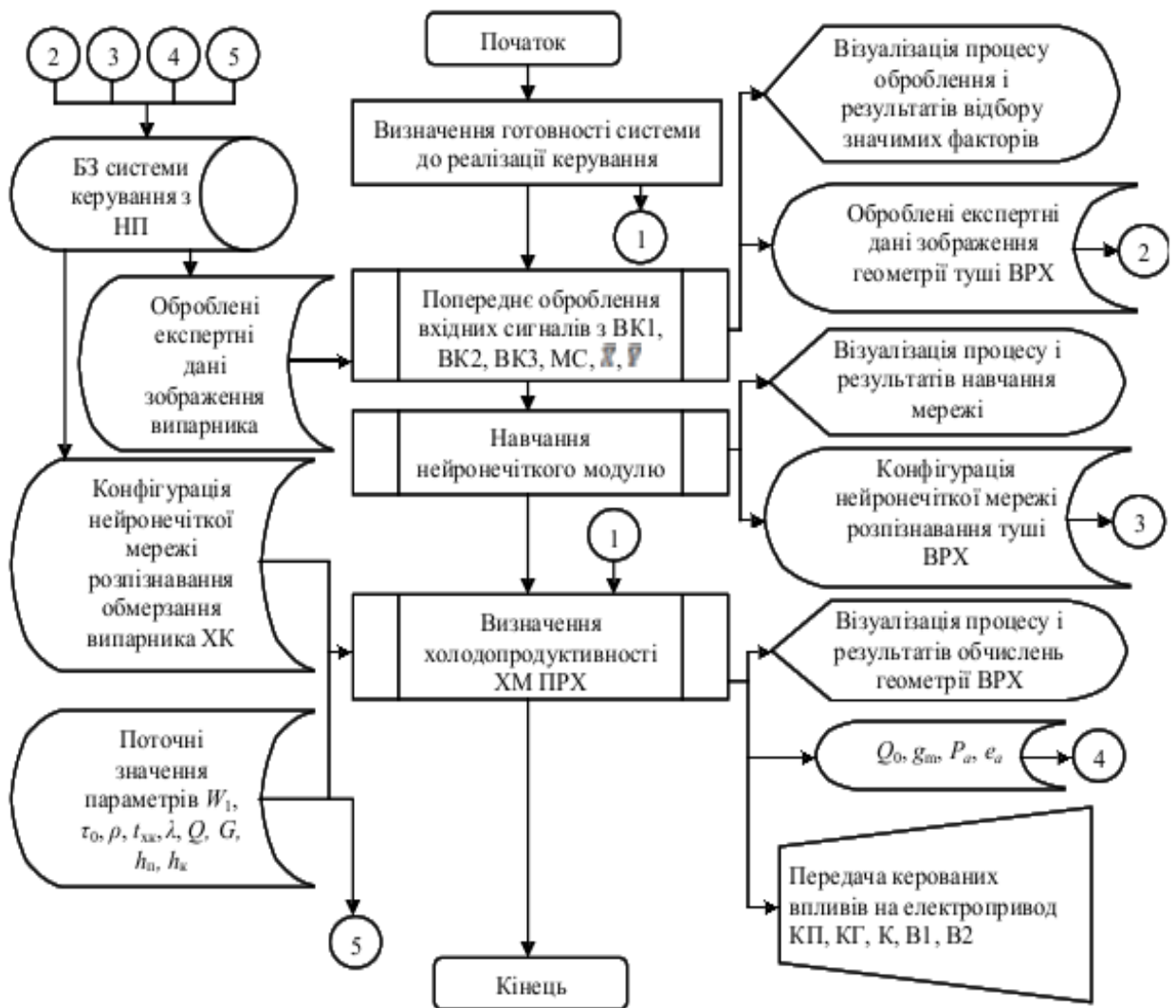


Рисунок 3.7 Блок-схема узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери.

На основі розроблених методів керування холодозабезпеченням холодильних камер для заморожування м'яса в тушах ВРХ розробимо також алгоритмічне забезпечення системи керування. Воно включає наступні алгоритми: алгоритм попереднього оброблення цифрової інформації, алгоритми відбору значимих ознак, які визначають геометричні розміри туші ВРХ та ознаки обмерзання випарника холодильної камери; алгоритми розпізнавання стану випарника і розпізнавання зображення геометрії туші ВРХ, нейро-нечіткі моделі керування процесом заморожування, алгоритм розрахунку технологічних параметрів: (t - тривалість заморожування, кількість теплоти, відведеної від туші ВРХ — Q_m); алгоритми розрахунку параметрів холодопродуктивності каскаду компресорів КП (компресор поршневий), КГ (компресор гвинтовий), конденсатора, вентиляторів В1, В2; алгоритми розрахунку енергетичної ефективності, алгоритм керування холодною машиною ПРХ.

Система керування процесом заморожування м'яса туші ВРХ працює у відповідності з узагальненим алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис 3.7. Цей алгоритм є центральним і виконує запуск та зупинку інших

алгоритмів. Після запуску системи проходить перевірка її підготовки до реалізації управління і відпрацювання послідовності дій. Оператор визначає необхідність синтезу і навчання нейро-нечітких алгоритмів розпізнавання в залежності від якості навчання Банку експертного зображення ВРХ та Банку зображення стану випарника або наявності конфігураційних файлів відповідних вагових коефіцієнтів [24]. Формування навчальних виборок для двох моделей виконується на основі інформації - оброблення експертних даних зображення туші ВРХ і зображення стану випарника, а також на базі знань про параметри технологічного процесу заморожування м'яса туші та оцінки якості продукту, енергетичних параметрів процесу холодозабезпечення тощо. У залежності від типу м'яса (яловичина, телятина, свинина) із бази знань нейро-нечіткого комп'ютера відбувається завантаження вхідних сигналів для навчання нейро-нечіткого модуля керування процесом заморожування.

Результати кожного етапу керування візуалізовані для ОПР (особа, що приймає рішення), та надходять в систему нейрокерування інтелектуальними виконавчими механізмами холодильних машин промислового холодильника. В результаті імітаційного моделювання роботи узагальненого алгоритму доведено, що досягнута точність управління процесом заморожування м'яса ВРХ з розпізнаванням геометрії туші та розпізнавання стану замерзання випарника є достатньою для забезпечення енергоефективної роботи холодильних машин і формування необхідних споживчих характеристик м'ясних продуктів.

Висновки

Розроблено систему інтелектуальних датчиків контролю параметрів туші м'яса великої рогатої худоби та ознаки стану випарників холодильної камери і системи холодозабезпечення промислового холодильника. Розроблена Система автоматичного розпізнавання в режимі реального часу визначає:

- геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів, площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перегину контурів, геометричного центру елементів зображень;
- постійно аналізує простір ділянок холодильної камери.

Запропоновано інтелектуальну систему нейрокерування холодозабезпечення холодильної камери, в якій дві відеокамери та матричні сенсори з п'єзоелементами оцінки форми туші великої рогатої худоби та банк її експертного зображення. Через інтерфейс з підсистеми інформаційного забезпечення система надає оператору-технологу відеоінформацію та автоматично впливає на інтелектуальні виконавчі механізми компресорів, вентиляторів, конденсаторів. Розроблено систему нечіткого керування процесом обмерзання випарника, в якій передбачена експертна система, алгоритм розпізнавання, банк експертного зображення випарника зі сніговою шубою та інтелектуальним механізмом ударного впливу ультразвукових

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коливань на поверхню приладу охолодження. Наведено узагальнений алгоритм функціонування систем керування холодозабезпеченням холодильної камери промислового холодильника та методику його використання.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

ВИСНОВКИ

Основним завданням даного дослідження було визначено удосконалення принципів інтелектуального управління процесами заморожування в промислових холодильниках комплексів з виробництва смарт-продуктів харчування. Аналітичний огляд науково-технічної літератури та проведені дослідження показали можливість досягнення такої мети за рахунок впровадження на підприємствах з виробництва холоду автоматизованих систем управління електроспоживанням холодильних машин та промислових холодильників. При цьому робота таких систем повинна бути узгоджена з оптимізацією технологічних процесів виробництва холоду – холодопостачання певної кількості холодильних камер – та енергетичними параметрами синхронних та асинхронних двигунів поршневих і гвинтових компресорів холодильних машин.

У першому розділі роботи було визначено, що інтегральним показником енергоефективності камер є споживання холоду за одиницю часу на тону продукції. Споживання електроенергії на вироблення холоду залежить від температурних режимів в камерах. Відповідно до відомих термодинамічних характеристик холодильних машин зі зниженням температури в камерах, питомі витрати електроенергії на вироблення холоду зростають. Однак цей очевидний фактор зміни енергоємності вироблення холоду слід враховувати лише при суттєвих коливаннях температури камер певного цільового призначення.

Запропоновано для використання шокову заморозку, як оптимальне енергетичне обладнання для виробництва заморожуваних смарт-продуктів харчування.

Проведено аналіз та вибір оптимального обладнання за критерієм енергоефективності для виробництва заморожуваних смарт-продуктів харчування.

Розглянуто основні завдання оперативного управління компресорними холодильними установками, принципи побудови системи управління на основі діагностики режимів роботи обладнання та вибрано стратегію управління компресорними установками з врахуванням нелінійних параметрів процесів холодозабезпечення холодильних камер.

Розроблено багаторівневу систему автоматизації сучасного промислового холодильника з АРМ оператора-холодильщика, АРМ диспетчера, інформаційною системою моніторингу стану обладнання,

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмного забезпечення, системою інтелектуальних датчиків, яка в режимі реального часу і візуалізації з центром інтелектуального управління забезпечує оптимальні режими холодопостачання холодильних камер з метою збереження корисних властивостей смарт-продуктів харчування, збільшення термінів їх придатності та мінімізації енергетичних витрат.

В третьому розділі наукової роботи

розроблено систему інтелектуальних датчиків контролю параметрів туші м'яса великої рогатої худоби та ознаки стану випарників холодильної камери і системи холодозабезпечення промислового холодильника.

Розроблена система автоматичного розпізнавання параметрів туші в режимі реального часу визначає:

-геометричні параметри локальних та інтегральних ділянок туші у вигляді параметрів, площини, радіусів, довжини, ширини, кількості точок перегину контурів, геометричного центру елементів зображень;

-постійно аналізує простір ділянок холодильної камери.

Запропоновано інтелектуальну систему нейрокерування холодозабезпеченням холодильної камери, в якій є дві відеокамери та матричні сенсори з п'єзоелементами оцінки форми туші великої рогатої худоби та банк її експертного зображення. Через інтерфейс з підсистеми інформаційного забезпечення система надає оператору-технологу відеоінформацію та автоматично впливає на інтелектуальні виконавчі механізми компресорів, вентиляторів, конденсаторів. Розроблено систему нечіткого керування процесом обмерзання випарника, в якій передбачена експертна система, алгоритм розпізнавання, банк експертного зображення випарника зі сніговою шубою та інтелектуальним механізмом ударного впливу ультразвукових коливань на поверхню приладу охолодження.

Наведено узагальнений алгоритм функціонування систем керування холодозабезпеченням холодильної камери промислового холодильника та методику його використання.

					ДонНУЕТ.142 –ем618.2022.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
2. Хмельнюк М. Г., Яковлева О. Ю., Остапенко О. В. Енергетичний менеджмент і аудит. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2017. 224 с.
3. Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання : Підручник. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2014. 484 с.
4. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко та ін. Київ : Ліра-К, 2019. 258 с.
5. Холодильні установки : підручник / за ред. І. Г. Чумака. Одеса : Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
6. Тітлов О. С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 286 с.
7. Дячек П. И. Холодильные машины и установки : учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 424 с.
8. Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Ларін О. О. Моделювання холодильного обладнання для зберігання плодово-овочевої сировини. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. Вип. 2 (43). С. 131–138.
9. Котов Б. І., Грищенко В. О. Моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери та структури системи автоматичного керування (САК) температурно-вологісним режимом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 39. С. 62–67.
10. Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г., Тарасюк Р. М. Розроблення автоматизованої системи керування обладнанням овочесховища на базі нечітких нейронних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Вип. 1 (53). С. 50–54.
11. Анатолій Чернявський та ін. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Консультування підприємств щодо енергоефективності. Київ, 2020. 148 с.
12. Григорьев И. В., Шишков И. А. Локальные задачи измерений и вычислений при использовании SCADA – OASyS . *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2001. № 8. С. 37–41.
13. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д. О., 2021. 322 с.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

14. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Невідін В. І. Автоматизовані системи керування виробництвом заморожуваних продуктів харчування. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки*. Хмельницький, 2020. № 6 (291), С. 199–206.

15. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Литвиненко А. К. Автоматизована система нечіткого керування процесами виробництва та заморожування ремісничого хліба. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки*. Хмельницький, 2021. № 1 (293), С. 227–233.

16. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заїкіна Д. П., Кузьменко А. О., Невідін В. І. Інформаційна система керування виробництвом харчових смарт-продуктів з технологіями заморожування. Обладнання та технології харчових виробництв. *Кривий Ріг : ДонНУЕТ*, 2020. № 2 (41). С. 79–88.

17. Теорія та практика інноваційно-інтелектуального розвитку регіону з техногенними територіями / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. *Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д. О.*, 2019. 484 с.

18. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. *Кривий Ріг : видавець ФО-П Чернявський Д. О.*, 2020. 564 с.

19. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под. ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егунова. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 784 с.

20. Леньшин В. Н., Куминов В. В., Фролов Е. Б., Будник Р. А. Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию. *САПР и графика*. 2003. № 26, С. 42–43.

21. Kharlamov A. A. Attention mechanism as a set of form framework structures on a semantic net. *Neurocomputers and Attention*. 1991. Vol.11. Manchester; New York, Manchester University Press. P. 747–756.

22. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Яровий Д. В., Расчехмаров І. В. Теоретичні основи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпеченням промислових холодильників. Обладнання та технології харчових виробництв. *Кривий Ріг : ДонНУЕТ*, 2021. Вип. 2 (43). С. 122–130.

23. Хорольський В.П. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейронечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування / В.П. Хорольський, О.В. Омельченко, Ю.М. Коренець, В.А. Гончаренко, Ю.М. Петрушина // *Вісник Хмельницького Національного Університету №6 — 2021-С.264-271*.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

24. Абрамова Т.В., Ваганова Е.В., Горбачев С.В., Сырянкин В.И., Сырянкин М.В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации — Томск: Издательство том.ун-та. 2014
25. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта и принятия решений и управления / Наукова думка, 2002-418с
26. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие. - СПб.:Издательство «Лань», 2012.-608с
27. Потапов А.А. Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, А.А. Пахомов, С.А. Никитин и др. - М.:Физматлит, 2008-496с
28. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев и др. Харьков: Основа. 1997.112с
29. Хорольский В.П.,
Серебренников В.М., Коренець Ю.М., Расчехмаров І.В. Ультразвук як аналізатор моніторингу стану харчової сировини // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки - №6-2019-С138-14

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ДОДАТКИ

Додаток А

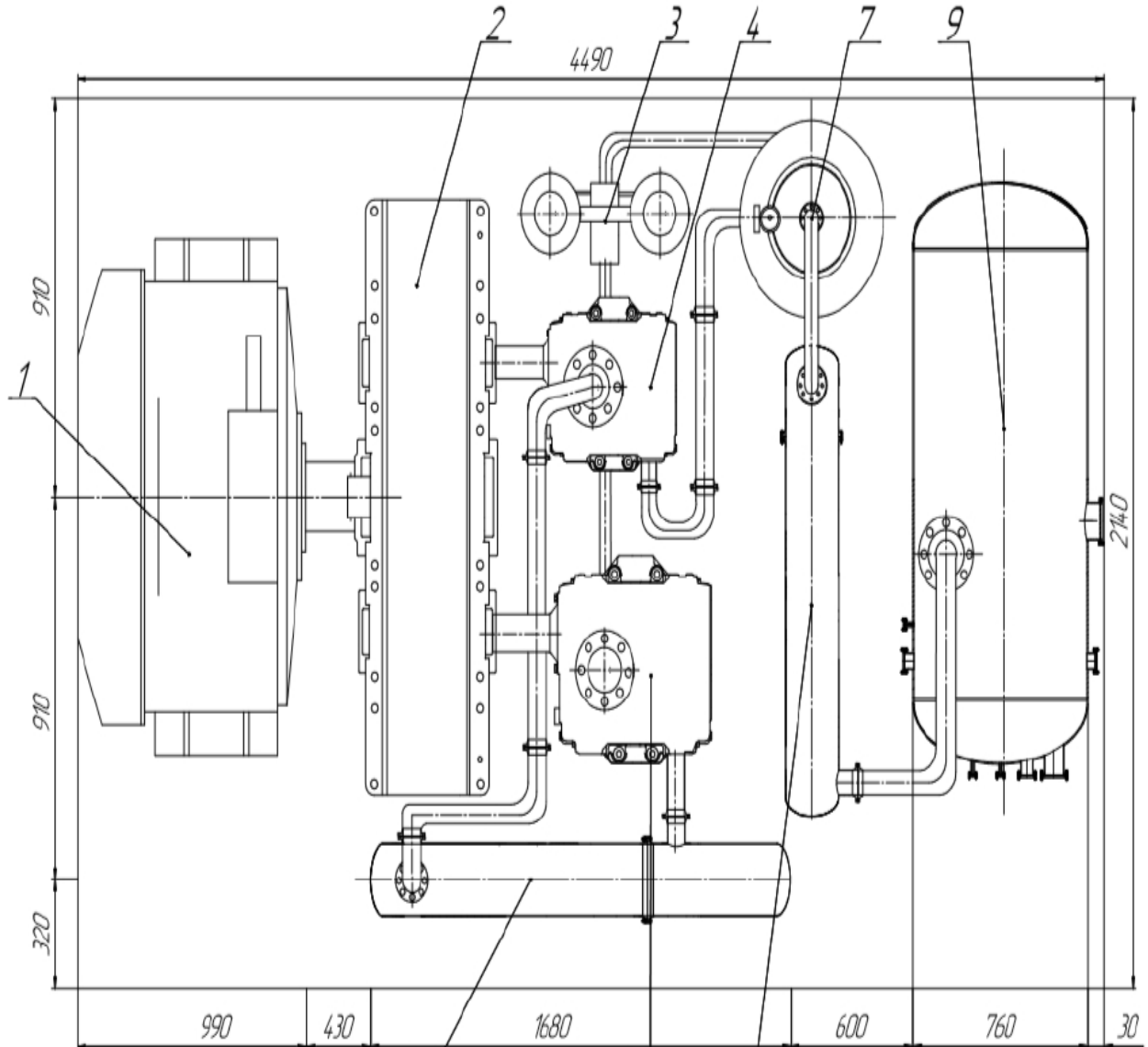


Рисунок 1.2 Компонувальна схема гвинтової компресорної установки

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							

Додаток Б

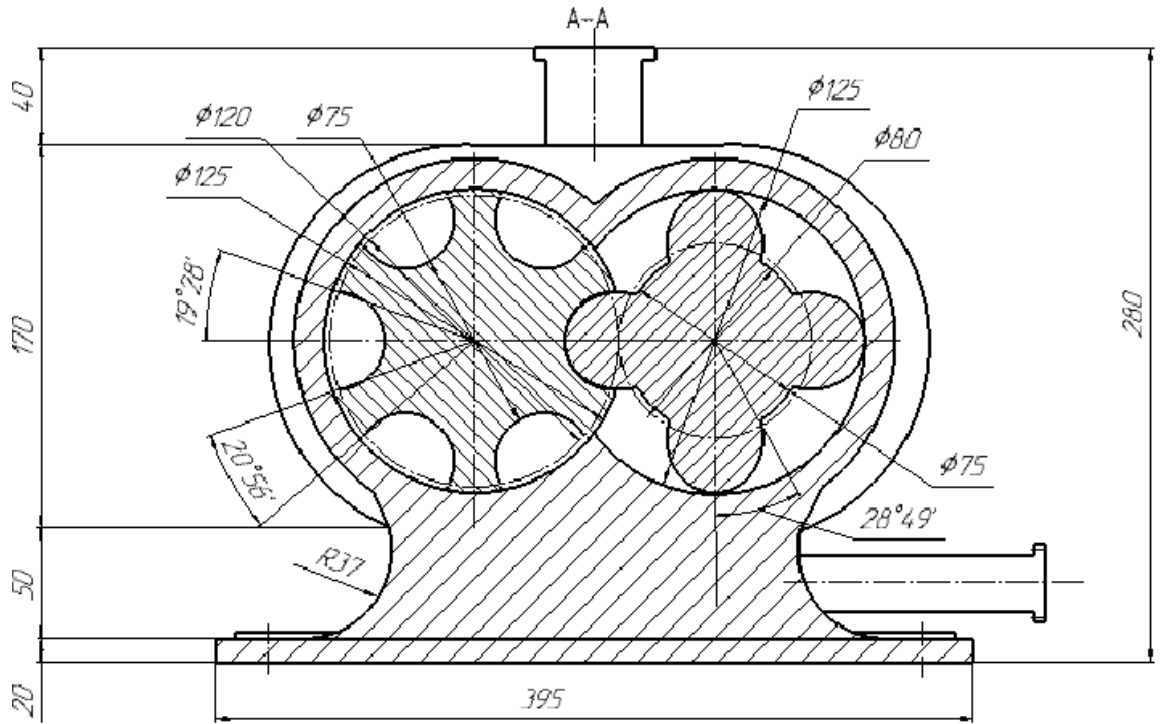


Рисунок 2.1 Поперечний розріз гвинтового компресора 1 ступеня.

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							

Додаток В

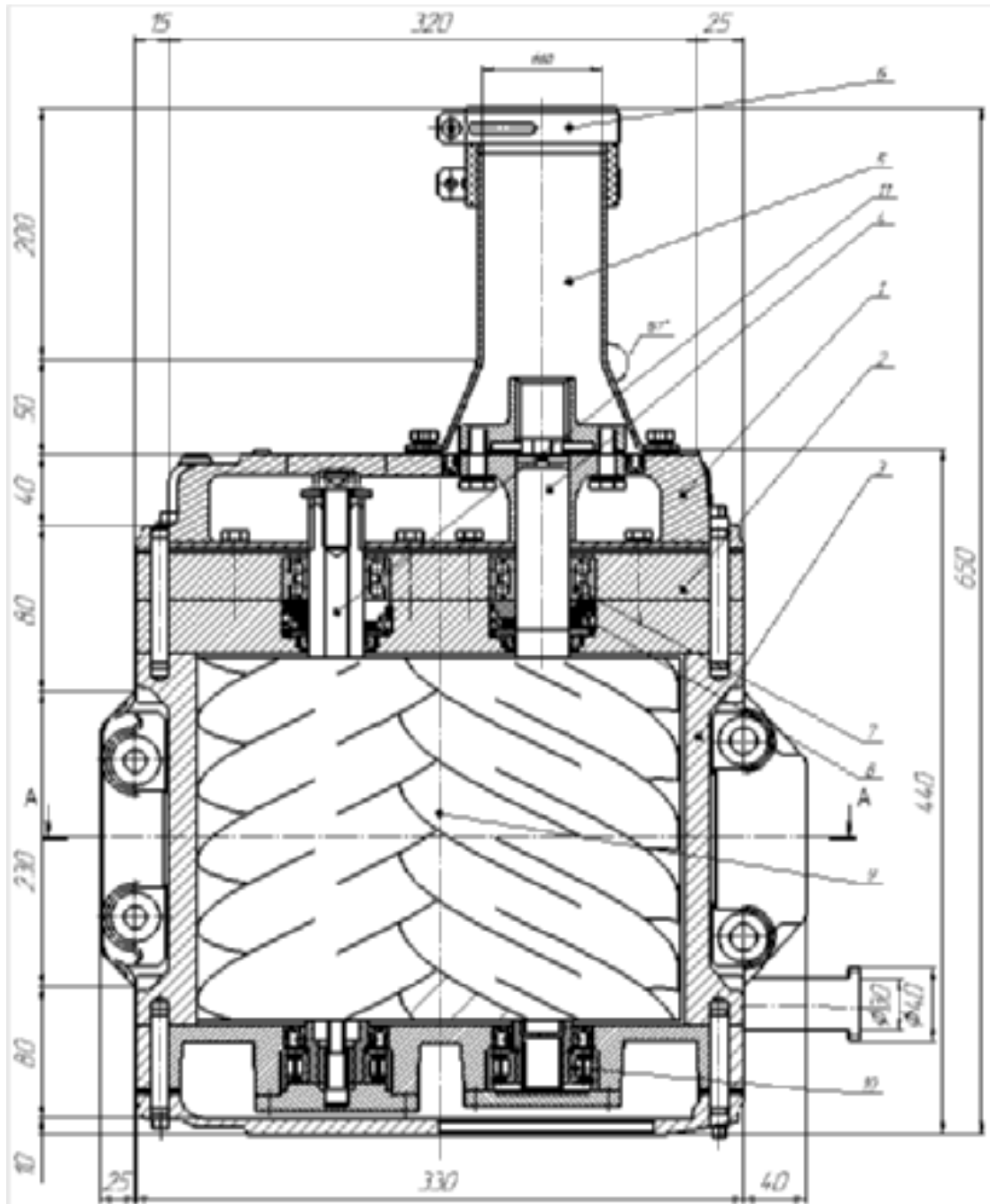


Рисунок 2.2 Поздовжній розріз гвинтового компресора 1 ступеня.

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
					Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій		

Додаток Г

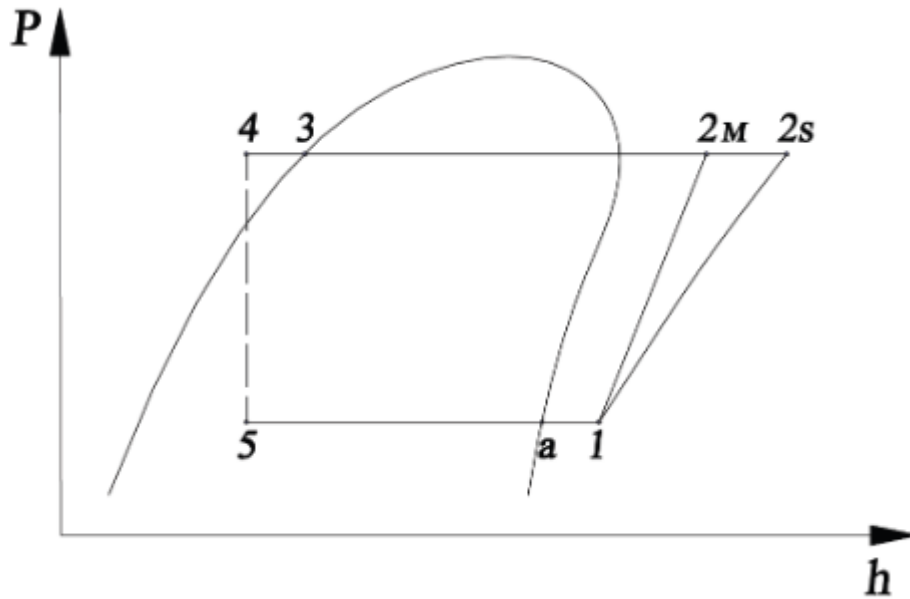


Рисунок 2.3 Теоретичний цикл одноступінчастої парової холодильної машини з гвинтовим маслозаповненим компресором

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							

Додаток Д

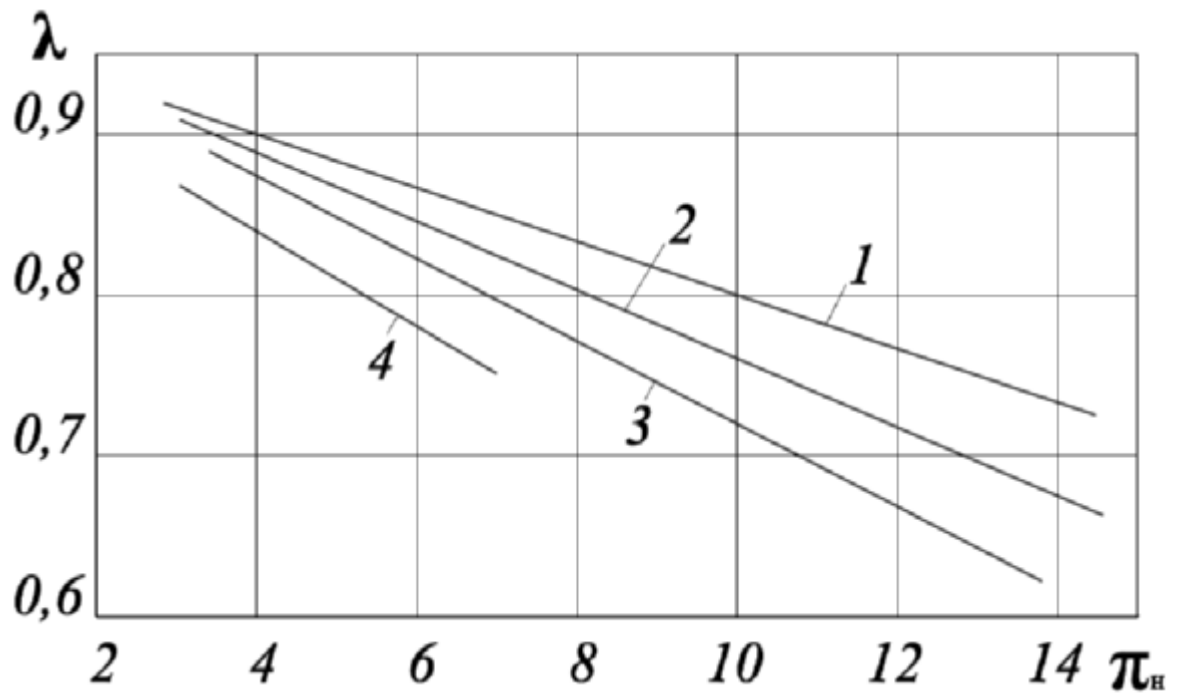


Рисунок 2.4 Залежність коефіцієнта подачі ВМК λ від зовнішнього ступеня підвищення тиску π_n

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							

Додаток 3

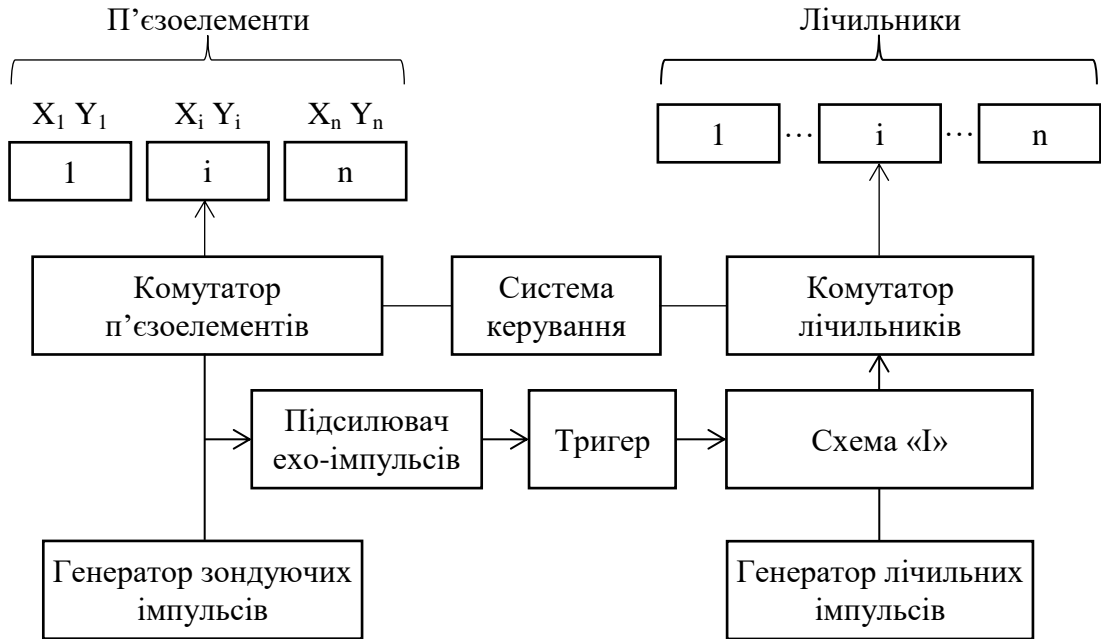


Рисунок 3.3 Блок схема системи керування матричним сенсором

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ		
Затверд.		<i>Омельченко</i>			Кафедра ЗІДО		

**Оптимізація системи
холодозабезпечення холодильних
камер промислового
холодильника з використанням
інтелектуальних технологій**

Додаток К

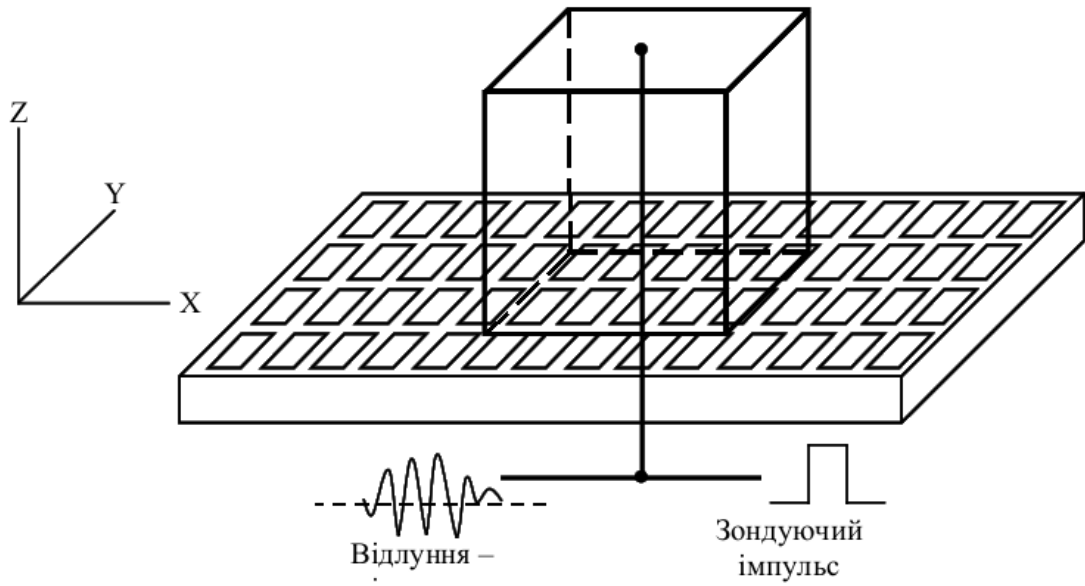


Рисунок 3.4 Матричний сектор з ультразвуковими чутливими елементами

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							

Додаток Л

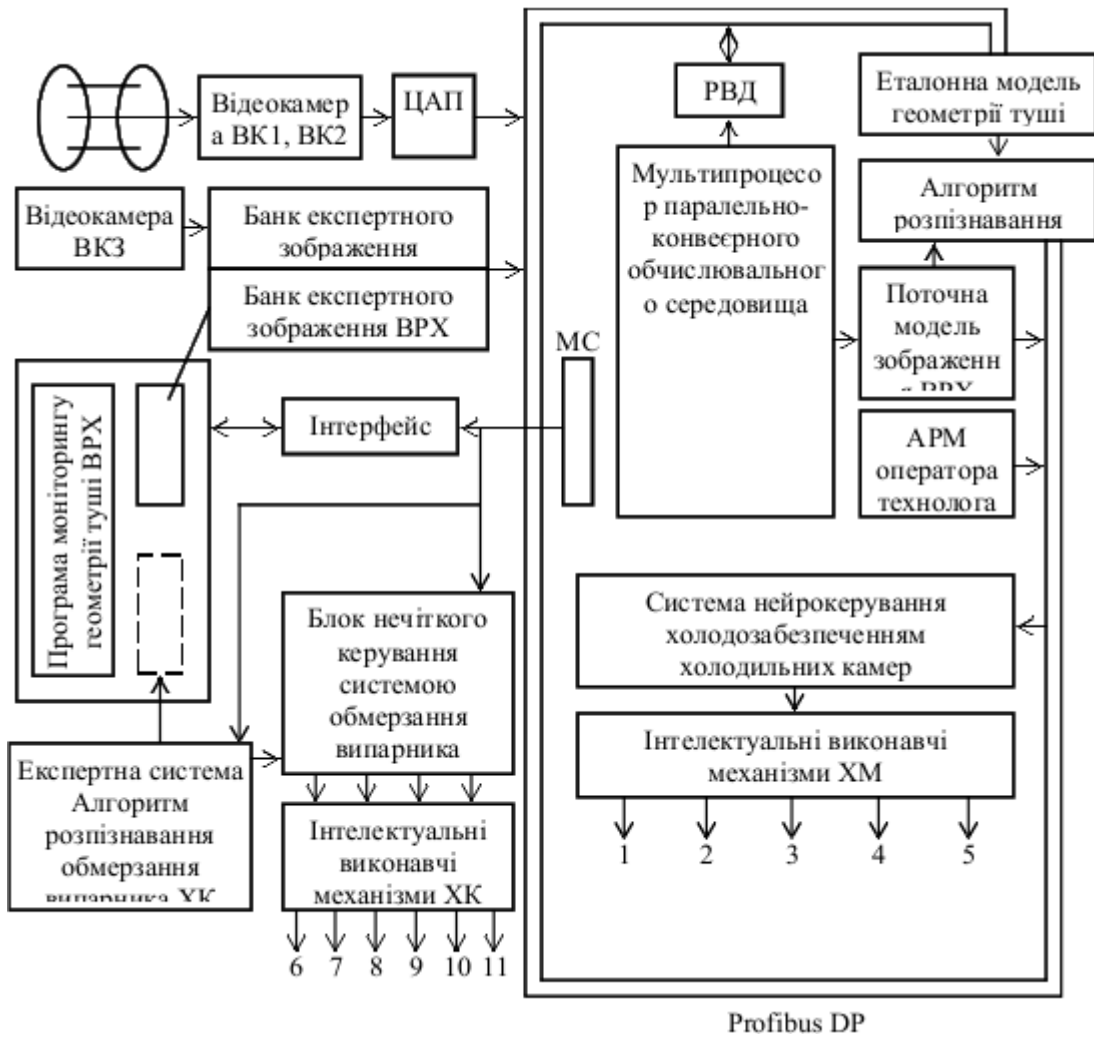


Рисунок 3.5 Система комп’ютерного зору зображення геометрії тіла ВРХ та зображення стану випарника з системами нейрокерування РВД – реєстр вхідних даних з еталонними моделями

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Расчехмаров</i>			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		<i>Хорольський</i>					
Н. Контр.		<i>Омельченко</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		<i>Омельченко</i>					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							

Додаток М

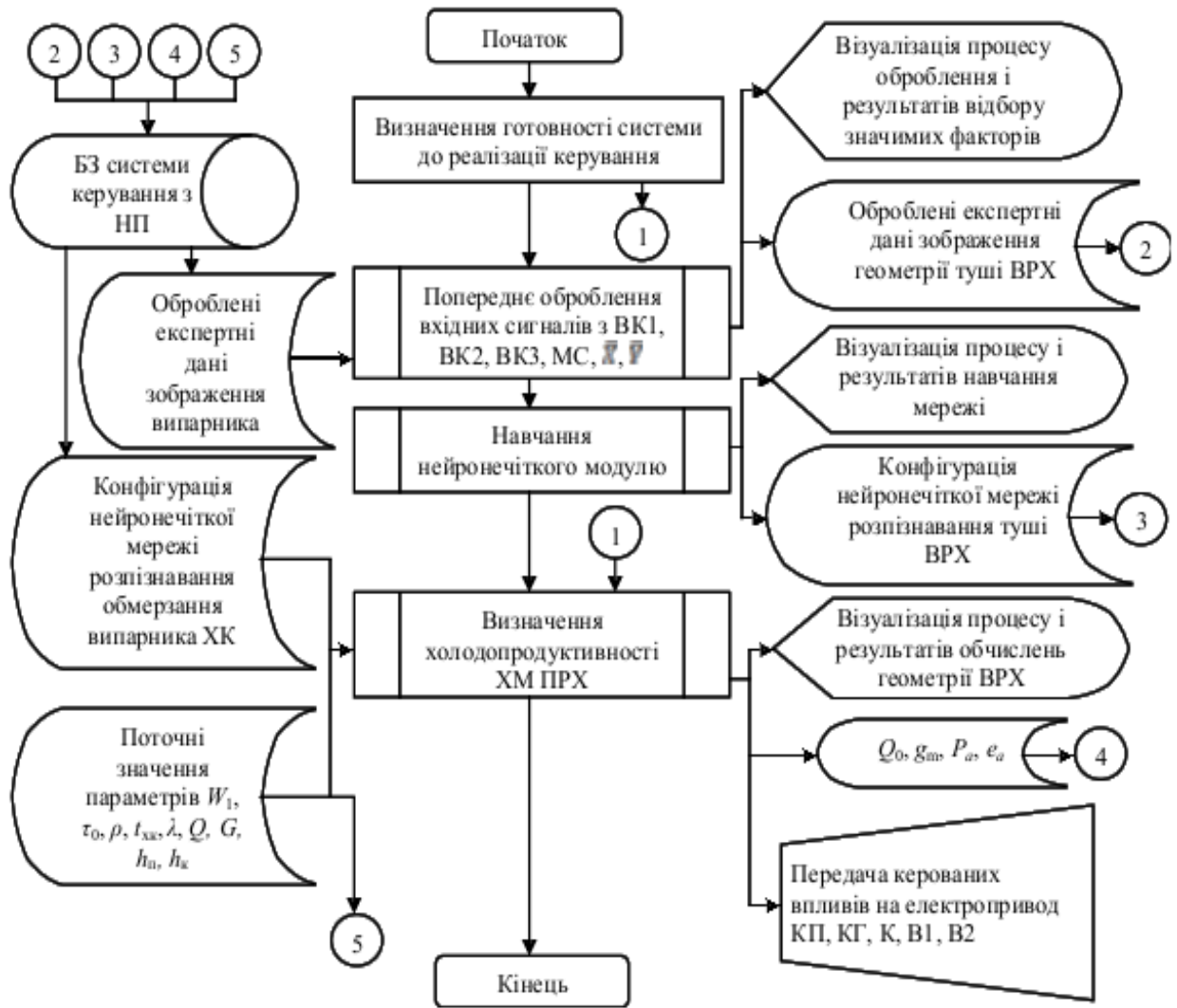


Рисунок 3.7 Блок-схема узагальненого алгоритму функціонування системи керування холодозабезпеченням холодильної камери.

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Расчехмаров			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Хорольський					
Н. Контр.		Омельченко			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		Омельченко					
Оптимізація системи холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника з використанням інтелектуальних технологій							